



HAL
open science

Étude de l'alimentation des tortues vertes (*Chelonia mydas*) et imbriquées (*Eretmochelys imbricata*) pour la proposition de rations pour le centre de soin de Mayotte

Anaëlle Varais

► To cite this version:

Anaëlle Varais. Étude de l'alimentation des tortues vertes (*Chelonia mydas*) et imbriquées (*Eretmochelys imbricata*) pour la proposition de rations pour le centre de soin de Mayotte. Médecine vétérinaire et santé animale. 2023. dumas-04431446

HAL Id: dumas-04431446

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04431446v1>

Submitted on 1 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ÉTUDE DE L'ALIMENTATION DES TORTUES VERTES (*CHELONIA MYDAS*) ET IMBRIQUÉES (*ERETMOCHELYS IMBRICATA*) POUR LA PROPOSITION DE RATIONS POUR LE CENTRE DE SOIN DE MAYOTTE

THESE D'EXERCICE

pour obtenir le titre de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ÉTAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

VARAIS Anaëlle, Lucette, Lafie

Directrice de thèse : Mme Laure DAVID

JURY

PRESIDENTE :
Mme Annabelle MEYNADIER

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :
Mme Laure DAVID
M. Guillaume LE LOC'H

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootechnie*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*

MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **COMBARROS Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- M. **FERCHIOU Ahmed**, *Economie de santé des bovins*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- M. **FUSADE-BOYER Maxime**, *Microbiologie et infectiologie*
- M. **GAIDE Nicolas**, *Anatomie pathologique*
- Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
- Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*
- Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
- M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales règlementées*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*
- M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*
- M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*
- M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*
- Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*
- M. **DELPONT Mattias**, *Clinique Aviaire*
- Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*
- Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*
- Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*
- Mme **LAYSSOL-LAMOUR Catherine**, *Imagerie Médicale*
- Mme **POUJADE Agnès**, *Anatomie pathologique Vétérinaire*
- Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **RAMON PORTUGAL Felipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*
- Mme **SAADA Chloé**, *Gestion intégrée de la santé des ruminants*

REMERCIEMENTS

Aux membres de mon jury de thèse,

À Madame la Professeure Annabelle MEYNADIER,

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Alimentation

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse.

A Madame la Docteure Laure DAVID,

Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Hygiène et Industrie des Aliments

Pour m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse. Sincères remerciements pour votre encadrement, vos conseils et votre disponibilité lors de l'élaboration de ce travail.

À Monsieur le Docteur Guillaume LE LOC'H,

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Médecine zoologique et santé de la faune sauvage

Pour m'avoir fait l'honneur de faire partie de ce jury de thèse et de m'avoir accompagnée durant ces années d'école et mon semestre clinique.

Aux personnes qui m'ont accompagnées dans l'élaboration de ce travail,

À Monsieur François-Elie PAUTE,

Chargé d'études scientifiques à Oulanga Na Nyamba

Pour m'avoir proposé ce sujet et guidé pendant ce travail. Sincères remerciements pour les conseils, les pistes de réflexions et l'accompagnement durant mon stage à Mayotte.

À l'ensemble de l'équipe d'Oulanga Na Nyamba

Pour m'avoir accueillie dans l'association et accompagnée lors de mon stage à Mayotte.

À Monsieur Clément LELABOUSSE et l'ensemble de l'équipe du Parc Naturel Marin de Mayotte et du Réseau Echouage Mahorais de Mammifères marins et Tortues marines

Pour m'avoir accueillie dans vos locaux et m'avoir accompagné et permis de réaliser mes analyses expérimentales.

A Madame Florence DELL'AMICO

Responsable du Centre d'Etudes et de Soins pour les Tortues Marines à l'Aquarium de la Rochelle

Pour m'avoir permis d'observer pendant une journée le travail dans un centre de soin de tortues marines et avoir répondu à toutes mes questions à ce sujet.

A ma famille et mes amis,

Qui ont toujours été là pour moi.

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS	1
TABLES DES MATIERES.....	3
TABLE DES ILLUSTRATIONS	9
TABLES DES TABLEAUX	11
LISTE DES ABREVIATIONS	12
INTRODUCTION.....	13
PARTIE 1 : ÉTUDE DE LA BIOLOGIE ET DE L'ALIMENTATION EN MILIEU NATUREL DES TORTUES VERTES (<i>CHELONIA MYDAS</i>) ET DES TORTUES IMBRIQUEES (<i>ERETMOCHELYS IMBRICATA</i>) .	16
A. BIOLOGIE DES TORTUES MARINES	17
I. TAXONOMIE ET IDENTIFICATION DES DIFFERENTES ESPECES	17
II. DISTRIBUTION MONDIALE.....	19
III. CYCLE DE VIE.....	21
1. <i>Phase d'incubation</i>	22
2. <i>Emergence et début de vie</i>	22
3. <i>Juveniles : du stade pélagique au stade néritique</i>	23
4. <i>Adultes</i>	24
IV. ANATOMIE	27
1. <i>Anatomie générale des tortues vertes et imbriquées</i>	28
2. <i>Anatomie du tube digestif</i>	30
3. <i>Les systèmes sensoriels</i>	36
B. IMPORTANCE DES TORTUES MARINES DANS LES ECOSYSTEMES	38
I. DES ESPECES INGENIEURES, SENTINELLES.....	38
II. DES ESPECES MENACEES.....	39
1. <i>Statut UICN</i>	40
2. <i>Menaces anthropiques non spécifiques</i>	40
3. <i>Menaces anthropiques spécifiques</i>	43
4. <i>Menaces naturelles</i>	44
III. DES ESPECES PROTEGEES	45

1.	<i>Conventions et réglementations</i>	45
2.	<i>Actions pour la conservation</i>	47
C.	ALIMENTATION EN MILIEU NATUREL	49
I.	REGIME ALIMENTAIRE DES TORTUES VERTES EN MILIEU NATUREL	50
1.	<i>Catégorie d'aliment consommé</i>	50
2.	<i>Comportement alimentaire des tortues vertes</i>	53
3.	<i>Physiologie digestive des tortues vertes</i>	56
II.	REGIME ALIMENTAIRE DES TORTUES IMBRIQUEES EN MILIEU NATUREL	62
1.	<i>Régime alimentaire omnivore</i>	62
2.	<i>Comportement alimentaire et physiologie digestive</i>	63
III.	ETUDE DE L'INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT	64
1.	<i>Influence de la température</i>	64
2.	<i>Influence de la lumière</i>	65
3.	<i>Autres paramètres</i>	65
	PARTIE 2 : DESCRIPTION DE L'ILE DE MAYOTTE ET ENJEUX DE LA CONSERVATION DES TORTUES	67
A.	DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE	68
I.	LE TERRITOIRE DE MAYOTTE.....	68
II.	LE LAGON ET LE LITTORAL DE MAYOTTE.....	69
1.	<i>Une région remarquable</i>	69
2.	<i>Un point chaud de biodiversité</i>	69
3.	<i>Un environnement fragile à préserver</i>	73
III.	CONTEXTE SOCIAL ET ECONOMIQUE	74
B.	DESCRIPTION DES FILIERES INTERESSANTES POUR L'ALIMENTATION DES TORTUES MARINES	75
I.	L'AGRICULTURE.....	75
1.	<i>Présentation de la filière maraichère</i>	75
2.	<i>Les productions adaptées au climat tropical</i>	76
3.	<i>Place de l'agriculture biologique</i>	77
II.	LA PECHE	77
1.	<i>Présentation de la filière</i>	77

2.	<i>Problématiques de structuration et réglementation</i>	79
C.	PLACE DES TORTUES A MAYOTTE ET IMPORTANCE DE LEUR CONSERVATION	80
I.	DESCRIPTION DES TORTUES DE MAYOTTE	80
1.	<i>La tortue verte : animal emblématique de Mayotte</i>	80
2.	<i>La tortue imbriquée, deuxième espèce à pondre sur les plages mahoraises</i>	83
3.	<i>Les trois autres espèces</i>	83
II.	LES MENACES SPECIFIQUES A MAYOTTE CONCERNANT LES TORTUES	84
1.	<i>Le braconnage</i>	84
2.	<i>Les autres menaces anthropiques directes</i>	87
3.	<i>Les menaces indirectes anthropiques</i>	88
4.	<i>Les menaces naturelles</i>	90
III.	LES MESURES DE CONSERVATION EN PLACE SUR LE TERRITOIRE	92
1.	<i>Sites protégés</i>	92
2.	<i>Le Plan National d'Action</i>	92
3.	<i>Le Parc Naturel Marin et le REMMAT</i>	93
4.	<i>L'association Oulanga Na Nyamba</i>	95
	PARTIE 3 : ETUDE DE L'ALIMENTATION EN MILIEU CAPTIF	98
A.	ETUDE DES CENTRES DE SOINS POUR TORTUES MARINES	99
I.	IMPORTANCE DES CENTRES DE SOINS DANS LA CONSERVATION DES TORTUES MARINES A L'ECHELLE PLANETAIRE	99
II.	FONCTIONNEMENT DES CENTRES DE SOINS	100
1.	<i>Causes d'admission</i>	100
2.	<i>Etapas de soin</i>	101
III.	ENJEUX DE LA REHABILITATION.....	102
1.	<i>Succès de réhabilitation</i>	102
2.	<i>Inconvénients du milieu captif et solutions</i>	103
B.	ALIMENTATION UTILISEE EN MILIEU CAPTIF	105
I.	TYPES D'ALIMENTS	105
1.	<i>Tortues vertes</i>	105
2.	<i>Tortues imbriquées</i>	108
II.	QUANTITE DE NOURRITURE	109

III.	FREQUENCE DE DISTRIBUTION	110
IV.	MODES DE DISTRIBUTION.....	111
1.	<i>Distribution classique</i>	111
2.	<i>Dispositifs d'alimentation sous forme d'enrichissement</i>	112
3.	<i>Alimentation par sondage</i>	113
V.	FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX.....	114
1.	<i>Stress et compétition</i>	114
2.	<i>Température</i>	115
3.	<i>UV et vitamine D3</i>	116
VI.	MINERAUX, VITAMINES ET COMPLEMENTS ALIMENTAIRES.....	116
C.	ENJEUX D'UNE BONNE ALIMENTATION DANS LA REHABILITATION ET LA CONSERVATION	
	118	
I.	PREPARATION DES RATIONS.....	118
1.	<i>Suivi de la prise alimentaire et des individus</i>	118
2.	<i>Contrôle hygiène des aliments</i>	119
II.	ALIMENTATION ET REHABILITATION	120
1.	<i>Reprise d'état</i>	120
2.	<i>Adéquation de l'alimentation pour les fonctions en milieu naturel</i>	120
3.	<i>Impact environnemental</i>	121
III.	PATHOLOGIES ALIMENTAIRES CAUSEES PAR LE MILIEU CAPTIF	122
1.	<i>Hypoglycémie</i>	122
2.	<i>Surpoids et obésité</i>	123
3.	<i>Ostéodystrophies et hyperparathyroïdie secondaire d'origine alimentaire</i>	123
4.	<i>Gonflement-flottaison</i>	124
5.	<i>Goutte articulaire et viscérale</i>	125
6.	<i>Troubles vitaminiques</i>	126
PARTIE 4 : CONSTITUTION DES RATIONS ALIMENTAIRES POUR LE FUTUR CENTRE DE SOIN DE MAYOTTE		
128		
A.	DESCRIPTION DU PROJET DE CENTRE DE SOIN DE MAYOTTE	129
I.	ENJEUX ET OBJECTIFS DU CENTRE DE SOIN.....	129
1.	<i>Réhabilitation des tortues et pôle de recherche</i>	129
2.	<i>Sensibilisation et éducation</i>	130

II.	DESCRIPTION DE LA STRUCTURE	130
1.	<i>Espace réhabilitation et laboratoire</i>	131
2.	<i>Autres espaces</i>	131
III.	PROCEDURE DE PRISE EN CHARGE PREVUE	131
B.	ETUDE DE TERRAIN DES RESSOURCES ALIMENTAIRES DISPONIBLES ET UTILISABLES A MAYOTTE	133
I.	CRITERES DE SELECTION DES PRODUCTEURS	133
II.	RENCONTRE AVEC LES DIFFERENTS ACTEURS ET CREATION D'UNE FICHE DE CONTACT	134
III.	PRODUITS RETENUS ET PRIX	135
1.	<i>Produits végétaux</i>	135
2.	<i>Prix à titre indicatif produits végétaux</i>	138
3.	<i>Produits animaux</i>	138
C.	ANALYSE DES CONTENUS STOMACaux DES TORTUES RETROUVEES A MAYOTTE.....	139
I.	MATERIEL ET METHODE	139
1.	<i>Prélèvement des contenus stomacaux</i>	139
2.	<i>Analyse des contenus stomacaux</i>	140
II.	RESULTATS.....	141
III.	DISCUSSION.....	142
IV.	OUVERTURE	143
D.	ANALYSES DES VALEURS NUTRITIONNELLES	145
I.	NUTRIMENTS ET FORMULATION D'UNE RATION	145
II.	VALEURS NUTRITIONNELLES DES PRODUITS ET COMPARAISON AVEC LES ALIMENTS DU MILIEU NATUREL	146
1.	<i>Informations sur les nutriments de l'alimentation naturelle</i>	146
2.	<i>Informations sur les nutriments des produits pour le milieu captif</i>	146
3.	<i>Éléments de comparaison</i>	147
E.	CONSTITUTION DES RATIONS.....	148
I.	RATION ALIMENTAIRE TORTUE VERTE ADULTE ET JUVENILE	150
II.	RATION ALIMENTAIRE TORTUE IMBRIQUEE	151
III.	RATION ALIMENTAIRE SI SONDAGE	151

IV. REGLES D'HYGIENE ET SUIVI	151
V. DISCUSSION.....	151
CONCLUSION.....	153
ANNEXE 1 : FICHE NECROPSIE OULANGA NA NYAMBA.....	155
ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE ENVOYE AUX CENTRES DE SOINS.....	158
ANNEXE 3 : PROCEDURE DE SONDAGE PAR BLUVIAS ET ECKERT (2010)	162
ANNEXE 4 : FICHE HYGIENE DES ALIMENTS.....	163
BIBLIOGRAPHIE	164

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1 : CLE D'IDENTIFICATION DES TORTUES MARINES PRESENTES DANS L'OCEAN INDIEN. ADAPTEE ET TRADUITE A PARTIR DE L'ARTICLE « CARIBBEAN HAWKBILLS - AN INTRODUCTION TO THEIR BIOLOGY AND CONSERVATION STATUS », PAR CHACON, D. 2004	18
FIGURE 2.A. : BILAN CARTOGRAPHIQUE DES CONNAISSANCES MONDIALES SUR LA TORTUE VERTE (CHELONIA MYDAS). (DONNEES TORSOOI-IFREMER-SWOT 2013).....	20
FIGURE 2.B. : BILAN CARTOGRAPHIQUE DES CONNAISSANCES MONDIALES SUR LA TORTUE IMBRIQUEE (ERETMOCHELYS IMBRICATA) (DONNEES TORSOOI-IFREMER-SWOT 2013)	20
FIGURE 3 : CYCLE DE VIE D'UNE TORTUE MARINE, ADAPTE ET TRADUIT A PARTIR D'UNE ILLUSTRATION DE (LUTZ ET AL. 1996)	27
FIGURE 4 : COMPARAISON DE L'ANATOMIE DE LA TETE ET DES DOSSIERES DES TORTUES IMBRIQUEES (A GAUCHE) ET TORTUES VERTES (A DROITE). ADAPTE ET TRADUIT DE (WYNEKEN 2001).....	28
FIGURE 5 : IMAGE GLOBALE D'UNE TORTUE VERTE (OULANGA NA NYAMBA 2022A).....	29
FIGURE 6 : IMAGE GLOBALE D'UNE TORTUE IMBRIQUEE (OULANGA NA NYAMBA 2022A).....	29
FIGURE 7 : PHOTO DU TUBE DIGESTIF ENTIER D'UNE TORTUE VERTE FEMELLE (©ANAËLLE VARAIS – JUIN 2023)	30
FIGURE 8 : PHOTO DE LA FACE DROITE D'UNE TORTUE VERTE (A GAUCHE) ET DE LA FACE DROITE D'UNE TORTUE IMBRIQUEE (A DROITE). (©ANAËLLE VARAIS – JUIN 2023)	31
FIGURE 9 : PHOTO DE LA PAROI INTERNE DE L'ŒSOPHAGE DE TORTUES VERTES FEMELLE (©ANAËLLE VARAIS – JUIN 2023)	32
FIGURE 10 : PHOTO DE L'ESTOMAC REMPLI ET DU DUODENUM DU TUBE DIGESTIF D'UNE TORTUE VERTE JUVENILE (©ANAËLLE VARAIS – JUIN 2023)	33
FIGURE 11 : PHOTO DE LA PAROI DE L'INTESTIN GRELE D'UNE TORTUE VERTE FEMELLE (©ANAËLLE VARAIS – JUIN 2023)	34
FIGURE 12 : CARTE DU LAGON DE MAYOTTE MONTRANT LA GEOMORPHOLOGIE DU RECIF ET LES HABITATS (MANGROVES, HERBIERS). DE (GIGOU, DINHUT, ARNAUD 2009)	70
FIGURE 13 : LES DIFFERENTES EMBARCATIONS PRESENTES DANS LA ZEE DE MAYOTTE : DES PECHEURS EN PIROGUE (EN HAUT A GAUCHE), DES PECHEURS EN BARQUE « YAMAHA » (EN HAUT A DROITE), UN PALANGRIER COTIER (EN BAS A GAUCHE), UN THONIER SENNEUR HAUTURIER (EN BAS A DROITE). REF : JULIEN WICKEL/AGENCE DES AIRES MARINES PROTEGEES (EN HAUT A GAUCHE), AGNES POIRET/AGENCE DES AIRES MARINES PROTEGEES (EN HAUT A DROITE, EN BAS A GAUCHE), NICOLAS BONPUNT (EN BAS A DROITE), (PNMM 2013).....	79

FIGURE 14 : PRINCIPALES PLAGES DE PONTE DE MAYOTTE (POINTS ROUGES (PNMM 2023)).....	81
FIGURE 15 : TRAJETS DE MIGRATION POST-REPRODUCTIVE ET SITES D’ALIMENTATION DE 77 TORTUES VERTES FEMELLES SUIVIES PAR SATELLITE DANS LE SOOI (DALLEAU 2013)	82
FIGURE 16 : EVOLUTION DES CAUSES DE MORTALITE ET DE DETRESSE RECENSEES PAR LE REMMAT A MAYOTTE (RESEAU ECHOUAGE MAHORAI DE MAMMIFERES MARINS ET DE TORTUES MARINES).....	84
FIGURE 17 : SITES DE PONTE DES TORTUES MARINES ET BRACONNAGE A MAYOTTE (QUILLARD 2012).....	86
FIGURE 18 : PHOTOS D’UNE TORTUE IMBRIQUEE NECROPSIEE AVEC DES HAMEÇONS ET DES FILS DE PECHE DANS L’ŒSOPHAGE ET LESIONS ASSOCIEES (© ANAËLLE VARAIS – JUIN 2023)	88
FIGURE 19 : ZONE GEOGRAPHIQUE DU PARC NATUREL MARIN DE MAYOTTE (PNMM 2013).....	94
FIGURE 20 : ENRICHISSEMENTS POSSIBLES AVEC DES TUYAUX EN PVC (A GAUCHE) ET UN GRATTOIR A CARAPACE AVEC UNE BROsse (A DROITE) (HERNANDEZ, CLAUDETT 2021)	104
FIGURE 21 : TABLEAU DE COMPARAISON ENTRE LES NUTRIMENTS DE THALASSIA TESTUDINUM ET QUELQUES ALIMENTS DONNES AUX TORTUES VERTES EN CAPTIVITE. (BLUVIAS, ECKERT 2010).....	108
FIGURE 22 : DISTRIBUTION A LA PINCE AU CESTM, CENTRE DE SOIN DE L’AQUARIUM DE LA ROCHELLE. (©ANAËLLE VARAIS - AVRIL 2023).....	112
FIGURE 23 : TORTUE VERTE SE NOURRISSANT DE CONCOMBRE, DE POIVRON ET DE LAITUE DANS UN PLATEAU D’ALIMENTATION SUR MESURE ENCADRE PAR DES TUYAUX EN PVC LESTES (DIVERS, STAHL, MADER 2019)	113
FIGURE 24 : GELULES DE CALCIUM ET RATION ALIMENTAIRE DES TORTUES MARINES SOIGNEES AU CESTM DE L’AQUARIUM DE LA ROCHELLE (©ANAËLLE VARAIS – AVRIL 2023)	117
FIGURE 25 : PESEE DE LA NOURRITURE AVANT LA DISTRIBUTION AU CESTM (AQUARIUM DE LA ROCHELLE) (©ANAËLLE VARAIS – AVRIL 2023)	118
FIGURE 26 : MAQUETTE DU FUTUR CENTRE DE SOIN AVEC VUE SUR LES BASSINS POUR LES TORTUES MARINES AU NOMBRE DE SIX (OULANGA NA NYAMBA 2022B).....	130
FIGURE 27 : FEUILLES DE MANIOC (PIXABAY, CC).....	135
FIGURE 28 : BRANCHE DE MORINGA OLEIFERA (PIXABAY, CC).....	136
FIGURE 29 : PE-TSAÏ (BRASSICA RAPA L. SUBSP. PEKINENSIS) A GAUCHE ET PAK-CHOÏ (BRASSICA RAPA L. SUBSP. CHINENSIS) A DROITE (WIKIMEDIA COMMONS, CC).....	136
FIGURE 30 : BREDE MAFANE OU CRESSON DU PARA (WIKIMEDIA COMMONS, CC).....	137

FIGURE 31 : PHOTO GLOBALE DU BOL ALIMENTAIRE D'UNE TORTUE VERTE JUVENILE (A), PHOTO D'UN LIMBE DE THALASSIA HEMPRICHII (B) ET D'UNE FEUILLE D'AMANSIA SP. (C) A LA LOUPE BINOCULAIRE ET DE TURBINARIA SP. A L'ŒIL NU APRES ISOLATION (©ANAËLLE VARAIS – JUIN 2023)141

FIGURE 32 : PHOTO D'UN TUBE DIGESTIF D'UNE TORTUE IMBRIQUEE NECROPSIEE (A GAUCHE) ET D'UNE TORTUE VERTE (A DROITE) AVEC SEPARATION NETTE DE PLUSIEURS TYPES D'ALIMENTS (©ANAËLLE VARAIS – JUIN 2023)143

TABLES DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : LISTE DES PRODUITS MARAICHERS POSSIBLES DE CULTIVER A MAYOTTE (SELON VANHUFFEL, LUC ET HUAT, JOËL, 2019. LE GUIDE DES PRODUCTIONS MARAICHÈRES A MAYOTTE. (DECEMBRE 2019)76

TABLEAU 2 ET 3 : TABLEAUX RECAPITULATIFS DES ETATS DE CONSERVATION DE CHELONIA MYDAS ET ERTEMOCHELYS IMBRICATA DANS LE SOOI (PHILIPPE ET AL. 2014)91

TABLEAU 4 : PRIX APPROXIMÉS DES VÉGÉTAUX VENDUS A MAYOTTE SELON LES MERCURIALES DE LA DAAF EN 2023138

TABLEAU 5 : TABLEAU RECAPITULATIF DES TORTUES MARINES DÉCÉDÉES ET DONT LE CONTENU STOMACAL A ÉTÉ ANALYSÉ (CM : CHELONIA MYDAS ; EI : ERTEMOCHELYS IMBRICATA ; M : MÂLE ; F : FEMELLE ; I : INDÉTERMINÉ)140

TABLEAU 6 : EXEMPLE DE RÉSULTATS DE L'ANALYSE DU BOL ALIMENTAIRE POUR LA TORTUE 2020-12-01_22_CM_J_1 (CM : CHELONIA MYDAS, JUV : JUVENILE, I : INDÉTERMINÉ, NI : NON IDENTIFIÉ).....142

TABLEAU 7 : VALEURS NUTRITIONNELLES DES ALIMENTS NATURELS PRINCIPAUX. LES VALEURS SONT EXPRIMÉES EN % DE MATIÈRE SÈCHE SAUF POUR LA MATIÈRE SÈCHE QUI EST EXPRIMÉ EN % DE LA MATIÈRE TOTALE.....148

TABLEAU 8 : VALEURS NUTRITIONNELLES DES VÉGÉTAUX ET PRODUITS DE LA MER PROPOSÉS POUR LES RATIONS. LES VALEURS SONT EXPRIMÉES EN % DE MATIÈRE SÈCHE SAUF POUR LA MATIÈRE SÈCHE QUI EST EXPRIMÉ EN % DE LA MATIÈRE TOTALE.148

TABLEAU 9 : INDICE D'ÉTAT CORPOREL EN RELATION AVEC L'INTERPRÉTATION VISUELLE SUBJECTIVE DE L'ÉTAT CORPOREL CHEZ LA TORTUE VERTE (CHELONIA MYDAS) (BARON 2014).....149

LISTE DES ABREVIATIONS

ADN : Acide désoxyribonucléique

Cm : Chelonia mydas

COOPAC : Coopérative des Agriculteurs du Centre

DEAL : Direction de l'Environnement de l'Aménagement, du Logement

Ei : Eretmochelys imbricata

EPFAM : Etablissement Public Foncier et d'Aménagement de Mayotte

PIB : Produit intérieur brut

PNNM : Parc Naturel Marin de Mayotte

SOOI : Sud-ouest de l'océan Indien

TAAF : Terres australes et antarctiques françaises

INTRODUCTION

Créatures énigmatiques et fascinantes, les tortues marines naviguent dans les océans du monde entier depuis des centaines de millions d'années (Hirayama 1998). Leur existence à travers les âges, forgée par une longue évolution, les a adaptées à des environnements océaniques divers et changeants. Les sept espèces, toutes membres de la superfamille des Chelonioidea, se distinguent par des caractéristiques propres à chacune. Elles suscitent l'émerveillement par leur fonctionnement biologique unique, pouvant être illustré par les migrations extraordinaires qu'elles effectuent sur des milliers de kilomètres pour rejoindre leurs plages d'origine lors de leur période de reproduction.

Le sud-ouest de l'océan Indien apparaît comme l'un des points chauds prédominants d'alimentation et de ponte pour les tortues marines, en particulier des tortues vertes (*Chelonia mydas*) et des tortues imbriquées (*Eretmochelys imbricata*). Cette région du monde abrite Mayotte, archipel situé dans le Canal du Mozambique, qui regorge de richesses marines et de sites de nidification privilégiés. Chaque année, environ 2000 tortues vertes s'alimentent sur les herbiers du lagon mahorais et 4000 viennent pondre sur les plages de l'archipel. La tortue imbriquée, au nombre d'environ 100 individus marqués, est également présente toute l'année à Mayotte pour la reproduction et l'alimentation.

Malgré leur résilience millénaire, les tortues marines sont aujourd'hui victimes des activités humaines. L'impact de la pêche, de la pollution, des changements climatiques et de la dégradation de leur habitat a engendré la perte de 30 à 80% des effectifs dans le monde entier en à peine un siècle (Sarmiento-Ramírez et al. 2014). Ce déclin rapide et généralisé souligne l'ampleur des défis auxquels ces espèces sont actuellement confrontées. Mayotte n'échappe pas à cette réalité en termes de menaces anthropiques. Le braconnage y demeure malheureusement très répandu, et la dégradation des habitats est exacerbée par la dynamique démographique du département français. La sensibilisation, la réglementation et la mise en œuvre de pratiques durables sont essentielles pour assurer un avenir où les tortues marines et le reste de la biodiversité marine continuent à prospérer dans les eaux de l'archipel.

L'étude de l'alimentation des tortues marines est d'une importance cruciale dans la préservation de ces espèces. Comprendre les préférences alimentaires et les stratégies de recherche de nourriture est essentiel pour concevoir des programmes de conservation ciblés.

Les régimes alimentaires de chacune des espèces de tortues marines est spécifique, allant de l'herbivore se nourrissant d'algues et d'herbes marines, à l'omnivore consommant une variété de proies marines. Les recherches scientifiques sur l'alimentation permettent également de mieux appréhender la dynamique des écosystèmes marins, car ces reptiles jouent un rôle central dans le maintien de l'équilibre écologique.

La conservation des tortues marines représente un enjeu majeur et nécessite plusieurs approches, telles que la sensibilisation des populations humaines, la protection des habitats et la recherche scientifique. Les centres de soin dédiés aux tortues marines se révèlent être des acteurs importants dans cette démarche. Ils offrent une solution de prise en charge et de réhabilitation des individus blessés, malades ou victimes des effets néfastes de l'interaction humaine, permettant la restauration des populations dans leur milieu naturel. De plus, ces établissements contribuent à sensibiliser le public aux enjeux de conservation et à promouvoir des pratiques respectueuses de l'environnement. Des données peuvent être recueillies sur les individus en soins afin d'approfondir les connaissances sur la biologie et le comportement des tortues marines, fournissant des informations précieuses pour élaborer des stratégies de conservation plus efficaces. En manœuvrant sur trois axes, à savoir la sensibilisation, la réhabilitation et la recherche, ces établissements deviennent des piliers essentiels dans la lutte pour la préservation de ces espèces emblématiques.

La création d'un centre de soin à Mayotte, projet porté par l'association Oulanga Na Nyamba, représente une étape importante pour la conservation des tortues dans l'archipel. La structure doit voir le jour en Août 2024 et en prévision de l'arrivée des tortues, il est impératif de préparer divers aspects, y compris la création de rations alimentaires spécifiques. Réfléchir à l'élaboration de régimes alimentaires adaptés à leurs besoins nutritionnels est primordial pour maximiser les chances de réhabilitation.

Cette thèse a donc pour objectif d'étudier la biologie et l'alimentation en milieu naturel et en milieu captif des tortues vertes et imbriquées afin de comprendre les besoins de ces espèces et de proposer des rations alimentaires adaptées pour le futur centre de soin de Mayotte, permettant ainsi leur réhabilitation et leur conservation.

Afin de répondre à cette problématique, J'ai réalisé une journée d'observation à l'Aquarium de La Rochelle en Mars 2023 afin d'appréhender au mieux la thématique. De plus, un stage de

cinq semaines a été réalisé sur place à Mayotte au sein de l'association Oulanga Na Nyamba. Mes missions lors de ce stage étaient de comprendre les besoins de l'association pour le centre de soin, rencontrer en personne les acteurs de la conservation des tortues marines et les potentiels fournisseurs des ressources alimentaires et d'analyser les contenus stomacaux des tortues décédées à Mayotte pour caractériser leur alimentation en milieu naturel. Pour essayer d'avoir plus d'informations sur l'alimentation en milieu captif, un questionnaire a été diffusé via la Sea Turtle Rescue Alliance.

Ce travail est sectionné en quatre parties abordant les différents thèmes du sujet.

La première partie est consacrée à l'étude de la biologie et de l'importance des tortues marines dans les écosystèmes, ainsi qu'à l'alimentation de manière générale des tortues vertes et imbriquées en milieu naturel.

La deuxième partie permet d'expliquer le contexte dans lequel le centre de soin va voir le jour par une description de l'archipel de Mayotte et de l'importance des tortues marines dans cette région. Cette présentation passe par la description des filières qui sont importantes dans l'élaboration des rations alimentaires afin de comprendre les difficultés que peut rencontrer le centre de soin dans la démarche.

Une troisième partie permet de passer en revue les recommandations et les pratiques déjà réalisées dans d'autres centres de soins à travers le monde en termes d'alimentation en milieu captif des tortues marines. Les données recueillies pendant la journée d'observation à La Rochelle sont expliquées à ce niveau.

Enfin, la dernière partie regroupe les données expérimentales acquises lors du stage à Mayotte. Elle apporte une description du centre de soin qui doit voir le jour et les résultats des études de terrain, tels que les potentiels producteurs et fournisseurs et les analyses de contenus stomacaux de tortues décédées à Mayotte. L'élaboration des rations alimentaires adaptées se fait dans un dernier temps avec la présentation des valeurs nutritionnelles trouvées dans la littérature et un récapitulatif des éléments à prendre en compte dans l'alimentation des tortues marines en captivité.

L'ensemble des idées décrites dans cette thèse s'inscrivent dans une démarche intégrée dans l'effort global de conservation de ces espèces emblématiques.

PARTIE 1 : Étude de la biologie et de l'alimentation en milieu naturel des tortues vertes (*Chelonia mydas*) et des tortues imbriquées (*Eretmochelys imbricata*)

A. BIOLOGIE DES TORTUES MARINES

I. Taxonomie et identification des différentes espèces

On compte sept espèces de tortues marines présentes dans le monde entier : la tortue verte (*Chelonia mydas*, Linnée 1758), la tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*, Linnée 1766), la tortue Caouanne (*Carretta caretta*, Linnée 1758), la tortue de Kemp (*Lepidochelys kempii*, Garman 1880), la tortue olivâtre (*Lepidochelys olivacea*, Escholtz 1829), la tortue à dos plat (*Natator depressus*) et la tortue luth (*Dermochelys coriacea*, Vandelli 1761) (Musick 2002).

Ce sont des reptiles, animaux vertébrés poïkilothermes, inclus dans l'ordre des Testudines et dans le subordre des Cryptodires, correspondant au fait qu'elles peuvent rétracter leur tête d'avant en arrière, contrairement aux Pleurodires qui placent leur tête latéralement à travers l'ouverture crânienne de la carapace (Divers, Stahl, Mader 2019). Elles vivent en milieu marin tout en dépendant et en ayant gardé des caractéristiques du milieu terrestre dont elles sont originaires. Ainsi, les tortues marines se différencient morphologiquement des autres tortues par leur grande taille à l'âge adulte, leurs membres largement aplatis en forme de palettes permettant une bonne propulsion dans l'eau et une carapace profilée aérodynamique facilitant les migrations sur de longues distances (Wyneken 2001; Robinson, Paladino 2013)

La tortue luth est la seule représentante encore existante de la famille des Dermochelyidae, définie par une carapace formée d'une épaisse couche de graisse recouverte d'un cuir, pouvant supporter des pressions importantes et faisant d'elle une plongeuse hors norme étant apte à aller jusqu'à 1300m de profondeur. Les six autres espèces appartiennent à la famille des Cheloniidae et ont une carapace osseuse à écailles soudée à la colonne vertébrale et aux côtes (Wyneken 2001; Robinson, Paladino 2013).

Les tortues vertes (Cm) et imbriquées (Ei) se distinguent des autres Cheloniidae par la présence de quatre plaques latérales sur la dossière. La tortue imbriquée possède une dossière ayant des écailles se chevauchant comme les tuiles d'un toit. Elle est reconnaissable également par son bec crochu, tel un faucon, ce qui lui a valu son nom anglais « Hawksbill ». Elle présente deux paires d'écailles préfrontales contrairement à la tortue verte qui n'en a qu'une. Cette dernière doit son nom à la couleur de sa graisse dû à son régime alimentaire herbivore à l'âge

adulte (Figure 1). La tortue verte est le plus grand membre de la famille des Cheloniidae en termes de masse et de longueur.

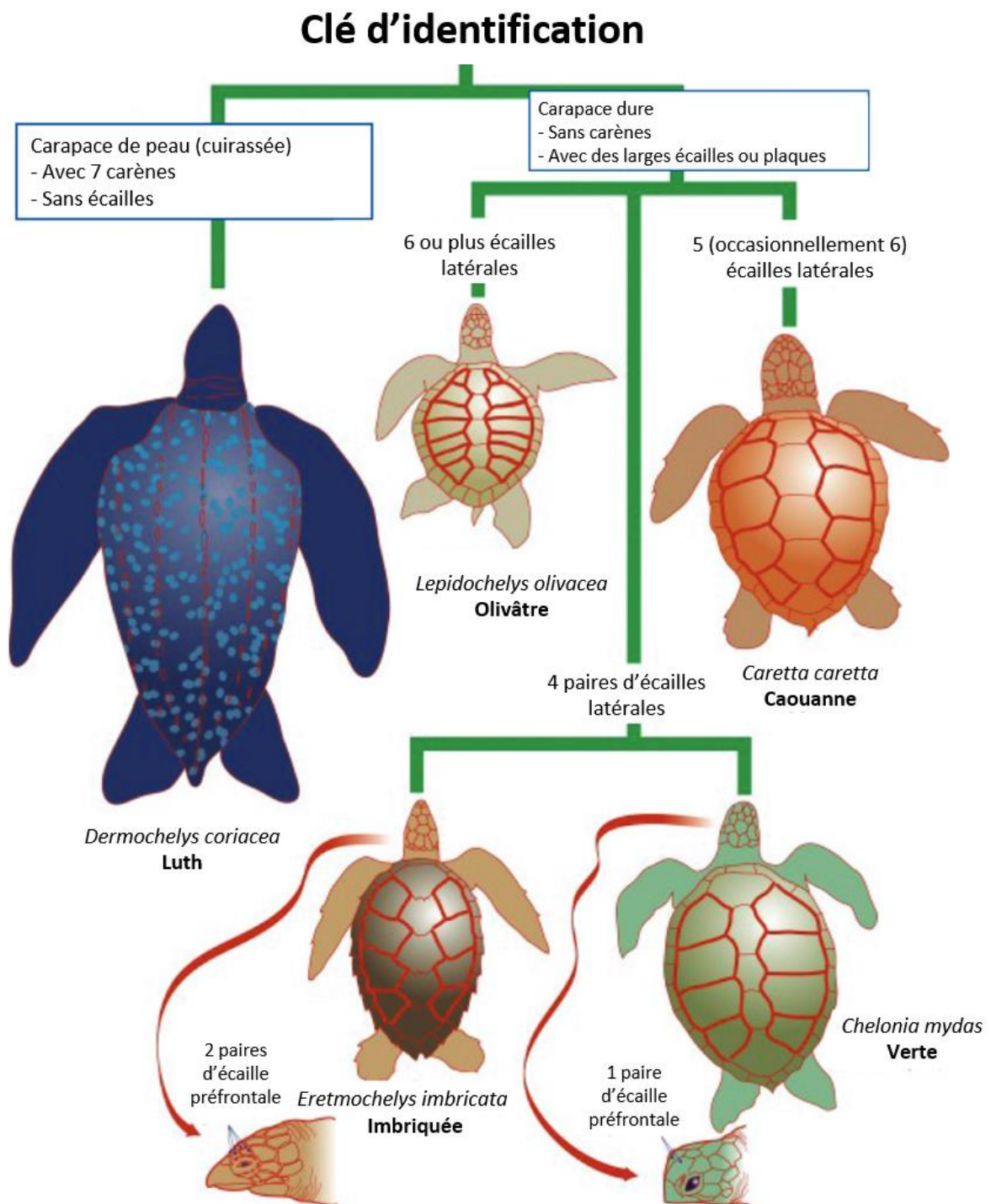


Figure 1 : Clé d'identification des tortues marines présentes dans l'Océan Indien. Adaptée et traduite à partir de l'article « Caribbean hawksbills - An introduction to their biology and conservation status », par Chacón, D. 2004

II. Distribution mondiale

Les tortues marines occupent tous les bassins océaniques à l'exception de l'océan Arctique. La tortue imbriquée est peut-être l'espèce tropicale la plus confirmée, tandis que la tortue luth est connue pour ses incursions dans des eaux plus froides, parfois polaires. À l'exception de la tortue de Kemp et de la tortue à dos plat, les tortues marines ont une répartition cosmopolite. La tortue de Kemp se limite principalement au golfe du Mexique et à la côte est des États-Unis, certains individus se trouvant occasionnellement le long des côtes du Royaume-Uni et de l'Europe occidentale. La tortue à dos plat est endémique du plateau continental australien (Eckert et al. 1999).

Les tortues vertes et imbriquées vivent dans les eaux tropicales et subtropicales des océans Atlantique, Pacifique et Indien (*Figure 2.a. et 2.b*)(Divers, Stahl, Mader 2019). La tortue imbriquée est l'espèce la plus tropicale de toutes les tortues marines dont la majorité de ses sites de pontes ne dépassent pas les tropiques du Cancer et du Capricorne. Elle est présente également dans la mer Noire. La tortue verte a été observée dans des eaux plus froides telles que l'Alaska ou au sud du Chili (Forbes 1996). Des séparations évolutives entre les populations de tortues vertes et de tortues imbriquées de différentes régions du monde ont été objectivées par analyse ADN (Bowen, Karl 2007).

Si la plupart des populations de tortues vertes vivent en zones néritiques à l'âge adulte, il a été observé que dans le Pacifique elles évoluent en haute mer. De même, les tortues imbriquées attachées aux récifs coralliens peuvent a priori évoluer dans les estuaires de mangroves en dehors des périodes de reproduction au niveau du Pacifique Est (Wyneken, Lohmann, Musick 2013, chap. 9).

Les études de suivi par satellite permettent d'identifier les zones à forte fréquentation, comme ce qui a été fait pour 126 tortues luths dans l'océan Pacifique pour caractériser leurs déplacements à grande échelle (Bourjea, Ciccione, Dalleau 2013). Les suivis des mouvements des tortues peuvent être effectués directement à l'aide de techniques de télédétection ou indirectement à l'aide de marqueurs biochimiques tels que les isotopes stables naturels. Cette dernière étant moins invasive, reproductible et pouvant être appliquée à différentes échelles de temps pour étudier l'écologie de la migration ou de l'alimentation. L'analyse des isotopes

stables est une méthode de choix lorsque les zones à étudier sont inaccessibles pour l'évaluation des habitudes alimentaires des tortues (Caut et al. 2008).

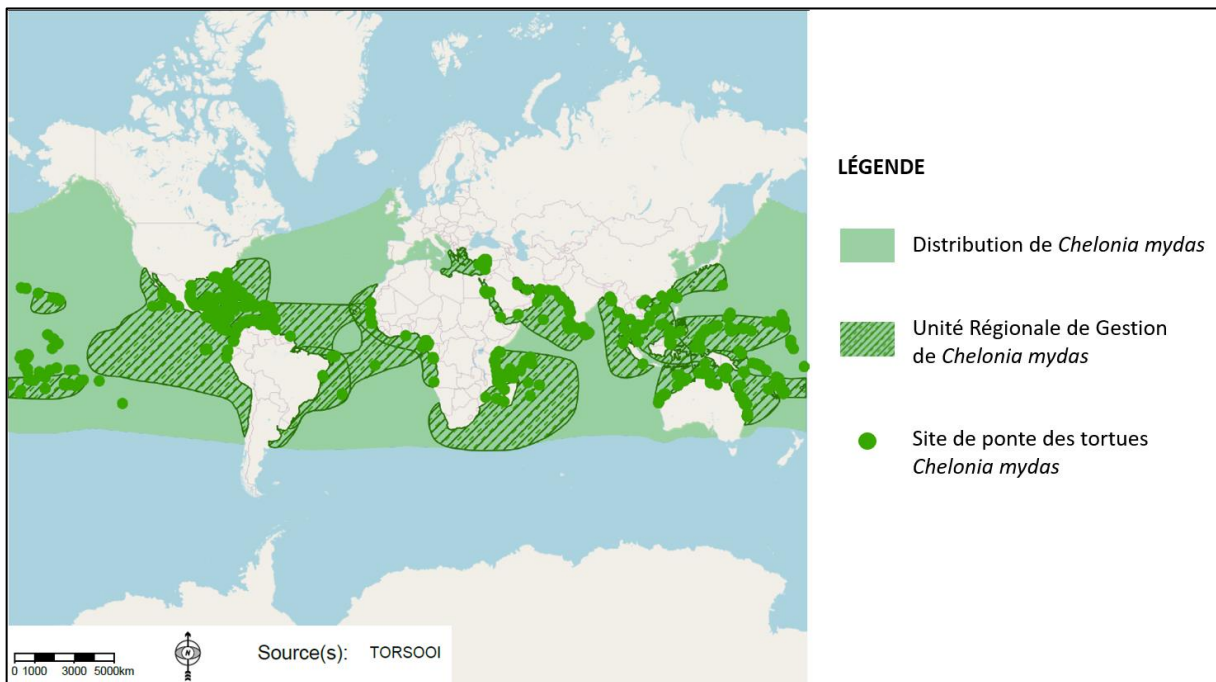


Figure 2.a. : Bilan cartographique des connaissances mondiales sur la tortue verte (*Chelonia mydas*). (Données TORSOOI-Ifremer-SWOT 2013)

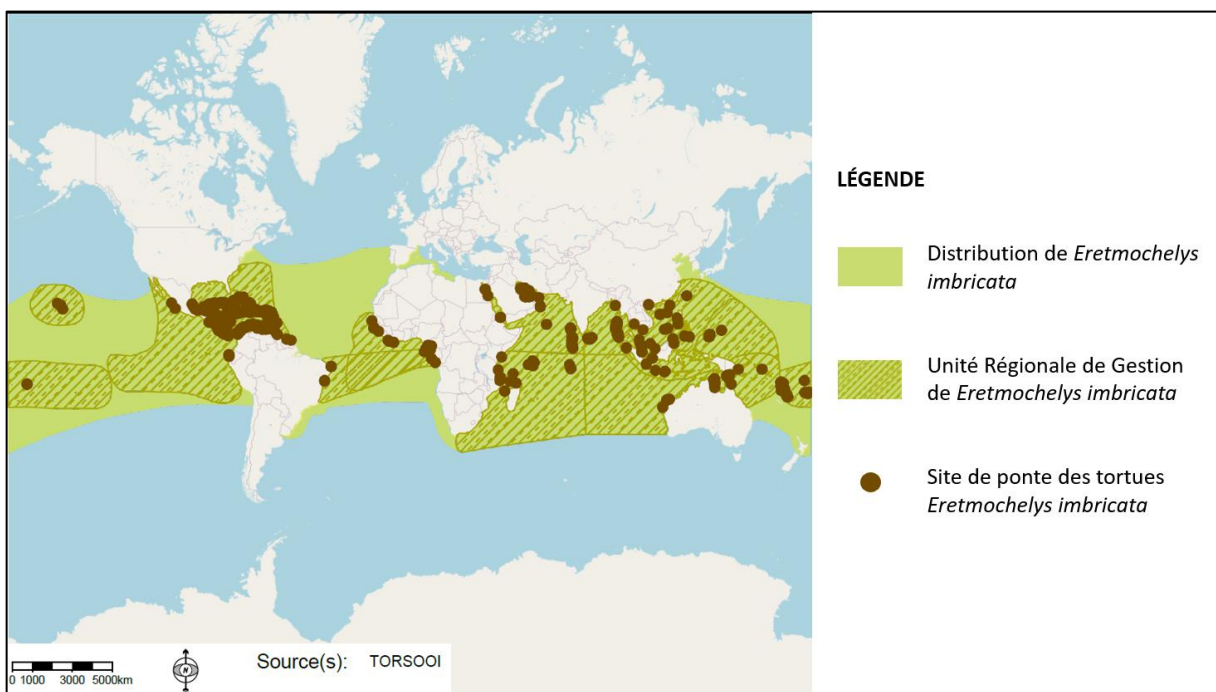


Figure 2.b. : Bilan cartographique des connaissances mondiales sur la tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*) (Données TORSOOI-Ifremer-SWOT 2013)

III. Cycle de vie

L'histoire de vie des tortues marines est dans l'ensemble commune pour toutes les espèces et couvrent de grandes échelles temporelles et spatiales (Blumenthal et al. 2009; Bourjea, Ciccione, Dalleau 2013). En effet, les performances migratoires sont exceptionnelles chez ces espèces. Ce sont les seuls reptiles vivants à effectuer des migrations sur de très longues distances rivalisant avec celles des vertébrés terrestres et aviaires. Certaines populations de tortues vertes et caouannes parcourent des dizaines de milliers de kilomètres au cours de leur vie, soit plusieurs fois le diamètre du bassin océanique d'origine de la tortue (Lutz et al. 1996, chap. 5). Les adultes se déplacent entre des zones d'alimentation et de reproduction établies à intervalles réguliers. Les déplacements sont également effectués pour maximiser leur taux de croissance et minimiser le risque de mortalité (Hatase et al. 2006). Les tortues sont guidées par des boussoles biologiques et le champ magnétique terrestre, par les courants et ce qui est transporté par l'eau, par les caractéristiques bathymétriques et la température de l'eau (Lutz et al. 1996, chap. 5). Des études ont montré que les tortues vertes sont capables de maintenir des trajectoires droites sur de longues distances en pleine mer et de corriger leur direction selon les données environnementales, d'être guidées par les courants ou les informations éoliennes et de naviguer en l'absence de repères magnétiques.

L'établissement des schémas de déplacement des tortues marines est crucial pour une meilleure compréhension de leur écologie alimentaire et de leurs caractéristiques biologiques, et constitue une condition préalable à leur conservation (Caut et al. 2008). Elles occupent une grande partie de leur vie en mer et ont évolué en ce sens, mais ont toutefois conservé une composante terrestre essentielle durant leur cycle biologique avec la ponte des œufs qu'elles effectuent sur les plages.

Une autre singularité de ces espèces est sans doute leur longévité notable pouvant aller à plus de 100 ans pour les tortues luth. Ces espèces ont une croissance lente, et n'atteignent leur maturité sexuelle qu'après plusieurs décennies (Bourjea, Ciccione, Dalleau 2013).

Le cycle de vie des tortues marines se compose d'un stade œuf et d'émergence, des stades juvéniles à subadultes et enfin de la maturité sexuelle avec le passage à l'âge adulte (*Figure 3, en fin de partie III*).

1. Phase d'incubation

La première phase de vie d'une tortue marine débute dans son œuf après avoir été déposé et enterré par une femelle sur une plage. L'incubation dure entre 45 à 90 jours au cours desquels l'embryon passe de quelques cellules à un organisme entièrement formé, capable d'une existence indépendante (Ackerman 1997; Musick 2002).

De nombreux paramètres vont influencer sur le développement des embryons. Tout d'abord, la température est un facteur crucial puisqu'elle va déterminer le sexe des émergentes (tortues qui viennent de sortir de l'œuf). En effet, une température supérieure à une température pivot (entre 28 et 30°C en moyenne) lors du tiers moyen d'incubation engendrera une majorité de femelles, tandis qu'à des valeurs en dessous de la température pivot, les tortues produites seront principalement des mâles (Arthur, Boyle, Limpus 2008; Broderick et al. 2000). À la température du sable s'ajoute la température métabolique liée au développement embryonnaire qui entraîne des températures plus élevées au milieu des nids et plus faible en périphérie. Ces températures varient d'une espèce à l'autre et au sein d'une espèce selon les lieux de ponte. Il est aussi admis que la période d'incubation diminue à mesure que la température d'incubation augmente (Ackerman 1997). Cela peut influencer sur la taille et les performances locomotrices des émergentes et par conséquent leur capacité à échapper aux prédateurs ou à trouver leur nourriture après éclosion (Booth 2017). D'autres variables, telles que l'humidité, la salinité et les échanges gazeux respiratoires, sont déterminants pour l'aboutissement de l'incubation (Ackerman 1997).

2. Emergence et début de vie

À la fin de l'incubation, les œufs sont amenés à éclore. Les nouveau-nés ne mesurent alors qu'une dizaine de centimètre et remontent à la surface depuis leur nid souterrain. Les premiers individus grattent le sable au-dessus d'eux qui va tomber par gravité vers le bas. Les petites tortues vont ainsi remonter progressivement toutes ensemble vers le haut. Elles se dirigent ensuite directement vers la mer en s'orientant vers l'horizon le plus lumineux et en s'aidant de la pente de la plage. Les émergentes ont besoin de ramper activement sur la plage pour activer leur métabolisme. Cette étape est primordiale puisqu'elle permet aux nouveau-nés de se préparer à leur première nage et de s'imprégner de son environnement. Les femelles reviendront après maturité sur cette plage qui les a vu naître grâce à cette première

imprégnation en se guidant par les champs magnétiques terrestres. Généralement, l'émergence a lieu en fin de journée ou la nuit lorsque les gradients de température du sable s'inversent et la pression de prédation plus faible. En effet, lors de cette traversée les émergentes sont particulièrement vulnérables aux prédateurs tels que les oiseaux, les crabes ou encore les chiens (Philippe et al. 2014).

Arrivée dans l'eau, le chemin à parcourir de la poignée de survivante est encore long. Elles doivent encore éviter les prédateurs aquatiques tels que les requins, les carangues, les barracudas ou les mérus. Elles entament une longue période de nage frénétique pendant 3 à 6 jours selon les espèces pour arriver en haute mer où il est supposé qu'elles se réfugient dans des gyres (systèmes de courants circulaires) (Arthur, Boyle, Limpus 2008). Dès leur éclosion, les tortues marines sont des machines migratoires dotées d'un ensemble de mécanismes leur permettant de se guider à travers de vastes étendues d'océan (Lutz et al. 1996, chap. 5).

L'obtention d'informations écologiques sur ce stade de l'histoire de la vie par le biais d'observations directes in situ reste difficile (Boyle, Limpus 2008). Si le succès à l'éclosion peut atteindre plus de 85% selon les espèces, on estime qu'en réalité une seule émergente sur 1000 survit et atteint l'âge adulte (GTMF 2015).

3. Juvéniles : du stade pélagique au stade néritique

3.a) Stade pélagique

Un organisme est pélagique s'il occupe la colonne d'eau mais pas le fond de la mer. Toutes les tortues marines ont une phase océanique pélagique juvénile, à l'exception de la tortue à dos plat (*Natator depressus*) qui est limitée à l'Australie, à la Nouvelle-Guinée et aux océans adjacents (Bowen, Karl 2007). Les émergentes débutent leur vie le long des zones de convergence océanique pélagique où la nourriture est concentrée. La consommation à ce stade varie très probablement de manière stochastique en raison de la distribution hétérogène des proies (Roark, Bjorndal, Bolten 2009). Elles se nourrissent essentiellement de plancton. Cette phase dure pour les tortues vertes entre 5 et 10 ans et est appelée « les années perdues » dû au fait que peu d'informations sont connues sur cette période. Les tortues grandissent et acquièrent une nage plus puissante pour s'affranchir des courants marins (Lutz et al. 1996).

Elles migrent vers les zones néritiques à des moments et des classes variables selon les sous régions. Ce changement ontogénique intervient lorsqu'elles atteignent 25 cm de longueur courbe de carapace (CCL) dans l'Atlantique contre 35 cm de CCL dans le Pacifique (Arthur, Boyle, Limpus 2008; Forbes 1996; Roark, Bjorndal, Bolten 2009). Les études sur les isotopes stables qui composent les tissus inertes permettent de caractériser ce changement pour différentes populations (Esteban et al. 2020). Pour les imbriquées, l'observation sur les aires littorales se fait après le passage entre 20 et 35 cm de longueur courbe de la carapace, indiquant par ailleurs des périodes variables de dérive océanique (Lutz et al. 1996).

3.b) Stade néritique

Les tortues marines se déplacent ensuite vers des zones d'alimentation moins profondes, proches du rivage et propices à leur croissance et leur développement, telles que les récifs coralliens, les récifs rocheux, les peuplements de mangroves et les prairies d'herbiers marins (Lutz et al. 1996; Forbes 1996). Dans l'océan Pacifique oriental, les habitats néritiques ont été décrits comme des habitats clés pour les juvéniles et les subadultes (Jimenez et al. 2017).

Chez les tortues vertes, le changement entre stade pélagique et stade néritique s'accompagne d'un changement de régime alimentaire. Une transition d'un régime omnivore composé de matériel neustonique, c'est-à-dire des organismes qui vivent dans la couche mince sous la surface de l'eau, à un régime prédominant à base de végétaux (Arthur, Boyle, Limpus 2008). Elles changent également leurs schémas de déplacement, tendant à établir des aires d'habitat limitées associées à des sites spécifiques de broutage benthique et de repos pendant de longues périodes (Reisser et al. 2013).

L'activité des tortues varie en fonction de l'habitat. Chez les imbriquées, seul le repos est observé dans des zones non colonisées, tandis que les récifs coralliens, les murs de récifs et les habitats de fonds durs colonisés abritent des comportements de nage, d'alimentation et de repos (Blumenthal et al. 2009).

4. Adultes

Après le stade océanique, les juvéniles s'établissent dans les habitats néritiques où elles vont s'alimenter au niveau des récifs coralliens, des herbiers marins et des fonds durs (Blumenthal et al. 2009).

4.a) Adulte en zone d'accouplement et ponte

A la maturité sexuelle, le taux de croissance ralentit considérablement, les réserves d'énergie étant allouée à la reproduction (Forbes 1996). L'âge de la maturité sexuelle connaît une variabilité inter et intraspécifique mais n'est atteint qu'après plusieurs décennies, entre 10 et 30 ans (GTMF 2015). Les jeunes adultes migrent alors sur de longues distances entre les sites d'alimentation et les plages de reproduction natales. L'énergie nécessaire à cette migration et aux activités de reproduction associées peut représenter 10 à 24% du budget énergétique annuel de la femelle (Forbes 1996).

L'accouplement dure plusieurs heures et se fait à proximité des plages de ponte. Plusieurs mâles peuvent s'accoupler avec une femelle. Le temps entre la fécondation et la ponte est ordinairement de 15 jours mais peut aller jusqu'à 1 an (Philippe et al. 2014). Au cours d'une même phase de reproduction, elles peuvent pondre plusieurs fois et les phases de reproduction, pour un individu donné, sont généralement espacées de 1 à 9 ans voire plus (Bourjea, Ciccione, Dalleau 2013).

Après l'accouplement, la femelle quitte la mer de préférence à marée haute et rampe sur une plage de sable où elle va pouvoir déposer entre 100 et 200 œufs. Les pontes sont organisées en plusieurs temps :

- 1) La tortue arpente la plage afin d'être au-dessus du niveau de la mer.
- 2) Elle creuse un premier renforcement appelée cavité corporelle lui permettant de se mettre à l'abri du regard des prédateurs.
- 3) Elle va ensuite avancer un peu et creuser le puit de ponte où elle va délivrer 100 à 200 œufs. Cette étape va durer 15 min environ où la tortue est en état de transe et considérablement vulnérable.
- 4) Elle peut ensuite reboucher ce trou en réalisant des mouvements de balayage sur plus d'un mètre pour masquer l'endroit exact du puit de ponte.
- 5) Pour finir, elle redescend pour retourner en mer.

Fréquemment, les tortues montent sur une plage et ne trouvent pas d'endroit adéquat pour y déposer leurs œufs ; elles ne feront alors qu'un demi-tour. Les imbriquées vont généralement nicher à l'intérieur ou en dessous de la végétation terrestre (Chacón-Chaverri 2004).

Tous les deux à quatre ans, les tortues marines migrent des zones de recherche de nourriture vers leurs plages natales, avec une grande fidélité au site de nidification. Cet intervalle varie en fonction de l'âge de la tortue, de la taille de la population et de la qualité des sites de nourrissage (Philippe et al. 2014). En effet, chez les tortues captives nourries avec des régimes riches en protéines et en énergie, la nidification peut se faire tous les ans (Wood, Wood 1980). Les femelles pondent en moyenne trois nichées à des intervalles de 10 à 17 jours et peuvent rester au voisinage de la plage de nidification pendant cette période (Lutz et al. 1996, chap. 3). Néanmoins, il a été également décrit que la distance entre la zone d'accouplement et le site de ponte peut être d'une centaine de kilomètres (Lutz et al. 1996).

Les femelles retournent ensuite jusqu'aux zones d'alimentation côtière à des centaines voire des milliers de kilomètres de la zone de reproduction. Les mâles peuvent également migrer vers les sites de recherche de nourriture ou rester à proximité des zones d'accouplement.

Par ailleurs, la tortue verte est la seule espèce dont une sortie de l'eau n'est pas réservée au comportement de ponte. A Hawaï et aux Galapagos, les tortues vertes mâles et femelles peuvent rester sur une plage plusieurs heures au cours de la journée pour une raison encore inconnue. Des hypothèses sur les avantages de ce comportement ont été émises, telles que l'échappement aux prédateurs, l'augmentation de la température corporelle ou la destruction des ectoparasites (Robinson, Paladino 2013).

4.b) Adulte en zone d'alimentation

Cette phase permet aux adultes de reconstituer leurs réserves graisseuses avant d'entreprendre trois à quatre ans plus tard une nouvelle migration vers les zones de reproduction. Des études génétiques suggèrent que les tortues d'une zone d'alimentation proviennent de plusieurs plages de nidification (Luke et al. 2004; Bowen, Karl 2007).

Les zones d'alimentation se situent généralement en zone néritique : les tortues vertes évoluent dans les zones littorales et côtières où elles se nourrissent de phanérogames marines et d'algues et les tortues imbriquées habitent davantage au niveau des zones d'alimentation côtières avec des substrats de fond dur tels que les récifs coralliens où elles se nourrissent principalement d'éponges (Lutz et al. 1996; Blumenthal et al. 2009). Comme évoqué précédemment, des études télémétriques ont permis de mettre en évidence que les zones d'alimentation océanique sont des zones d'alimentation alternatives pour les tortues vertes

adultes alors qu'on les croyait être des herbivores néritiques strictes (Carrión-Cortez et al. 2013).

On peut observer des séparations d'habitat entre les zones où les sub-adultes et les adultes se nourrissent et les zones de développement et d'alimentation des juvéniles, comme sur les côtes péruviennes (Álvarez-Varas et al. 2017). En effet, les plus grandes tortues ont tendance à se regrouper dans les zones côtières à haute énergie et les individus plus petits dans les zones protégées peu profondes, stratégie qui pourrait conférer un avantage aux tortues dans leur croissance et leur survie (Carrión-Cortez, Zárate, Seminoff 2010).

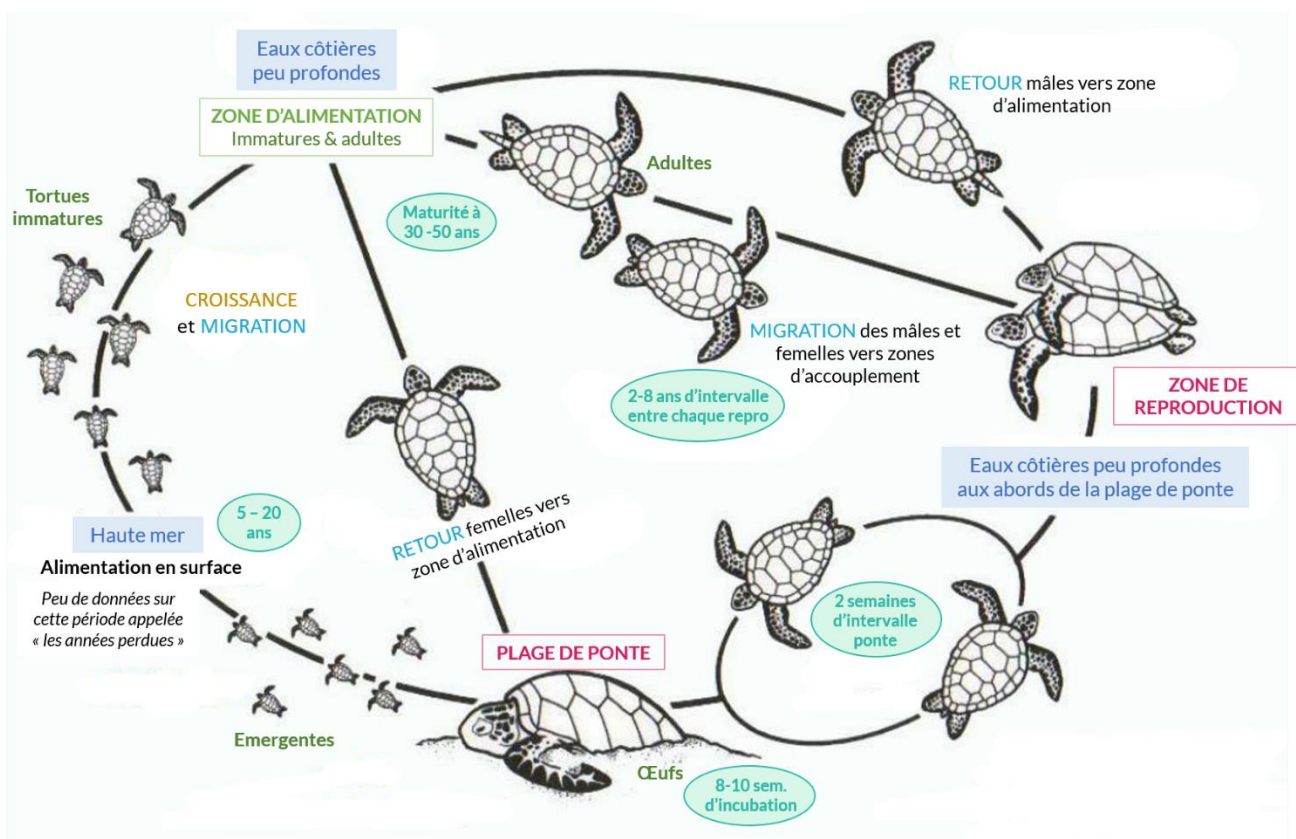


Figure 3 : Cycle de vie d'une tortue marine, adapté et traduit à partir d'une illustration de (Lutz et al. 1996)

IV. Anatomie

L'anatomie d'un animal définit la façon dont il peut vivre et interagir avec son environnement. Cela donne des indications fondamentales sur son comportement, son écologie et sa physiologie. Les tortues marines diffèrent des autres tortues entre autres par leurs membres en forme de nageoires, une forme aérodynamique pour évoluer dans le milieu

aquatique et favoriser les migrations et des glandes lacrymales expulsant les excédents de sel de leur circulation sanguine.

1. Anatomie générale des tortues vertes et imbriquées

Les tortues de la famille des Cheloniidae sont des reptiles marins avec une carapace constituée d'une couche d'os en dessous d'une couche cornée disposée selon des motifs géométriques de scutes. La partie dorsale, la dossière, est reliée au plastron, la partie ventrale de la carapace. Elles atteignent une taille considérable à l'âge adulte. Chaque espèce de Cheloniidae se distingue sur la base d'une combinaison de caractéristiques comprenant la couleur, la forme des mâchoires, les écailles préfrontales et celles de la carapace (*Figure 4*) (Lutz, Musick, Wyneken 1996). La couleur fournit non seulement des informations taxonomiques, mais aussi des indices sur les adaptations nécessaires à la survie dans des environnements différents par le biais de camouflage.

L'identification d'un individu peut se faire à l'aide de ses écailles postorbitaires qui font office d'empreinte car elles possèdent une disposition unique par individu.

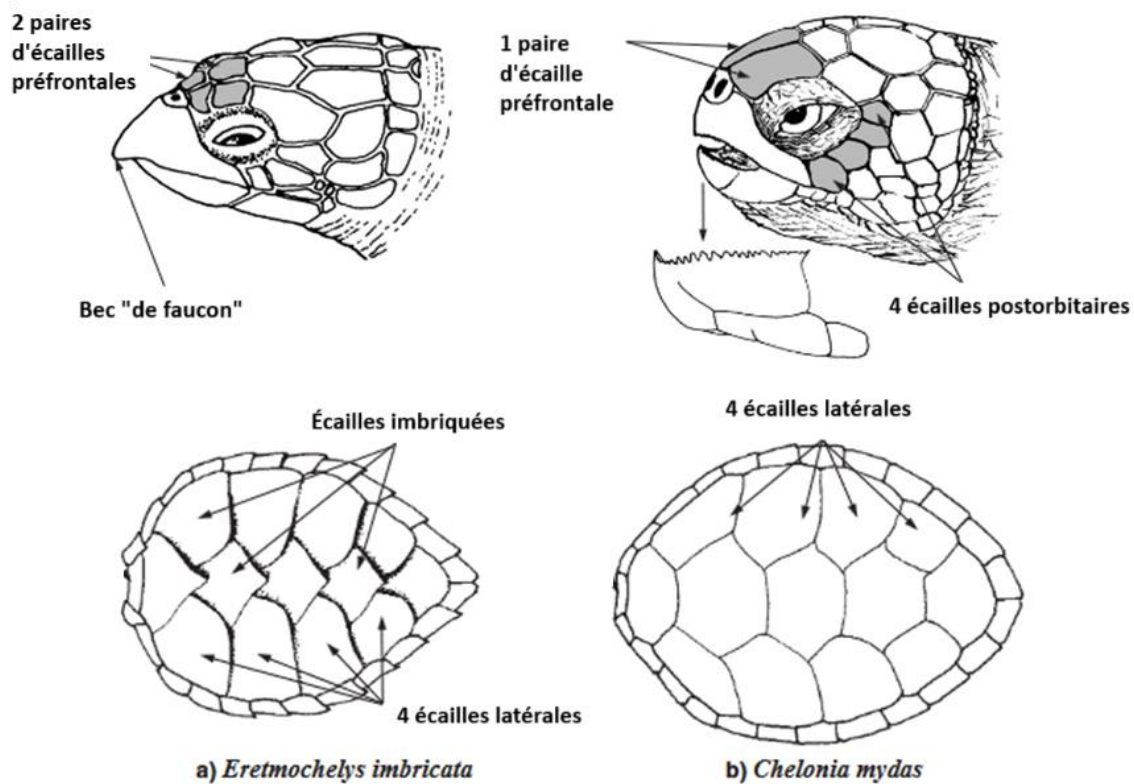


Figure 4 : Comparaison de l'anatomie de la tête et des dossières des tortues imbriquées (à gauche) et tortues vertes (à droite). Adapté et traduit de (Wyneken 2001).

1.a) Particularités des tortues vertes

La tortue verte mesure en moyenne 110 cm pour un poids de 145kg. Elle partage avec la tortue à dos plat la particularité d'avoir une paire d'écailles préfrontales, tandis que les autres en ont deux. Elle a communément quatre écailles postorbitaires, se situant sous les yeux. A l'éclosion, les Cm émergentes sont noires dorsalement et blanches ventralement. Le plastron arbore ensuite à l'âge adulte une couleur crème ou noire chez une race du Pacifique Est, qui à l'origine était admise comme étant une espèce à part entière. La dossière est striée sur chaque écaille et mélange le brun, le blanc et le noir (*Figure 5*).



Figure 5 : Image globale d'une tortue verte (Oulanga Na Nyamba 2022a)

1.b) Particularités des tortues imbriquées

La tortue imbriquée a la particularité d'avoir des écailles qui se chevauchent sur la carapace (sauf chez les individus très âgés) dont la couleur est brune à feu et jaune. La teinte du plastron est crème avec potentiellement des taches brunes sur chacune des scutelles. Les jeunes sont en majorité bruns (Lutz, Musick, Wyneken 1996). Adulte, elle atteint en moyenne 90cm de long pour 60kg. La tête de la tortue imbriquée s'allonge rapidement, de sorte que même chez les tortues aussi petites que 15 cm SCL, la tête est presque deux fois plus longue que large, et les rhamphothèques forment un bec long, étroit et distinctif (Divers, Stahl, Mader 2019). Les nageoires ont généralement deux griffes évidentes (*Figure 6*).



Figure 6 : Image globale d'une tortue imbriquée (Oulanga Na Nyamba 2022a)

1.c) Distinction sexuelle par des critères anatomiques externes

La différenciation morphologique entre mâle et femelle peut se faire à l'aide de critères sexuels secondaires apparaissant après la maturité sexuelle. Trois indices peuvent être utilisés pour faire cette différence. Premièrement, on observe la queue qui est généralement beaucoup plus longue que les nageoires postérieures chez les mâles. Lors de l'accouplement, le mâle peut plus facilement contourner la dossière de la femelle. De même, les griffes sont plus développées chez le mâle, caractère servant aussi lors de l'accouplement pour s'agripper à la femelle. Enfin, on peut regarder le plastron qui est plus concave chez le mâle que chez la femelle mais dont la forme peut changer également selon l'état d'embonpoint. Ce dernier est donc à utiliser avec précaution pour la diagnose (Wyneken 2001).

2. Anatomie du tube digestif

Nous nous intéresserons dans cette partie plus particulièrement à l'anatomie du tube digestif et des organes annexes permettant l'alimentation des tortues vertes et imbriquées. Le tube digestif commence à la bouche et se termine au cloaque et permet la digestion des aliments ingérés. La morphologie du tube digestif est liée à sa fonction et il est possible de diagnostiquer le régime alimentaire d'une espèce en identifiant ses caractéristiques digestives (Magalhães et al. 2012). En plus des différences entre les espèces, des fluctuations liées à la taille, au sexe et à la saison sont à considérer (Rainey 1981).

L'anatomie du tube digestif des tortues marines a pu être observée et prise en photo lors des nécropsies de sept tortues lors du stage à Mayotte (*Figure 7*). Les étapes de la nécropsie ainsi que les fiches d'accompagnement sont disponibles en ANNEXE 1.



Figure 7 : Photo du tube digestif entier d'une tortue verte femelle (©Anaëlle Varais – Juin 2023)

2.a) *Bec et cavité orale*

Les tortues disposent toutes d'un bec fort et corné. La forme varie cependant comme avec la mâchoire des tortues imbriquées qui a la particularité d'être en forme de bec de faucon (*Figure 8*).

La cavité orale marque le commencement du tube digestif et permet la capture et la transformation des aliments (Wyneken 2001). Aucune tortue marine n'a de vraies dents, même si des projections papillaires ressemblant à des dents peuvent être présentes au niveau de la gorge (Musick 2002). Lors de l'ingestion d'un aliment, la tortue peut faire des mouvements de la mâchoire, indiquant que les parties inférieures et supérieures de la bouche de l'animal peuvent constituer une surface fonctionnelle pour la fragmentation mécanique d'une petite partie des aliments (Reisser et al. 2013).

Chez toutes les espèces, la langue est courte, large et attachée au plancher de la bouche sur quasiment toute sa longueur (Rainey 1981).



Figure 8 : Photo de la face droite d'une tortue verte (à gauche) et de la face droite d'une tortue imbriquée (à droite). (©Anaëlle Varais – Juin 2023)

2.b) *Œsophage*

L'œsophage débute à l'arrière de la langue et se poursuit jusqu'à l'estomac. C'est un organe tubulaire musculo-membraneux situé médialement dans la région cervicale et qui dévie légèrement en arrière et à droite de la trachée dans la région cœlomique (Wyneken 2001).

La longueur moyenne de l'œsophage varie en fonction des espèces et se révèle plus grande chez *C. mydas* (19,32 +/- 4,09 cm, n = 9) que chez *E. imbricata* (16,00 cm, n = 1) (Magalhães et

al. 2012; Nuitja, Wijaya 2017). Cet organe représente 3% de la longueur totale du tube digestif chez les tortues vertes (Baron 2014).

L'œsophage des tortues marines se caractérise par la présence de papilles pointues et kératinisées sur toute sa longueur (*Figure 9*). Ces dernières sont orientées vers l'estomac et s'agrandissent à mesure qu'on progresse vers la région caudale. Selon les espèces, leur taille, leur nombre et leur degré de kératinisation varient. Chez la tortue verte, il a été mesuré que la muqueuse œsophagienne est tapissée par dix-huit à vingt papilles par centimètre carré alors que l'imbriquée n'en compte que treize à quinze par centimètre carré (Nuitja, Wijaya 2017). L'orientation de ces papilles suggère qu'elles facilitent la prise de nourriture et suppriment les possibles régurgitations causées par les changements de pressions lors des plongées. On suppose également qu'elles favorisent l'expulsion d'eau avant la déglutition tout en retenant les aliments (Wyneken 2001; Magalhães et al. 2012; Bjorndal 1985).

La transition entre l'estomac et l'œsophage est marquée par l'absence de papilles, un rétrécissement du muscle et la présence du sphincter gastro-œsophagien. Un diverticule œsophagien ou jabot se situant juste avant l'estomac a été observé chez certaines tortues vertes. Il permettrait la rétention du bol alimentaire avant le passage à l'estomac afin de réaliser une digestion ultérieure (Wyneken 2001; Magalhães et al. 2012; Baron 2014).



Figure 9 : Photo de la paroi interne de l'œsophage de tortues vertes femelle (©Anaëlle Varais – Juin 2023)

2.c) Estomac

L'estomac est incurvé en forme de « J » et est situé à gauche de la cavité coelomique (*Figure 10*). Il s'enroule autour du foie et du péricarde qui sont situés plus médialement. L'estomac est lié au foie par un ligament gastro-hépatique et aux poumons par un ligament gastro-pulmonaire. Il se divise en trois parties, le cardia et le pylore, les deux extrémités et le fundus, la cavité principale. Chez les tortues vertes, il représente 6% de la longueur totale du tube digestif (Wyneken 2001; Magalhães et al. 2012; Baron 2014).

Le cardia réduit la pression extérieure afin d'éviter que l'eau ne pénètre dans l'estomac lorsque la tortue se nourrit et dans l'autre sens, d'empêcher les reflux gastriques vers l'œsophage qui pourraient causer de l'inflammation (Chen et al. 2015).

La muqueuse de l'estomac est tapissée de plis longitudinaux.

En raison de l'absence de dents dans la cavité orale, cet organe est particulièrement important en amorçant les processus chimiques et physiques de la digestion (Wyneken 2001; Magalhães et al. 2012).

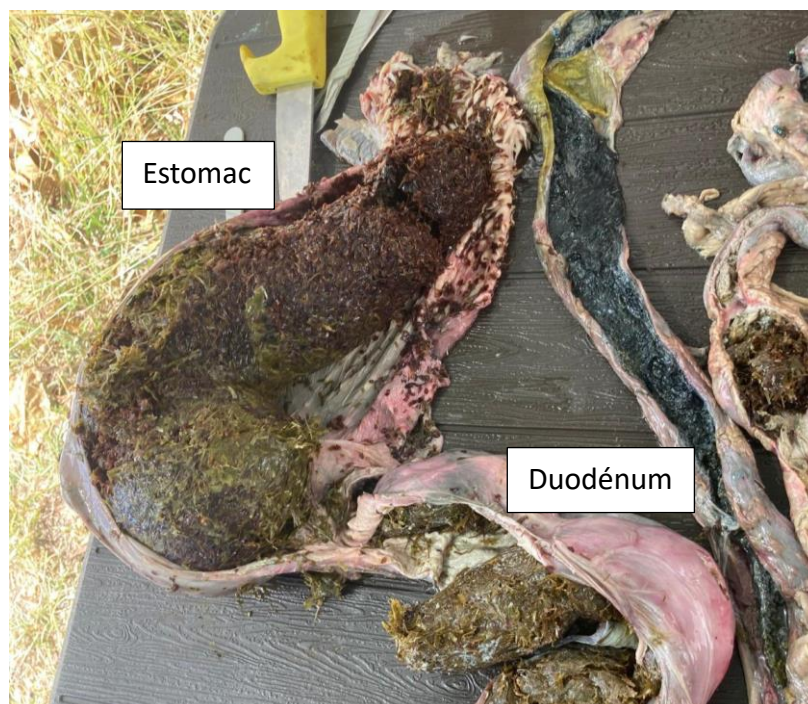


Figure 10 : Photo de l'estomac rempli et du duodénum du tube digestif d'une tortue verte juvénile (©Anaëlle Varais – Juin 2023)

2.d) Intestin grêle

L'intestin grêle prend naissance après le sphincter pylorique. C'est une structure tubulaire dont le diamètre est assez constant sur toute sa longueur et qui s'enchevêtre dans une grande partie de la cavité coelomique (Figure 11). Sa longueur varie selon les espèces : *C. mydas* (145.13 +/- 16.52 cm, n = 9) et *E. imbricata* (160,12 cm, n = 1) (Magalhães et al. 2012).

Le duodénum, première portion de l'intestin grêle, se caractérise par des plis réticulaires en « nid d'abeille » sur sa muqueuse. Cet aspect est particulièrement prononcé chez les tortues vertes relativement à la tortue imbriquée et les autres espèces carnivores/omnivores (Magalhães et al. 2012). Le jéjunum et l'iléon se différencient du duodénum par la présence de plis longitudinaux rectilignes mais reconnaître la transition entre les deux s'avère difficile si l'on se base uniquement sur la morphologie. Les études histologiques confirment les transitions d'une partie d'intestin grêle à une autre. L'intestin grêle représente en moyenne 26,2% de la longueur totale du tube digestif (Wyneken 2001; Baron 2014).

Les enzymes digestives dans cette partie du tube digestif sont ajoutées pour décomposer les protéines et les glucides complexes. L'absorption des acides aminés, des glucides, des sucres, de l'eau, des acides gras et des minéraux vont se faire en grande partie à ce niveau. Ainsi, la présence de plis sur toute la longueur de l'intestin grêle augmente la surface de contact disponible pour l'absorption des nutriments (Wyneken 2001).



Figure 11 : Photo de la paroi de l'intestin grêle d'une tortue verte femelle (@Anaëlle Varais – Juin 2023)

Le passage de l'intestin grêle au gros intestin est caractérisé par un sphincter iléo-cæcal.

2.e) Gros intestin et cloaque

La dernière partie du tube digestif est le gros intestin. Au niveau de sa partie la plus proximale se trouve le cæcum, poche légèrement proéminente qu'on remarque plus facilement chez les tortues vertes. Elle est marquée par l'alternance d'une part de régions renflées, qui lorsqu'on les ouvre présentent une muqueuse lisse à cause de l'accumulation de fèces, et d'autre part de régions étroites qui sont caractérisées par des plis rectilignes.

Le colon est beaucoup plus grand chez la tortue verte que l'intestin grêle (238.46 +/- 24.99 cm, n = 9) et représente 65% de la longueur totale du tube digestif, tandis que chez la tortue imbriquée il est à peine plus grand que l'intestin grêle (167,50 cm, n = 1) (Magalhães et al. 2012; Baron 2014).

Le gros intestin récupère l'eau et le cæcum et le rectum sont probablement les lieux d'absorption des acides gras volatils chez Cm (Chen et al. 2015).

Distalement, le côlon se rétrécit pour former un rectum musculaire, souvent pigmenté, dont les parois musculaires sont épaissies et repliées. Il se jette dans le cloaque qui reçoit également l'urine des reins, les œufs ou le sperme, et se connecte ventralement à la vessie urinaire. Le cloaque se vide ensuite à l'extérieur. Chaque fonction du cloaque est associée à une région dans laquelle les produits se déversent : le coprodeum reçoit les matières fécales en provenance du rectum ; l'urodeum est associé aux papilles urinaires et à l'ouverture de la vessie ; enfin le proctodeum est associé fonctionnellement à la copulation et structurellement à la proximité des canaux génitaux (Wyneken 2001).

Le tractus gastro-intestinal est marqué par des divisions structurelles et fonctionnelles. Des études comparatives indiquent qu'il existe des différences dans la structure et la fonction des tubes digestifs entre les carnivores, les omnivores et les herbivores, et que les variations morphologiques sont gouvernées par les différences de régime alimentaire. La longueur de l'intestin notamment, est proportionnellement plus longue chez la tortue verte que chez les autres Cheloniidae (Wyneken 2001; Magalhães et al. 2012).

3. Les systèmes sensoriels

Les sens jouent un rôle important dans l'alimentation pour la détection de la nourriture. Il est donc nécessaire de comprendre au maximum les systèmes sensoriels des tortues marines afin d'appréhender au mieux leur comportement alimentaire pour répondre à leurs besoins dans un milieu captif.

4.a) La vue

La vision exerce une fonction clé tout au long de la vie des tortues marines. Des repères optiques interviennent dans l'orientation des nouveaux nés après éclosion, dans la sélection du site de nidification, dans la détection des prédateurs et, ce qui nous intéresse plus spécialement, dans la recherche de nourriture (Oliver et al. 2000). Par ailleurs, les tortues fréquentent le milieu aquatique et aérien, il est donc intéressant de comprendre comment elles peuvent voir dans chaque milieu.

Les yeux des tortues marines sont ronds, logés dans des orbites osseuses et sont protégés par des paupières dorsales, ventrales et la membrane nictitante (Wyneken 2001). La taille des yeux et des pupilles est relativement petite par rapport à leur corps, caractéristique propre aux reptiles (Fritsches, Warrant 2013).

L'anatomie de l'œil chez ces espèces est classique de celle que l'on trouve chez tous les vertébrés. Trois couches composent le globe oculaire : la couche la plus externe est constituée de la sclère et de la cornée ; la couche intermédiaire comprend le chorion, le corps ciliaire et l'iris ; et enfin la couche interne qui est la rétine. La cornée, est transparente et responsable de la plupart de la réfraction de la lumière dans l'air, mais elle est pratiquement transparente dans l'eau. Elle est plate, ce qui est une adaptation au milieu aquatique. Le cristallin de *C. mydas* est presque sphérique et rigide. L'accommodation active ne semble pas être possible car les processus ciliaires n'atteignent pas le cristallin, contrairement aux tortues d'eau douce qui accommodent grâce à la grande souplesse de leur cristallin (Bartol, Musick 2002).

Les sensibilités à la lumière et aux couleurs ont été évaluées dans de nombreuses études à l'aide de méthodes morphologiques, électrophysiologiques et comportementales. Les tortues marines ont la capacité de discerner les couleurs, ce qui peut jouer sur leur comportement alimentaire. De plus, elles sont très sensibles à la lumière pouvant influencer sur leur comportement de reproduction ou d'émergence.

4.b) L'ouïe

La signification biologique de l'ouïe est encore méconnue chez les tortues marines mais elles pourraient utiliser ce sens pour la navigation, la détection des prédateurs et la localisation des proies. De même, des questions sur la morphologie fonctionnelle de l'oreille sont encore en suspens, notamment pour savoir si elles répondent à la pression, au mouvement des particules, ou aux deux (Piniak et al. 2016).

D'un point de vue anatomique, les tortues marines n'ont pas d'oreille externe. Le tympan, continuation du tissu facial, se trouve sur une couche de graisse, caractéristique qui distingue les tortues marines des tortues terrestres et semi-aquatiques. L'oreille moyenne est composée d'os, l'extracolumelle et la columelle, reliés entre eux par des ligaments. Elle est remplie d'air et reliée à la gorge par les trompes d'Eustache (Bartol, Musick 2002).

Selon des études électrophysiologiques et comportementales, les tortues marines détectent les stimuli acoustiques dans l'eau et à l'air libre à basse fréquence, soit entre 60 et 1000 Hz avec une sensibilité maximale vers 300 Hz. Cependant, les tortues semblent être sensibles à une gamme plus large de fréquence et à des sons d'intensité sonore moindre dans l'eau (Piniak et al. 2016). Cela peut être relié aux habitats des stades juvéniles et adultes qui se trouvent en eaux côtières et où les bruits de basse fréquence sont prédominants car associés aux bateaux et aux organismes biologiques (Bartol, Musick 2002).

4.c) L'odorat

Le nez des tortues marines est composé des narines externes, de la cavité nasale et s'étend jusqu'aux choanes qui s'ouvrent dans la cavité buccale.

La détection des odeurs chez les vertébrés joue un rôle dans la reproduction, la détection des prédateurs et l'alimentation. Les tortues marines ont un odorat développé et peuvent détecter des odeurs volatiles et solubles dans l'eau avec une grande sensibilité (Kitayama et al. 2021). En effet, il a été montré que les tortues vertes arrivaient à sentir les odeurs provenant des aliments et des glandes odorantes de la même espèce.

4.d) Le goût

Le goût est assuré par des bourgeons gustatifs situés au niveau des papilles linguales et du pharynx (Wyneken 2001).

L'importance de ce sens dans l'alimentation des tortues reste à déterminer plus précisément, notamment la distinction avec l'odorat. Cependant, il a été montré que les tortues peuvent distinguer des aliments enrobés ou non de médicaments ou avoir une préférence pour de la nourriture où une solution sucrée a été ajoutée. Des récepteurs des sensations sucrées, acides ou salées ont d'ailleurs été observés chez les reptiles (McArthur, Wilkinson, Meyer 2004; Boussarie 2021).

B. IMPORTANCE DES TORTUES MARINES DANS LES ECOSYSTEMES

Préserver les tortues marines de l'extinction c'est préserver une espèce essentielle des écosystèmes.

I. Des espèces ingénieuses, sentinelles

Les tortues marines sont des espèces essentielles à leur écosystème, façonnant par leur alimentation l'environnement dans lequel elles vivent. A titre d'exemple, les tortues imbriquées qui sont spongivores jouent un rôle clé dans la préservation de la biodiversité et des processus écologiques au sein des récifs coralliens (Bjorndal 1999). En effet, sans consommation d'éponges par les imbriquées, la diversité et la santé des écosystèmes récifaux diminuent en raison de la compétition pour l'espace entre les éponges et les coraux (Berube et al. 2012).

De même, les tortues vertes font partie des mégaherbivores marins avec les lamantins (*Trichechus* sp.) et les dugongs (*Dugong* sp.) qui contribuent de manière significative à la consommation de la biomasse des herbiers marins tropicaux. Elles peuvent consommer en broutant en moyenne près de 60% de la production totale des herbiers marins (Scott, York, Rasheed 2020; Kelkar et al. 2013). Elles agissent comme des ingénieuses de l'écosystème en modifiant ainsi la composition de leur habitat et en modulant les niches écologiques pour d'autres espèces (Ballorain 2010; Kelkar et al. 2013). Une réduction permanente du nombre de tortues vertes peut conduire à une dégradation fonctionnelle, structurelle et nutritionnelle des milieux dans lesquels elles évoluent (Forbes 1996; Ballorain 2010). En effet, on pourrait observer une diminution de la richesse en espèces et de l'abondance des herbiers en espèces pionnières hautement digestibles générant un habitat avec des ressources alimentaires de moins bonne qualité pour les autres espèces herbivores (Ballorain 2010). De plus, la

consommation d'herbes marines entraîne une augmentation du débit d'eau et de l'aération des sédiments, empêchant ainsi l'anoxie des sédiments. Elle réduit la probabilité d'eutrophisation du milieu en diminuant la disponibilité de la matière organique susceptible de favoriser la prolifération d'algues et d'épiphytes. Les tortues vertes fournissent également une voie alternative pour la décomposition de la matière organique, permettant un cycle des déchets plus rapide. Néanmoins, il est admis qu'un surpâturage peut quant à lui avoir des effets néfastes sur l'environnement (Heithaus 2013; Patel, Kotera, Phillott 2022).

De plus, elles peuvent contribuer aux flux de nutriments par leur mobilité, notamment entre les récifs coralliens qui constituent leurs zones de repos et les prairies marines adjacentes (Kelkar et al. 2013).

Par ailleurs, les tortues marines sont des espèces sentinelles, c'est-à-dire qu'elles sont utiles en tant que bioindicatrices pour connaître un écosystème et sa qualité écologique. Pour les métaux lourds, le sang des tortues marines est connu comme étant un indicateur d'une exposition récente, contrairement aux tissus tels que la peau, la carapace ou certains organes internes, qui constituent un indicateur d'une exposition chronique (Álvarez-Varas et al. 2017).

Les tortues marines sont des espèces marines fondamentales pour leur environnement, façonnant ce qui les entoure par leur comportement alimentaire et d'autres processus biologiques. Toutefois, les populations de toutes les espèces de tortues marines sont menacées d'extinction, pouvant conduire à la perturbation d'écosystèmes entiers (Heithaus 2013).

II. Des espèces menacées

Du fait de leur grande longévité et de la vulnérabilité de leurs habitats, les tortues de mer sont très sensibles aux impacts humains et sont donc menacées à l'échelle mondiale. Les défis auxquels les tortues de mer sont aujourd'hui confrontées du fait des activités humaines ont un impact sur chaque étape de leur cycle de vie, depuis la perte des plages de nidification et des habitats de recherche de nourriture jusqu'à la mortalité en haute mer due aux pratiques de pêche pélagique intensives. Elles sont également affectées par la masse de déchets non biodégradables et de polluants déchargés dans les océans et les zones côtières.

1. Statut UICN

La liste rouge UICN (Union internationale pour la conservation de la nature) des espèces menacées est un outil clé pour évaluer et surveiller la santé de la biodiversité globale. Elle constitue le recensement le plus exhaustif sur le statut de conservation global des espèces.

Toutes les tortues marines figurent sur la liste rouge et sont soit vulnérables, en danger ou en danger critique d'extinction. La tortue verte est considérée « en danger » et par conséquent elle est confrontée à un risque très élevé d'extinction à l'état sauvage. La tortue imbriquée est en danger critique d'extinction, le dernier seuil avant de disparaître à l'état sauvage (IUCN 2022). Cela correspond à une « réduction observée, estimée, déduite ou suspectée d'au moins 80 % au cours des dix dernières années ou des trois dernières générations, la période la plus longue étant retenue » avec dans certaines régions comme les Caraïbes un déclin de 95% (Escobedo-Bonilla, Quiros-Rojas, Rudín-Salazar 2022; Berube et al. 2012).

2. Menaces anthropiques non spécifiques

2.a) Impact du dérèglement climatique

Le dérèglement climatique d'une manière générale impacte directement les tortues marines. La distribution et le déplacement de ces espèces est fortement dépendant de la température et de la disponibilité des ressources. L'augmentation des températures globales affecte également le succès d'émergence et le sex-ratio qui bascule en faveur des femelles. Cela pourrait engendrer des problèmes majeurs de reproduction à l'avenir et mettre davantage en danger d'extinction les populations. Une adaptation des femelles par la modification du lieu ou de la période de ponte pourrait limiter ce phénomène. Sur des populations en Méditerranée, une avancée de la date moyenne de ponte a été observée en lien avec l'élévation de la température de la surface de la mer (Dalleau 2013).

Le changement climatique mondial peut aussi modifier la distribution et l'abondance des proies à mesure que les récifs coralliens se dégradent, impactant directement les populations de tortues marines (Baumbach et al. 2022). La montée globale des eaux peut aussi compromettre la nidification sur certaines plages, qui pourraient être à terme submergées.

L'exposition à des températures extrêmes plus fréquemment peut entraîner l'augmentation de cas de « cold stunning », autrement dit d'étourdissement par le froid dans les pays du nord. Lorsque les températures automnales chutent plus lentement que la

normale, la migration vers le sud des populations de caouanne se fait attendre et les tortues se piègent dans des eaux froides qui ont refroidi rapidement. Elles se retrouvent en hypothermie pouvant conduire à une pneumonie qui peut s'avérer fatale (Hawkes et al. 2009; Davis 2021).

2.b) Pollution

Les différentes pollutions engendrées par l'activité humaine ont un impact considérable.

Pour commencer, la pollution plastique représente une menace majeure pour la survie des individus. Etant des prédateurs principalement visuels, l'ingestion de macrodéchets par confusion avec leur alimentation naturelle est fréquente chez ses espèces. L'image de la tortue luth s'étouffant avec un sac plastique ressemblant à une méduse est présente dans tous les esprits. Lors de nécropsies de tortues marines, une grande variété de débris anthropiques plastiques peuvent être retrouvés. Ces derniers peuvent causer des occlusions intestinales et des lésions du tube digestif mais également des effets sub-létaux tels qu'une immunité altérée et de la malnutrition (Duncan et al. 2019; Jerdy et al. 2017). Une étude a évalué à 1.6% la quantité de plastique récupérée dans les fèces de tortues, indiquant l'ampleur de la pollution marine et son impact chez ses espèces (Amorocho, Reina 2008). Cette pollution plastique peut aussi causer des dégâts sur l'environnement des tortues, comme l'enroulement de sacs en plastique autour des coraux étouffant les tissus sous-jacents et occasionnant la mort de ces derniers (Eckert et al. 1999). D'autre part, les risques d'enchevêtrement dans des filets de pêche fantômes dérivants sont importants, réduisant la mobilité pour fuir les prédateurs ou tout simplement respirer et causant ainsi la noyade de l'animal (Lutz et al. 1996, chap. 15).

D'autre part, la pollution chimique est présente dans le monde entier et provient d'un large éventail de sources industrielles, agricoles et urbaines. Une étude montre que les taux de mercure hépatiques chez les tortues vertes juvéniles brésiliennes sont particulièrement élevés et sont associés à une pollution de l'environnement dans la région (Bezerra et al. 2015). Les répercussions sur la santé des tortues marines sont multiples. Par exemple, les métaux lourds sont à l'origine d'une diminution de la réponse immunitaire entraînant une augmentation de la vulnérabilité aux maladies. Des altérations de la numération des globules rouges et des paramètres biochimiques ont également été signalées (Álvarez-Varas et al. 2017).

La pollution par des déchets azotés, amenés par les eaux usées, les eaux de drainage et les eaux agricoles, a pour conséquence la nitrification des milieux. Les composants azotés favorisent la croissance d'algues pouvant conduire à l'asphyxie des éponges et des coraux, organismes essentiels au fonctionnement des tortues marines (Chacón-Chaverri 2004).

Enfin, les déversements de pétrole constituent un autre problème grave pour la faune et leurs habitats (Chacón-Chaverri 2004). Pour les tortues marines, leur nécessité de respirer en remontant à la surface de l'eau augmente le temps de contact avec les nappes de pétrole de surface. De plus, les zones de convergence océanique où se retrouvent les juvéniles pélagiques sont concentrés en déchets plastiques mais aussi en goudron flottant qui se colle aux individus. Sur les plages, le même phénomène peut entraver le développement des embryons et présenter un risque mortel pour les nouveau-nés. Le contact avec ce polluant sur la peau, les poumons et les intestins ont des conséquences néfastes pouvant aller jusqu'à la mort de l'individu (Lutz et al. 1996, chap. 15).

2.c) Destruction des habitats

Les différentes pollutions environnementales décrites dans la partie précédente peuvent détruire les habitats des tortues de mer.

D'autres activités anthropiques ont des répercussions directes sur l'environnement. Le développement des infrastructures littorales modifie la morphologie de la zone côtière, augmente l'intensité des éclairages et la production de bruit et favorise la fréquentation par la population humaine de ces zones (Chacón-Chaverri 2004). Les pratiques sportives ou nautiques littorales peuvent avoir des conséquences néfastes par destruction directe des récifs coralliens et des herbiers marins, problème s'aggravant à mesure que le tourisme et la navigation de plaisance s'intensifient dans le monde entier. Par exemple, l'ancrage des bateaux brise le système de rhizomes des herbes marines (Eckert et al. 1999).

L'érosion côtière par utilisation du sable comme matériau de construction affecte la nidification. De plus, le ruissellement de sédiments provenant de sources terrestres augmente la turbidité de l'eau. Ce phénomène altère les herbiers marins qui ont besoin d'un grand pourcentage de lumière incidente par rapport à d'autres plantes aquatiques marines. L'utilisation de dynamite et de techniques de pêche comme le chalutage de fond ou les

techniques d'écrasement du corail causent des dommages physiques irréparables sur les récifs coralliens et les fonds marins (Eckert et al. 1999).

Enfin, l'altération des plages de nidification par les constructions humaines ou par la fréquentation massive menace les nids et les nouveau-nés.

3. Menaces anthropiques spécifiques

3.a) Utilisation des produits issus des tortues marines

La cause historique du déclin des tortues marines est la consommation et le commerce de produits. En effet, les œufs, la viande et l'huile de tortues sont des produits recherchés depuis des milliers d'années. La collecte des œufs est l'une des pratiques les plus anciennes et sont généralement récoltés directement sur la plage ou achetés auprès de collectionneurs ou sur les marchés. La consommation de produits issus des tortues peut être nutritionnelle et/ou culturelle. Par exemple au Mexique, la viande de tortue est traditionnellement servie lors des mariages ou des fêtes religieuses, rendant l'interdiction de sa consommation plus difficile à intégrer pour les populations (Patel, Kotera, Phillott 2022). La viande provient généralement de tortues capturées accidentellement, mais des pêcheries ciblées existent également. Des fermes d'élevage de tortues marines pour la production de viande ont même été créées, comme la Cayman Turtle Farm ou la ferme CO.R.A.I.L. (COmpagnie Réunionnaise d'Aquaculture et d'Industrie Littorale) à La Réunion, maintenant réhabilitée en centre de soin nommé Kélonia. Néanmoins, la consommation de chair de tortue marine peut avoir des conséquences néfastes sur la santé humaine car elle contient de la chélonitoxine pouvant être mortelle à partir d'une certaine concentration ingérée.

La tortue imbriquée a été particulièrement prisée pour la beauté de sa carapace et la fabrication d'objets artisanaux ou de sculptures (Patel, Kotera, Phillott 2022). L'ampleur du marché mondial de l'imbriquée, animal aussi prisé que l'ivoire, l'or et certaines pierres précieuses, a mené cette espèce jusqu'à sa quasi extinction. Le commerce des produits issus des tortues marines encourage le braconnage et diminue la capacité de régénération des populations (Chacón-Chaverri 2004).

3.b) Pêche accidentelle et collision

Les captures accidentelles par la pêche artisanale et industrielle contribuent à la réduction de la démographie des tortues marines dans le monde entier. Les différentes espèces sont

occasionnellement prises dans les filets et sont soit gardées par le pêcheur pour la consommation ou la vente, ou remise à l'eau (Amarocho, Reina 2007).

Par ailleurs, les collisions avec les bateaux provoquent généralement des blessures profondes. Les hélices peuvent transpercer la carapace et toucher les poumons ou d'autres organes vitaux causant la mort de l'animal.

3.c) Prédation par les animaux domestiques

Les animaux domestiques errants sont une véritable menace lors des différents stades de vie des tortues marines. Ils prédatent les nids et les émergentes mais aussi les femelles lors de la nidification qui sont particulièrement vulnérables.

Des précisions sur les menaces spécifiques à l'île de Mayotte sont données dans la partie 2.

4. Menaces naturelles

La prédation des émergentes est un phénomène naturel fréquent, pouvant être accentué par des dérèglements écosystémiques. Les œufs et les nouveau-nés au sortir du nid sont considérablement vulnérables et peuvent être prédatés par des crabes (Ali, Ibrahim 2002), des oiseaux, des bernard-l'ermite et des mammifères sur la plage (Booth, Peters 1972). Dans l'eau, ils peuvent être attaqués par des poissons, des oiseaux marins lorsqu'ils respirent et des requins. Ces derniers sont même les principaux prédateurs des tortues adultes (Chacón-Chaverri 2004).

Des maladies peuvent également causer le déclin des populations. La plus grande menace reste la fibropapillomatose des tortues vertes, caouannes et olivâtres, potentiellement causée par un herpes virus. Elle provoque la prolifération de masses simples ou multiples de morphologie variable sur le corps de la tortue et peut être létale. La prévalence de cette maladie néoplasique, autrefois rare, a augmenté de façon spectaculaire ces quarante dernières années pour devenir panzootique chez les tortues vertes. Cette explosion est sûrement liée à l'activité humaine et au dérèglement climatique associé (Aguirre, Balazs 2000; Hernandez, Claudett 2021).

III. Des espèces protégées

La complexité des enjeux de conservation des tortues marines et de leurs habitats tient notamment à la diversité des origines des menaces qui pèsent sur elles. Considérées comme des espèces parapluies, espèces englobant les niches écologiques de nombreuses autres et occupant des espaces vitaux étendus, elles incarnent un symbole pour de nombreuses communautés humaines. En préservant leur habitat, on élargit la protection à l'ensemble des espèces partageant leur habitat ou interagissant avec leur niche écologique.

1. Conventions et réglementations

De nombreuses mesures et conventions ont été mises en place au niveau international et national pour la conservation des tortues marines.

1.a) Réglementation internationale

La convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore menacées d'extinction (CITES) ou convention de Washington, a pour but de réguler le commerce international des espèces menacées. Signée par la France en 1973 et ratifiée en 1978, elle met en place différents degrés de protection en fonction de la surexploitation des espèces. Les sept espèces de tortues marines sont inscrites à l'annexe I car toutes sont menacées d'extinction. Ainsi, le commerce extérieur des individus ou de leurs dérivés est strictement interdit dans les pays signataires et le transport international est soumis à un permis spécial d'importation délivré par la Direction de l'Eau et de la Biodiversité et ne doit pas être destiné à des fins commerciales. De surplus, la réglementation européenne met en application la CITES et renforce certaines mesures. En effet, les tortues marines figurent en annexe A donc leur commerce, leur transport et leur détention est interdite sauf dérogation.

D'autres conventions ont été signées par la France, dont la convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS ou convention de Bonn) qui vise depuis 1979 à protéger les espèces migratrices terrestres et aquatiques sur l'ensemble de leurs aires de répartition afin d'uniformiser la protection sur plusieurs pays. Les tortues marines étant inscrites à la fois en annexe I (espèces migratrices en danger) et II (espèces dont le statut de conservation est défavorable), tout prélèvement d'individu est interdit et les signataires doivent prendre des mesures visant la protection des habitats et favorisant la migration des populations.

La convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe ou convention de Berne, concerne principalement l'Europe continentale. Elle permet la protection des tortues marines grâce à la directive habitats-faune-flore datant de 1992 qui classe les tortues marines à l'annexe II. La capture intentionnelle, le prélèvement des œufs et la destruction des sites de reproduction sont prohibés.

La convention RAMSAR sur la conservation des zones humides, signée en 1971 et ratifiée en 1986, permet la protection des zones humides d'intérêt mondial présentant des caractéristiques écologiques exceptionnelles et donc des habitats des tortues marines. Le SOOI compte plusieurs sites dont la vasière des badamiers à Mayotte où les tortues vertes sont présentes. Enfin, la convention de Rio, ou convention sur la diversité biologique, vise la protection du vivant de manière globale en préconisant une utilisation durable des éléments naturels et un partage juste et équitable des ressources naturelles (Philippe et al. 2014; Casier et al. 2015).

1.b) Réglementation régionale

Au niveau régional, le SOOI rentre dans la convention de Nairobi ou convention pour la protection, la gestion et la mise en valeur du milieu marin et côtier de l'océan Indien occidental, rentrée en vigueur en 1996. Son objectif est de protéger l'écosystème marin et côtier, en prévenant, réduisant et combattant la pollution de cette zone, tout en gérant les ressources naturelles de manière écologiquement responsable. Une protection stricte est établie pour les tortues luth, caouanne et olivâtre qui sont inscrites en annexe II. Les tortues verte et imbriquée sont considérées comme « des espèces exploitables de faune sauvage exigeant une protection » et seule une réglementation de leur exploitation est considérée.

En application de la CMS, un mémorandum d'entente sur la conservation et la gestion des tortues marines et de leurs habitats de l'Océan Indien et du Sud-Est Asiatique s'applique dans notre région d'étude depuis 2010 mais n'est pas contraignant juridiquement. Il aborde les problèmes de prises accidentelles, la recherche, l'éducation et la sensibilisation à la conservation des tortues en souhaitant s'étendre à la haute mer pour concerner l'ensemble de l'Océan Indien.

A titre d'information, d'autres conventions sont présentes dans le monde, telles que la convention d'OSPAR-1992 concernant l'Atlantique Nord-Est ou la convention de Barcelone pour le littoral méditerranéen (Philippe et al. 2014; Casier et al. 2015).

1.c) Réglementation nationale

En plus des conventions internationales et régionales signées par la France qui imposent un certain nombre d'obligations concernant les tortues marines, une réglementation nationale vient renforcer et préciser ces mesures au niveau national.

La loi nationale fixant la liste des tortues marines protégées sur le territoire national et les modalités de leur protection est l'arrêté du 10 novembre 2022 qui vient abroger l'arrêté du 14 octobre 2005. Conformément aux dispositions des articles L. 411 et L. 412 du code de l'environnement, cet arrêté énumère pour les six espèces fréquentant les eaux des territoires français des obligations visant à prévenir le prélèvement d'individus et les captures accidentelles, à limiter la perturbation de leurs habitats de nidification et d'alimentation, et à promouvoir leur conservation grâce à des stratégies de sensibilisation. Il établit également des règles spécifiques concernant la surveillance et la collecte de données sur les populations (Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires 2022).

2. Actions pour la conservation

Le cadre réglementaire de la protection des tortues marines coexiste avec des actions plus ciblées sur le terrain participant à la conservation. Il semble important que des groupes comprenant des acteurs des différents secteurs soient formés, comme le groupe Tortuguero au Mexique qui réunit des parties prenantes des ressources marines, des politiciens, des pêcheurs commerciaux et sportifs, des biologistes, des éducateurs, des étudiants et des défenseurs de la conservation (Seminoff et al. 2012).

Travailler conjointement avec les pêcheurs est particulièrement important pour limiter au maximum l'impact des captures accidentelles. A la Réunion, un partenariat a été réalisé avec les pêcheurs pour que lorsqu'une tortue est attrapée par un hameçon, l'information chemine jusqu'au centre de soin où la tortue peut être prise en charge. En parallèle, des travaux de recherche peuvent également être menés sur le comportement de plongée des tortues, afin de comprendre les interactions avec la pêche et ainsi les limiter (Ciccione et al. 2011). Ces partenariats viennent appuyer la résolution 12/04 du Recueil des Mesures de conservation et

de gestion actives de la Commission des Thons de l'océan Indien du parlement européen, qui soumet les bonnes pratiques à adopter pour atténuer l'impact de la pêche hauturière sur les tortues de mer. Les pêcheurs doivent porter secours aux tortues accidentées et les libérer, tout en informant les autorités compétentes (Philippe et al. 2014). Il existe par ailleurs des dispositifs d'exclusion des tortues, notamment sur les chaluts de crevettes, réduisant la mortalité des tortues et des autres espèces de mégafaune marine de 97% en facilitant la sortie des filets de ces espèces (Eayrs 2007). En outre, des zones de non pêche peuvent être instaurées, préservant à la fois les tortues marines et les ressources halieutiques qui peuvent être surexploitées (Deville 2003).

De plus, la protection des habitats, tant au niveau terrestre que marin, fait partie intégrante de l'effort de conservation. L'instauration de zones protégées et contrôlées en milieu littoral et marin permet de voir les effectifs des populations augmenter sensiblement (Deville 2003). De même, les mesures visant la protection des plages de pontes jouent un grand rôle. Cela passe par l'entretien et la surveillance des zones sensibles, la limitation des infrastructures littorales pouvant perturber les pontes (artificialisation, lumières, etc.) et la revégétalisation du littoral (Cruciani 2017).

La conservation passe aussi par la sensibilisation des populations concernées, pour informer sur les mesures à prendre pour la protection des individus et de l'environnement. Des campagnes de sensibilisation de l'approche des individus en mer, des nids de ponte et des émergentes sont nécessaire pour réduire l'impact des interactions avec l'Homme. De façon plus globale, sensibiliser les populations sur la préservation de l'environnement et de la biodiversité est pertinent. Pour limiter le braconnage, informer sur la législation en vigueur et les peines encourues permet de dissuader et limiter cette menace. Lorsque celle-ci n'est pas respectée, la mise en place d'une surveillance accrue des zones fréquentées et de pénalisation des contrevenants à la législation est indispensable (Deville 2003).

Enfin, les connaissances de la biologie des tortues marines se sont multipliées au cours des dernières décennies mais de nombreuses zones d'ombre restent à clarifier. La recherche scientifique est primordiale afin de comprendre les zones de répartition, les flux migratoires et ainsi les zones à protéger. De même, s'intéresser à l'écologie alimentaire des tortues marines c'est concentrer les efforts de conservation car elle peut mettre en exergue des points chauds de développement et de recrutement et de ce fait les zones à conserver en priorité (Berube et

al. 2012). Les suivis de population sont aussi d'une grande aide pour évaluer l'état des populations et adapter les mesures de conservation.

Une des dernières pistes favorisant la sauvegarde est la réhabilitation d'individus blessés, possible uniquement dans les zones possédant un centre de soin. L'impact de ce moyen de conservation sera explicité en partie 3.

Dans certaines régions (Atlantique Sud-Ouest, Hawaï, Mayotte, Bornéo, Lakshadweep), les populations de tortues vertes semblent d'ailleurs être en bonne voie de restauration (Kelkar et al. 2013; Cardona, Campos, Velásquez-Vacca 2020).

C. ALIMENTATION EN MILIEU NATUREL

De nombreux travaux ont été effectués ces cinquante dernières années afin de comprendre l'écologie alimentaire des tortues marines. Les données issues de ces études répondent à des questions sur la nutrition et sur ce qui gravite autour de ce sujet, à savoir l'utilisation des habitats selon les espèces et le stade, la physiologie digestive, l'écologie trophique, les contaminants du régime alimentaire et la pollution, les endoparasites et l'état de santé relatif d'une tortue donnée (Eckert et al. 1999). Elles sont essentielles pour comprendre le rôle écologique des organismes et leurs interactions trophiques (Esteban et al. 2020).

La connaissance précise de ce volet de la biologie des tortues marines permet par ailleurs leur conservation. D'une part, le régime alimentaire influe directement sur le taux de croissance et donc le moment de la maturité sexuelle et le rendement reproductif mais aussi sur la variabilité interannuelle du nombre de nids selon la disponibilité alimentaire dans la période précédant la reproduction (Arthur 2009). L'acquisition des ressources est par conséquent un facteur déterminant dans la survie des individus et des populations. Par ailleurs, ces données biologiques permettent de prioriser les zones de conservation et les politiques pour les zones d'alimentation (Esteban et al. 2020).

D'autre part, appréhender la nutrition des tortues marines en milieu naturel est fondamental dans l'élaboration des rations pour la réhabilitation d'animaux blessés, malades et affaiblis et ainsi mener à bien leur vie en milieu captif. Il est nécessaire de connaître les variations d'alimentation interspécifiques et les nutriments ingérés en milieu naturel afin de

formuler des aliments équilibrés sur le plan nutritionnel (Hernandez, Claudett 2021). Dans la mesure où les émergentes ne seront a priori non prises en charge dans le centre de soin de Mayotte, leur alimentation spécifique ne sera pas détaillée dans cette partie.

Les sept espèces de tortues marines ont chacune un régime alimentaire différent. La tortue verte est connue pour être la seule considérée herbivore, tandis que la tortue imbriquée vit autour des récifs pour se nourrir essentiellement d'éponges et d'algues.

La recherche de nourriture est supposée être équilibrée entre la maximisation de l'apport énergétique et la limitation des coûts énergétiques de cette activité. Les stratégies adoptées vont influencer tout au long du cycle de vie des tortues marines au niveau de leur âge de maturité, leur croissance, leur migration et l'exploitation de leur habitat (Wyneken, Lohmann, Musick 2013).

I. Régime alimentaire des tortues vertes en milieu naturel

Pour étudier le régime et le comportement alimentaire des *Chelonia mydas* dans ses zones de nourrissage, plusieurs techniques ont été appliquées à travers le monde : analyse du régime alimentaire, relevés d'habitat, télémétrie ou encore analyse des isotopes stables (Reisser et al. 2013; Howell et al. 2016).

1. Catégorie d'aliment consommé

Lors du recrutement néritique à une taille d'environ 30 à 40cm de carapace, la tortue verte passe d'un régime principalement carnivore ou omnivore à un régime en grande partie herbivore (Bjorndal 1980). Elle occupe une niche alimentaire unique parmi les tortues marines, étant la seule à se nourrir principalement de végétaux à l'âge adulte. Avant sa surexploitation par l'Homme, la tortue verte était sans aucun doute le principal consommateur d'herbiers marins dans les eaux tropicales et subtropicales (Bjorndal 1980).

D'autre part, la consommation de macrodéchets anthropiques est de plus en plus fréquente, et notamment de plastiques souples, pouvant avoir des conséquences dramatiques sur la santé des tortues (Duncan et al. 2019).

1.a) Un animal principalement herbivore à l'âge adulte

L'alimentation des tortues vertes dans les habitats néritiques est majoritairement constitué de végétaux, et notamment des algues ou des herbes marines (Bjorndal 1985).

Dans la mer des Caraïbes (Bjorndal 1980), en Australie (Forbes 1996; Fuentes, Lawler, Gyuris 2006; Arthur et al. 2009), en Méditerranée (Cardona, Campos, Velásquez-Vacca 2020), dans l'océan Indien (Stokes et al. 2019), les tortues vertes concentrent leurs efforts de recherche de nourriture dans les herbiers marins. *Thalassia sp.* a été identifiée comme étant l'élément alimentaire le plus important pour les tortues vertes du Nicaragua et dans certaines zones autour de l'Australie (Fuentes, Lawler, Gyuris 2006). Dans la baie de Shoalwater, les tortues se nourrissent principalement de *Zostera sp.* et *Halodule sp.* avec en plus petite quantité les genre *Halophila sp.* et *Cymodocea sp.* (Arthur et al. 2009). D'autres phanérogames sont susceptibles d'être prélevées, comme *Syringodium isoetifolium* par les juvéniles à la Réunion (Mulochau et al. 2021).

Dans la baie de Kāne'ohe O'ahu à Hawaï, phanérogames et algues sont consommés ensembles alors que seules les algues sont mangées dans d'autres endroits de l'archipel. Les algues rouges telles que *P. capillacea* peuvent dominer le bol alimentaire. Cette dernière possède la particularité d'avoir des inclusions cristallines protéiques. Cela améliore le statut nutritionnel de la plante qui est donc riche en azote et en énergie (McDermid, Stuercke, Balazs 2007). L'algue rouge *Gracilaria spp.* a aussi été identifiée comme étant le matériau végétal le plus consommé par les tortues dans plusieurs régions du monde (Fuentes, Lawler, Gyuris 2006; Russell, Balazs 2009). D'autres rhodophytes, telles que *Acanthophora spicifera*, *Amansia sp.*, *Spyridia filamentosa*, *Hypnea sp.*, *Capopeltis sp.*, *Codium sp.*, *Dictyosphaeria sp.*, *Cladophora sp.*, *Gelidiella sp.* sont également communes (Arthur et al. 2009; Arthur 2009; Russell, Balazs 2009; Ballorain 2010; Mulochau et al. 2021).

L'abondance d'algues vertes dans les îles Galapagos en Équateur est conjointe à son abondance dans l'alimentation des tortues vertes dans cette zone (Carrión-Cortez, Zárate, Seminoff 2010). Néanmoins, les algues rouges sont généralement préférées par les tortues marines dans le monde et sont plus riches en protéines, en énergie et en digestibilité que les algues vertes.

Par ailleurs, les matières végétales terrestres telles que les feuilles et les fruits de palétuviers ont été décrites comme des contributeurs majeurs au régime alimentaire de tortues vertes juvéniles en Australie et dans les Galapagos (Carrión-Cortez, Zárata, Seminoff 2010; Nagaoka et al. 2012). Dans le parc national de Gorgona, les tortues ont été aperçues consommant sporadiquement des plantes terrestres telles que *Ficus spp.*, *Ochroma spp.* et *Hibiscus spp.* (Amarocho, Reina 2007).

1.b) Un animal pouvant consommer des matières animales

Les tortues vertes émergentes sont carnivores durant leurs premières années de vie en zone pélagique (Wyneken, Lohmann, Musick 2013). Chez les juvéniles qui viennent d'être recrutées dans les zones d'alimentation néritique, la matière animale compose encore la majeure partie du bol alimentaire. Dans une étude, on retrouve dans 50% des individus la présence de matière animale malgré la prévalence du régime herbivore (Nagaoka et al. 2012). Des recherches menées sur divers taxons montrent que les individus maximisent leur taux de croissance avant maturité avec un régime alimentaire riche en protéines, ce qui pourrait expliquer pourquoi la matière animale est si importante pour les tortues vertes post-éclosion de moins de 25 cm de longueur courbe de la carapace (Esteban et al. 2020).

La consommation d'un régime à haute teneur en protéines entraîne un gain de nutriments plus important pour le développement jusqu'à la maturité sexuelle et peut également avoir d'autres effets associatifs bénéfiques sur l'activité de la microflore et la digestibilité (Forbes 1996).

Néanmoins, bien que la tortue verte devienne majoritairement herbivore au stade adulte, on trouve fréquemment des matières animales dans le contenu stomacal de tortues adultes capturées dans la nature (Wood, Wood 1981). Elles peuvent se nourrir de petits anthozoaires, *Physalia*, *Veleva*, et *Janthina* ainsi que *Chondrosia chucalla* et d'autres éponges. Plusieurs autres rapports ont également enregistré des aliments d'origine animale, tels que *Porifera*, *Coelenterata*, *Mollusca*, *Bryozoa*, *Echinodermata*, *Urochordata* et *Scyphozoa* dans le régime alimentaire de *Chelonia mydas* (Bjorndal 1980; Fuentes, Lawler, Gyuris 2006; Carrión-Cortez, Zárata, Seminoff 2010; Russell, Hargrove, Balazs 2011). Ce prélèvement semble à la fois accidentel et intentionnel selon les espèces animales.

Par exemple au Pérou, un quart de l'alimentation des tortues adultes est composée d'algues, le reste se partage entre le prélèvement de mollusques, de chordés, d'arthropodes et de cnidaires (Jimenez et al. 2017). Ce comportement alimentaire est similaire à la consommation de matières animales par les tortues immatures en quête de nourriture évaluées dans le parc national de Gorgona, ce qui indique qu'une alimentation omnivore peut se produire dans toutes les classes de taille (Amorocho, Reina 2007). Ceci pourrait être une conséquence de la faible présence dans le Pacifique Est d'herbes marines et d'un manque de diversité algale, mais d'une abondance d'autres proies telles que les poissons, les œufs de poissons, les mollusques, les crustacés, les polychètes et les méduses. Au large de l'Afrique du Sud et de l'Australie orientale, l'analyse des contenus intestinaux a révélé la présence de mollusques gastéropodes marins, de crustacés et d'insectes terrestres (Boyle, Limpus 2008). A La Réunion et en Polynésie, des spécimens de *Chelonia mydas* ont été aperçus se nourrissant d'holothuries (*Synapta maculata*) (Mulochau et al. 2021). Enfin, Amorocho et Reina (2007) rapportent une abondance de tuniciers dans le bol alimentaire des tortues vertes.

2. Comportement alimentaire des tortues vertes

Les tortues vertes se nourrissent sur les sites de recherche de nourriture en arrachant de petits morceaux d'algues, d'herbes marines et d'autres aliments avec leur bec, en pressant l'eau sur le toit de la bouche et en avalant (Russell, Balazs 2009). Elles se nourrissent en général dans des zones peu profondes (0 à 5 mètres), près du rivage, où se trouvent les ressources alimentaires dont elles ont besoin (Fuentes, Lawler, Gyuris 2006). Sur les récifs rocheux, elles ont tendance à se nourrir à des endroits caractérisés par une inclinaison prononcée, une faible incidence de lumière et une abondance d'algues marines (Reisser et al. 2013).

Aucun comportement agressif entre les tortues ni aucune indication d'une hiérarchie n'est observé chez les tortues en milieu naturel (Bjorndal 1980).

2.a) Choix des aliments en fonction de la disponibilité et de la valeur nutritionnelle

Les herbivores ont tendance à pallier la faible qualité nutritionnelle et énergétique de leur nourriture en augmentant le temps de recherche et en se spécialisant dans l'alimentation. Dans la plupart des systèmes terrestres, cela conduit à de longues migrations et à une sélection

de la nourriture en fonction de la valeur énergétique et nutritionnelle des végétaux, de l'appétence, et de la toxicité (Ballorain 2010).

Pour les tortues vertes, le choix de la nourriture semble être dicté par la disponibilité des ressources dans la zone d'étude mais aussi la valeur nutritionnelle et les préférences alimentaires des individus (Bjorndal 1980; Fuentes, Lawler, Gyuris 2006; Carrión-Cortez, Zárate, Seminoff 2010; Nagaoka et al. 2012). Les tortues vertes sont connues pour être des brouteurs sélectifs dans les communautés de phanérogames marines en sélectionnant les aliments adaptés à leurs besoins et contraintes physiologiques. Il a été également proposé que les tortues vertes se nourrissent préférentiellement d'herbes marines plutôt que d'algues lorsque les deux sont disponibles (Bjorndal 1980; Mendonça, Mendonca 1983). Toutes les études qui n'ont pas enregistré d'herbiers marins dans le régime alimentaire, comme celles dans le sud-ouest de l'Atlantique (Reisser et al. 2013) et dans le sud-est du Pacifique (Carrión-Cortez, Zárate, Seminoff 2010; Jimenez et al. 2017), provenaient de régions caractérisées par des habitats d'herbiers marins rares à inexistantes (Fuentes, Lawler, Gyuris 2006).

Par ailleurs, les tortues exploitent de préférence les espèces d'herbes marines présentes en grande densité, riches en azote et facilement digestibles pour compenser un régime herbivore intrinsèquement pauvre en nutriments (Ballorain 2010). Ainsi les jeunes organes tels que les jeunes feuilles sont très souvent privilégiés. Une exploitation en continu des mêmes zones au sein d'herbiers monospécifiques permet de bénéficier de jeunes pousses dont la teneur en azote et le pourcentage de digestibilité sont plus élevés que celles des feuilles plus anciennes (Bjorndal 1980). De même pour les macroalgues, elles semblent choisir celles qui ont une teneur élevée en azote, en glucides solubles et une faible teneur en fibres (Bjorndal 1980).

2.b) Flexibilité alimentaire

Les tortues ont la capacité de changer de régime alimentaire et d'adopter un régime opportuniste pour s'adapter à de nouvelles ressources alimentaires.

Des variations saisonnières dans leur régime alimentaire avec un passage d'habitats récifaux à estuariens a déjà pu être observé (Esteban et al. 2020).

Cela se manifeste également par un régime omnivore marqué dans certaines populations. La consommation de matière animale peut s'expliquer par le fait que lorsque les types

d'aliments sont dispersés, le coût de recherche et de manipulation d'un régime végétal (algues ou herbes marines) peut être plus important que le gain d'énergie d'une digestion plus efficace fournie par un régime mixte de bonne qualité (Lutz et al. 1996). Des matières végétales et animales peuvent être trouvées à la surface et dans la colonne d'eau au-dessus des récifs coralliens que les tortues utilisent pour s'abriter et se reposer, ce qui leur évite de devoir s'éloigner de l'île pour chercher de la nourriture.

D'autre part, elles choisissent de préférence les phanérogames indigènes lorsqu'elles sont disponibles mais incluent également des plantes envahissantes telles que *H. stipulacea*. Ces dernières sont en général moins énergétiques mais plus digestibles (Siegwalt et al. 2022). A Hawaï, les tortues vertes se sont adaptées en consommant de nombreuses plantes invasives, introduites 30 ans auparavant (Russell, Balazs 2009). Néanmoins, un lien a été établi entre la consommation d'algues invasives à forte teneur en azote et en arginine et les tumeurs de type fibropapillome (Wyneken, Lohmann, Musick 2013). Ces observations mettent en exergue les potentielles conséquences des dérèglements anthropogéniques sur les individus.

2.c) Quantité, fréquence et période d'ingestion

Les tortues présentes sont fidèles à un herbier marin sur un cycle pluriannuel et révèlent un fort attachement spatial à ce secteur (Ballorain 2010). L'espèce se nourrit essentiellement de jour et se repose la nuit sur les récifs coralliens adjacents aux habitats nourriciers. Au cours d'un cycle de 24h, sa phase d'alimentation dure en moyenne 11h et est fortement influencée par le marnage semi-diurne qui rythme l'accès aux herbiers. Bjorndal (1980) observe que l'alimentation est intermittente avec des pics entre 8h et 10h et entre 14h et 17h au cours de la journée. Des périodes d'alimentation occasionnelles peuvent se produire les nuits de pleine lune. Lorsque la disponibilité en nourriture est faible, les tortues peuvent se nourrir tout au long de la journée (Lutz et al. 1996)

La consommation quotidienne des tortues vertes en herbes marines fraîches est estimée à près de 0,1 kg pour les juvéniles et subadultes et 3 kg pour les adultes (Ballorain 2010). La masse sèche consommée représenterait ainsi 0,24 à 0,33 % du poids vif pour une alimentation constituée exclusivement de *Thalassia testudinum* chez la tortue verte pour des températures allant de 20 à 35°C (Bjorndal 1980).

Par ailleurs, les tortues vertes peuvent également modifier leur schéma spatio-temporel de pâturage pour éviter les prédateurs tels que les requins et faire un compromis entre la rentabilité nutritive et le risque de prédation (Ballorain 2010).

2.d) Particularités selon le stade de vie

Les juvéniles ont des besoins énergétiques relatifs plus élevés que les adultes, préférant les zones abritées où les vagues et les courants sont moins forts. La dépense énergétique nette pendant la recherche de nourriture est ainsi moindre (Amarocho, Reina 2007). Ils semblent sélectionner les espèces facilement digestibles avec des valeurs nutritives plus élevées et des niveaux d'épiphytes et de lignine plus faibles (Forbes 1996). L'hypothèse qu'ils ingèrent de plus petits morceaux de nourriture entraînant des taux de fermentation plus élevés a aussi été émise. Les communautés de phanérogames ayant des valeurs nutritives et plus riches en biomasse sont quant à elles préférées par les adultes (Ballorain 2010). Il semblerait que juvéniles et adultes prélèvent un large spectre d'espèces d'algues mais que les adultes soient plus en mesure de consommer des espèces à large thalle coriace, telles que les espèces du genre *Turbinaria* sp. et que les juvéniles se nourrissent d'espèces à très petits thalles comme *Gelidiella*, *Coelothrix* et les jeunes *Lobophora* (Forbes 1996).

En outre, comme expliqué précédemment, les plus petites tortues consomment significativement plus de matière animale que les plus grandes tortues subadultes, notamment d'éponges (Forbes 1996). De plus, elles sont significativement plus susceptibles d'ingérer des débris et de se nourrir moins sélectivement que les plus grandes tortues se nourrissant près du fond. Cela peut avoir des conséquences à plus long terme, notamment une réduction des taux de croissance et donc de la fécondité, ce qui pourrait avoir des répercussions démographiques à long terme (Duncan et al. 2019).

Enfin, pendant la période de nidification, les femelles semblent se nourrir à un rythme très réduit. La quantité de matière animale consommée varie significativement dans le temps (Forbes 1996).

3. Physiologie digestive des tortues vertes

L'acquisition de nutriments pour tous les animaux dépend non seulement de l'alimentation mais aussi des mécanismes de digestion et d'absorption pour traiter les aliments obtenus dans un ensemble de besoins et de processus interdépendants. La digestion efficace

du régime végétal représente un défi majeur. En général, deux options s'offrent à un herbivore : maximiser l'efficacité de la digestion ou maximiser l'ingestion. Il s'agit de processus concurrents car la digestion est un processus qui nécessite beaucoup de temps. Si chaque unité de fourrage doit rester longtemps dans le tube digestif pendant la fermentation microbienne, une espèce qui maximise son efficacité digestive ne peut pas manger une grande quantité de nourriture car la capacité digestive est limitée. Inversement, une espèce qui maximise l'ingestion sacrifie l'efficacité digestive parce que la vitesse de passage doit être augmentée pour faire de la place au fourrage supplémentaire et que, par conséquent, des matières potentiellement digestibles passent à travers le tube digestif. Les ruminants digèrent plus efficacement les fourrages de qualité faible et moyenne mais sont limités sur la quantité qu'ils peuvent manger en une journée par le remplissage du rumen et la vitesse de passage. Les fermenteurs de l'intestin postérieur, comme les tortues vertes, ne sont pas soumis aux mêmes contraintes et misent sur la maximisation de l'ingestion.

La phanérogame marine *Thalassia testudinum*, consommée majoritairement pas de nombreuses populations de tortues vertes, présente une teneur élevée en fibres et une teneur élevée en protéines. Le pourcentage élevé de fibres, et donc la faible proportion de contenu cellulaire soluble, ainsi que la possible faible disponibilité des protéines, font de *T. testudinum* une source alimentaire de faible qualité. Néanmoins, les tortues vertes possèdent une microflore intestinale cellulolytique qui digère environ 90 % de la cellulose de leur alimentation et produit des acides gras volatils, une source d'énergie significative pour la tortue. De plus, elles sélectionnent une nourriture plus digestible en rebroutant des parcelles de jeunes feuilles (Bjorndal 1980).

3.a) Digestion dans les différentes sections du tube digestif

L'absence de dents chez les tortues marines limite le travail mécanique et la réduction de la taille des particules, ne facilitant pas les processus chimiques ultérieurs.

Au niveau de l'estomac, une première digestion chimique acide (pH compris entre 4,5 et 4,9) des aliments assure une dégradation partielle de l'hémicellulose et l'hydrolyse des protéines. Selon le type de végétal, la digestion et l'absorption se fait plus ou moins haut dans le tube digestif. Par exemple, les nutriments d'une feuille de palétuvier sont digérés dès le jabot et l'estomac et dans l'intestin grêle, alors qu'une herbe marine sera majoritairement digérée après l'intestin grêle. De plus, même si les cendres ont une faible digestibilité, les

parties carbonatées sont également hydrolysées dans l'estomac (McCutcheon, McDermid, Balazs 2003).

Au niveau de l'intestin grêle, les protéines, les lipides, une partie des glucides et les minéraux et vitamines sont en grande partie dégradés par la bile et les sucs pancréatiques puis absorbés.

Enfin, c'est au niveau du gros intestin et du caecum que se situe la fermentation microbienne transformant les glucides pariétaux en acides gras volatiles. Les protéines microbiennes et l'eau sont absorbés dans le colon (Bjorndal 1985). A ce niveau, les aliments sont également soumis à des mouvements antipéristaltiques générés au niveau du proctodeum et remontant le long du gros intestin jusqu'à la valve iléocolique. Outre le fait de mélanger les aliments de plusieurs repas, cet anti péristaltisme ralentit le transit intestinal permettant ainsi une fermentation plus complète et une meilleure absorption des nutriments (Lutz et al. 1996).

La durée de la digestion (entre l'ingestion et l'évacuation du tube digestif) a pu être déterminée par analyse de marqueurs plastiques. Il semblerait qu'un aliment transite en une vingtaine de jours dans l'intégralité du tube digestif d'une tortue marine pour une température de l'eau à 28°C (Amorocho, Reina 2008).

Il est important de considérer les interactions alimentaires qui peuvent entraîner une amélioration ou diminution de digestibilité de deux constituants ingérés simultanément par rapport à leur ingestion séparée. Par exemple, l'encombrement digestif plus important de *Thalassia testudinum* protégerait les éponges des attaques enzymatiques diminuant la digestibilité (Lutz et al. 1996).

3.a) Glucides

Les tortues vertes ne possèdent pas les enzymes leur permettant de dégrader les glucides pariétaux des végétaux qu'elles consomment. La digestion de la cellulose est réalisée par les micro-organismes, bactéries et protozoaires présents au niveau du colon et du caecum (Bjorndal, Suganuma, Bolten 1991). En effet, les produits finis de la fermentation microbienne, les acides gras volatils (AGV), apparaissent en concentration élevée dans cette région du tube digestif. Ils sont la source majeure d'énergie pour les tortues herbivores en contribuant à plus

que 15% du budget énergétique (Bjorndal 1985; Bjorndal, Suganuma, Bolten 1991; Amorocho, Reina 2008).

En outre, l'activité microbienne relative entre les sections du tractus gastro-intestinal est la même pour un régime alimentaire à base d'herbiers marins ou à base d'algues. Les valeurs de pH et de concentration d'AGV sont similaires et se rapprochent également de ce qu'on peut trouver chez des mammifères herbivores ainsi que chez la tortue d'eau douce herbivore *Pseudemys nelsoni* (Bjorndal, Suganuma, Bolten 1991). Cependant, le type d'AGV produits est différent entre une alimentation sur herbiers ou sur algues. On trouvera dans l'ordre d'abondance, acétate > propionate > butyrate pour des tortues sur algues et acétate > butyrate > propionate pour des tortues sur herbiers. Cette différence s'explique par la composition des parois cellulaires qui engendre une sélection des populations microbiennes intestinales adaptées à chacun des types d'alimentation. Des changements successifs de régime à court terme impacteraient la digestion des tortues vertes. Il semblerait que les individus sélectionnent la nourriture dont leur flore intestinale est adaptée pour une abondance équivalente dans le milieu. Cependant, s'il vient à manquer de la ressource principale de la tortue dans le milieu, celle-ci ingérerait un régime mixte puisque les coûts énergétiques de recherche de nourriture semblent plus élevés que le coût énergétique par baisse d'efficacité digestive (Bjorndal, Suganuma, Bolten 1991). Ainsi, les gains nutritifs pourraient être maximisés par la capacité à ingérer une plus grande quantité plus rapidement pour les tortues à régime mixte.

Chez les tortues qui se nourrissent d'herbiers marins, *Thalassia testudinum*, aux Bahamas, l'assimilation nutritionnelle se fait à un taux d'ingestion très faible avec une digestibilité très efficace de la cellulose (89%), de l'hémicellulose (75%) et de la matière organique (67%) par la microflore cellulolytique présente dans l'intestin (Bjorndal 1980). La lignine forme des complexes avec la cellulose et l'hémicellulose, les protégeant de l'activité des enzymes digestives et donc diminuant leur digestibilité.

3.b) Protéines et limitation en azote

Les protéines représentent le facteur limitant dans l'alimentation des tortues vertes herbivores. En effet, leur alimentation végétale est pauvre en protéines facilement digestibles. La limitation en azote peut être compensée par la durée des épisodes d'alimentation afin de maintenir un tube digestif plein et d'optimiser l'absorption de l'azote. De plus, les mouvements

antipéristaltiques font remonter l'azote urinaire du cloaque au colon proximal, fournissant ainsi une importante source d'azote (Lutz et al. 1996).

L'ingestion d'un régime mixte peut être un moyen d'obtenir les acides aminés essentiels nécessaires à la synthèse des protéines. Les tortues qui consomment un régime omnivore présentent une digestibilité élevée des fibres, semblable à celle rapportée chez les consommatrices d'herbiers marins (Amorocho, Reina 2008). Elles maximisent ainsi leur apport en énergie par la consommation de matière animale. Néanmoins, la digestion de la matière animale ne semble pas systématique dans la mesure où des éponges et ascidies retrouvées chez des tortues dans le gros intestin semblaient intactes et non digérées (Arthur et al. 2009). De plus,

Neufs acides aminés (lysine, tryptophane, méthionine, valine, leucine, isoleucine, phénylalanine, histidine et thréonine) sont essentiels pour la croissance et le développement normaux des tortues vertes à l'éclosion ; l'arginine est semi-essentielle ; et huit (alanine, proline, sérine, cystine, tyrosine, glycine, acide glutamique et acide aspartique) sont non-essentiels (Bjørndal 1985).

Les protéines sont considérées comme le nutriment limitant responsable de la croissance et de la maturité sexuelle. Les taux de croissance des tortues vertes sauvages semblent ainsi être sous contrôle nutritionnel plutôt que génétique (Bjørndal 1985; Amorocho, Reina 2008).

3.c) Lipides

Les lipides sont présents en faible quantité dans les herbes marines, allant de 0,35% à 4,05% (McCutcheon, McDermid, Balazs 2003).

Les lipides peuvent être stockés sous forme de graisse. Ces réserves lipidiques des tissus sous-cutanés et des corps graisseux mésentériques sont mobilisées pour le maintien des processus métaboliques et de reproduction pendant les périodes de jeûne qui accompagnent les migrations, accouplements et pontes.

3.d) Flore microbienne

Le commensalisme microbien contribue à la nutrition de l'hôte, à son développement et à son immunité (Ahasan et al. 2018).

Les tortues vertes juvéniles n'ont pas de contact étroit avec les adultes de leur propre espèce. Par conséquent, l'ensemencement de leur tube digestif se fait via l'intermédiaire de l'environnement et de l'alimentation. A mesure que les juvéniles rencontrent différentes ressources alimentaires entre leur habitat pélagique et les zones néritiques, des changements significatifs apparaissent dans les communautés bactériennes de leur cloaque. L'augmentation de la taille corporelle des tortues et de la température environnementale ainsi que la consommation des excréments facilitent l'acquisition d'une communauté bactérienne adaptée à la digestion des polysaccharides (Bjorndal 1985). En outre, une fois que la microflore cellulosique est établie, la taille de la tortue ou la longueur de l'intestin n'affectent pas la digestion de la cellulose.

La microflore cellulosique constitue une source d'énergie importante sous forme d'acides gras volatils et permet la libération du contenu cellulaire facilement digestible par la décomposition des parois cellulaires. Elle est responsable à travers la fermentation de l'apport des acides aminés essentiels.

Les microflores intestinales sont des systèmes dynamiques, capables de changer et de s'adapter à différents régimes alimentaires, non seulement en termes de proportions relatives de populations, mais aussi en ce qui concerne le nombre d'espèces (Bjorndal 1980). La microflore d'une tortue verte qui se nourrit d'algues semble significativement différente de celle d'une tortue qui se nourrit d'herbiers marins. Cela s'explique par les types de carbohydrates qui sont très différents entre une algue et une herbe marine. La cellulose, le principal glucide structural des herbiers marins, est présente en quantités très faibles dans les algues. La plupart des algues contiennent des glucides structuraux complexes tels que le glucane, le mannane, le xylane, l'agar, la carraghénane, l'acide alginique et l'acide uronique (Bjorndal 1985). A court terme, on peut observer que des morceaux d'algues sont non digérés chez les tortues spécialistes des herbes marines et inversement. Une modification de la microflore est possible en changeant le régime alimentaire à long terme (Bjorndal 1980). Les tortues marines vertes qui ingèrent régulièrement un régime mixte (matières végétales et animales) développeraient une communauté microbienne différente capable de dégrader les divers carbohydrates et les protéines (Bjorndal 1985).

En terme de phylum microbien présents dans les tubes digestifs des tortues vertes, on peut retrouver les Firmicutes qui jouent un rôle clé dans la digestion des polysaccharides complexes

des herbiers marins (Ahasan et al. 2018; Chen, Xia, Li 2022). Les Bacteroidetes représente également un phylum importants et contribuent à l'assimilation initiale des glucides simples et complexes (Díaz-Abad et al. 2022). Des bactéries des genres *Clostridium*, *Peptoclostridium* et *Cellulosilyticum* ont été trouvées chez les tortues vertes sauvages et sont connues pour être capables d'assimiler certains des principaux polysaccharides présents dans les herbiers marins et autres fibres végétales, tels que la cellulose, l'hémicellulose et le xylane (Bjorndal 1980). Enfin, des Protéobactéries peuvent être présentes aussi chez des tortues juvéniles en début de recrutement.

Un dérèglement du microbiome intestinal peut avoir de nombreuses conséquences négatives telles que l'infection par des pathogènes opportunistes ou l'implication dans les troubles gastro-intestinaux. La compréhension du microbiote digestif des tortues marines et de ce qui influence sa composition influence la gestion des efforts de conservation (Bloodgood et al. 2020).

3.e) Variations selon les stades de vie

Des différences de digestibilité sont observables selon la taille des tortues. Dans l'étude de Bjorndal (1980) les tortues de 8 kg digèrent un pourcentage de nutriments significativement plus faible, à l'exception de la cellulose, que les tortues plus grandes. La classe de taille de 30 kg digère le même pourcentage de cellulose et de protéines, mais digère moins de matière organique, d'énergie et d'hémicellulose que les tortues plus grandes. Apparemment, le système digestif d'une tortue de 48 kg a atteint le niveau fonctionnel adulte, car il n'y a pas d'augmentation significative des efficacités digestives entre les classes de taille de 48 et 66 kg.

II. Régime alimentaire des tortues imbriquées en milieu naturel

1. Régime alimentaire omnivore

Lors du recrutement néritique, les tortues imbriquées sont majoritairement observées aux abords des récifs coralliens et des substrats rocheux mais aussi à proximité des pâturages d'herbes marines et dans les baies bordées de mangroves (Bjorndal 1985). Leur régime alimentaire est composé principalement d'éponges (Porifera), *Chondrilla nucula* étant la plus abondante en général (Meylan 1988). Il est intéressant de noter que cinq des dix genres d'éponges (*Sphaciospongia*, *Ecionemia*, *Chondrosia*, *Aptos* et *Tethya*) sont également

communs dans le régime alimentaire des tortues imbriquées tandis que les quatre genres restants (*Stelletta*, *Rhabdastrella*, *Haliclona* et *Pseudoceratina*) n'ont jamais été signalés (Meylan 1988; Brandis et al. 2014).

Même si les éponges sont les éléments majoritaires du bol alimentaire des imbriquées des Caraïbes, du Pacifique et de l'océan Indien, elles se nourrissent également d'algues marines (e.g. *Gracilaria salicornia*, *Acanthophora spicifera*, *Hypnea sp.*, *Dyctiota sp.*) (Meylan 1988; Blumenthal et al. 2009). En Australie occidentale, ce sont les algues qui dominent avec seulement 20% de consommation d'éponges en volume. Un régime algivore pourrait apporter les nutriments nécessaires pour maximiser les gains d'énergie et compenser les dépenses liées à la recherche de nourriture dans des conditions turbulentes (Baumbach et al. 2022).

Dans certaines régions telles que les Seychelles ou encore Madagascar, les imbriquées adultes se nourrissent de coraux durs (Wyneken, Lohmann, Musick 2013).

Une variété d'autres espèces de proies, souvent incrustées dans les récifs, peut constituer une partie du repas d'une imbriquée, telles que les céphalopodes, les tuniciers, les plantes marines, les coraux mous, les cnidaires dont les anthozoaires (*Zoanthus sansibaricus* aux Seychelles), les polychètes, les gastéropodes, les holothuries (Bjorndal 1985; Berube et al. 2012).

Il se pourrait que les pâturages de phanérogames et d'algues marines deviennent à terme les principales sources d'énergie pour les imbriquées à mesure que la santé des récifs coralliens décline (Bjorndal, Bolten 2010).

2. Comportement alimentaire et physiologie digestive

La recherche de nourriture chez les imbriquées se fait par prélèvement des éponges et grattage de la surface du récif (Blumenthal et al. 2009). La sélection entre différents aliments varie selon les régions et semble se faire selon la disponibilité avec une adaptation et une complémentation avec d'autres proies possible (Carrión-Cortez et al. 2013). La composition nutritive, avec une priorisation pour des éléments à haute valeur énergétique et protéique entre aussi en jeu. Enfin, l'absence de substances chimiques de défense et la moindre qualité de spicules sont des critères qui semblent importants. Bjorndal suggère également que les tortues imbriquées éviteraient les éponges riches en spongine (Lutz et al. 1996).

Bien que les imbriquées se concentrent principalement sur les éponges, tous les contenus des éponges ne peuvent pas être digérés et convertis en énergie métabolique utilisable (Baumbach et al. 2022). Les spongines, protéines des éponges, et les fibrilles de collagène apportent des nutriments essentiels aux imbriquées (Meylan 1985). Toutefois, de nombreuses éponges contiennent des spicules siliceux qui sont indigestes.

L'ingestion de certains aliments semble procurer des avantages physiologiques au-delà des avantages nutritionnels. Les anthozoaires ou l'anémone *Ricordea florida* par exemple sécrètent un mucus abondant et leur consommation pourrait protéger le tube digestif de l'abrasion par les spicules des éponges.

L'hypothèse d'une consommation accidentelle des algues et herbiers marins qui poussent fréquemment sur les éponges est évoquée dans certaines populations. Cette consommation représente tout de même une source de vitamines et de minéraux non négligeable (Carrión-Cortez et al. 2013). L'ingestion occasionnelle de matériel végétal pourrait également faciliter la digestion et le passage d'épaisses spicules d'éponges (Brandis et al. 2014; Baumbach et al. 2022).

Une relation commensale a été observée avec les poissons-anges qui profitent des cavités produites par les tortues sur les éponges pour les grignoter (Blumenthal et al. 2009).

III. Etude de l'influence de l'environnement

1. Influence de la température

Les tortues marines sont des animaux poïkilothermes donc les températures extérieures influent directement sur la température corporelle et le métabolisme. En général, la température corporelle d'une tortue verte ou imbriquée, au repos, est située entre 2 et 3 °C au-dessus de la température de l'eau. La température affecte l'efficacité digestive et la vitesse de transit (Bjorndal 1980). Il existe une température moyenne qui correspond à la température idéale pour un fonctionnement optimal de l'organisme et des températures maximales et minimales critiques au-delà desquelles l'animal ne peut survivre.

Tout d'abord, la température influe sur la digestibilité des aliments et le temps de transit. Une diminution de 10 à 30% de la digestion de la cellulose chez les tortues vertes est observée pendant les mois froids par rapport aux mois les plus chauds (Bjorndal 1980). En réponse à ces

conditions, les tortues peuvent opter pour une alimentation plus orientée vers la matière animale, en particulier de macrozooplancton gélatineux (Amarocho, Reina 2007; Esteban et al. 2020). La thermorégulation comportementale peut être également une solution pour améliorer l'efficacité digestive. Par exemple, les tortues caouannes et vertes se prélassent sur terre et à la surface de la mer pour augmenter leur température corporelle (Forbes 1996). De plus, il a été rapporté que les tortues vertes évitent les eaux où la température devient potentiellement trop chaude ($>36^{\circ}\text{C}$), afin d'éviter une fermentation excessive de la nourriture ingérée (Ballorain 2010).

D'autre part, la température affecte la synthèse de la vitamine D qui est essentielle au maintien de l'homéostasie du calcium (Ca) chez les tortues. Des températures environnementales appropriées augmentent également le taux métabolique, le taux de digestion et la digestibilité, autant de facteurs qui contribuent indirectement au maintien de l'homéostasie du Ca.

Enfin, la température influe sur la disponibilité des ressources. Les hausses de température estivales, susceptibles de provoquer un surchauffage des eaux peu profondes, ont été associées à des pertes significatives d'herbiers marins sensibles à la température (Esteban et al. 2020).

2. Influence de la lumière

La lumière est un paramètre important pour les reptiles car les ultraviolets issus du rayonnement solaire permettent la synthèse de la vitamine D₃ à partir du 7-déhydrocholestérol. Cette vitamine contribue à l'absorption intestinale du calcium (Divers, Stahl, Mader 2019).

3. Autres paramètres

D'autres paramètres environnementaux influencent l'alimentation des tortues marines. La profondeur de l'eau, le type de substrat, la clarté de l'eau et l'abondance d'autres prédateurs sont autant de facteurs qui impactent la distribution des espèces alimentaires. Les variations de caractéristiques océanographiques, en particulier en raison du processus d'upwelling au cours duquel des eaux profondes, riches en nutriments, remontent vers la surface de l'océan, provoquent des répartitions différentielles en fonction des saisons des algues sur les côtes (Carrión-Cortez, Zárate, Seminoff 2010).

Les changements des conditions environnementales locales dus au dérèglement climatique modifient les structures écosystémiques. Une réduction globale des habitats d'herbiers marins est prévue au cours de la prochaine décennie en raison d'une combinaison de menaces d'origine humaine. Les changements climatiques pourraient modifier les modèles de courants océaniques et ainsi affecter la température de l'eau et la disponibilité et la répartition des ressources alimentaires des tortues marines.

Toutefois, les tortues peuvent s'adapter aux variations de la disponibilité de la nourriture en modifiant leur régime alimentaire et leur comportement de recherche de nourriture, comme en témoigne la consommation d'espèces envahissantes d'herbiers marins qui se propagent dans des habitats de recherche clés. Les tortues peuvent également étendre leurs aires de recherche de nourriture, alterner entre des sites de recherche de nourriture ou même s'adapter à de nouveaux sites de recherche de nourriture (Esteban et al. 2020).

PARTIE 2 : Description de l'île de Mayotte et enjeux de la conservation des tortues

A. DESCRIPTION GEOGRAPHIQUE

Afin de comprendre les difficultés de conservation des tortues à Mayotte, il est important d'appréhender le contexte géographique, social et économique de ce petit archipel de l'Océan Indien.

I. Le territoire de Mayotte

Mayotte est un archipel situé à l'entrée nord du Canal du Mozambique, entre Madagascar et le continent Africain. D'une superficie de 374 km², Mayotte est constituée de deux îles principales nommées Grande-Terre et Petite-Terre et d'une trentaine d'îlots, d'origine volcanique ou corallienne, épars dans le lagon. D'origine volcanique, elle est également la plus ancienne des îles de l'archipel des Comores (environ huit millions d'années) et possède ainsi un relief moins accentué du fait de l'érosion et de l'enfoncement de son plateau. Le Mont Bénara haut de 660 m est son point culminant sur Grande Terre. Dans moins de 4,5 millions d'années, celui-ci sera certainement submergé et Mayotte deviendra un atoll (Gigou, Dinhut, Arnaud 2009).

La Petite-Terre, séparée de la Grande-Terre par un bras de mer d'un à deux kilomètres, est issue d'une phase éruptive plus tardive présentant la particularité d'avoir eu lieu au niveau du récif barrière séparant le lagon de l'océan. Les côtes bordées de mangroves sont très découpées et sa forme lui a valu son surnom « d'île hippocampe ».

L'île est située en milieu tropical et alterne entre la saison des pluies (kashkasini, été austral) d'octobre à mars, pendant laquelle les températures sont élevées et le taux d'humidité très important, et la saison sèche (kussini, hiver austral) d'avril à septembre, durant lequel les alizés venant du sud-est rafraichissent l'atmosphère et où la pluie se raréfie (Préfecture de Mayotte s.d.).

Mayotte n'est que depuis très récemment le 101^e département de France. En effet, après avoir été dirigée par une succession de sultans à travers les siècles, elle devient d'abord une colonie française en 1841. Après le référendum de 1974, elle se dissocie complètement des Comores en refusant l'indépendance, contrairement aux autres îles de l'archipel. C'est seulement en 2011, qu'elle devient le plus jeune département de France. De surcroît, le

territoire a accès depuis 2014 au statut de Région Ultrapériphérique Européenne, bénéficiant ainsi des fonds européens structurels et d'investissement (Préfecture de Mayotte s.d.).

II. Le lagon et le littoral de Mayotte

1. Une région remarquable

Mayotte abrite un environnement naturel d'exception, aussi bien terrestre que marin. Etant un territoire insulaire, ce dernier occupe une place importante, d'autant plus que les originalités géomorphologiques en font un lieu d'une incroyable richesse. En effet, l'archipel est ceinturé par l'un des plus grands et des plus beaux lagons fermés du monde, couvrant une superficie de 1500 km² en incluant le banc de l'Iris, soit quatre fois la surface des terres émergées.

Plusieurs types de structures récifales entourent Mayotte, de la côte vers le large : les récifs frangeants qui s'étendent sur 195 km, les récifs internes et le récif barrière long de 140km. La double barrière de 18km de long au Sud-Ouest de Grande Terre en est aussi une, phénomène rarissime car il en existe moins de dix au monde (*Figure 12*) (Gigou, Dinhut, Arnaud 2009; Philippe et al. 2014). Une douzaine de passes récifales sectionnent la barrière externe, anciennes rivières formant désormais des ouvertures entre le lagon et l'océan.

De plus, les littoraux de Mayotte sont recouverts d'herbiers marins sur plus de 700 ha et de mangroves sur 29% du linéaire côtier (Philippe et al. 2014). Le reste des segments littoraux est marqué par l'alternance de falaises et de plages de sable fin. On trouve des plages de sable noir à brun s'il provient de la désagrégation des roches volcaniques jusqu'à parfaitement blanc si ce sont des grains issus des coraux morts.

2. Un point chaud de biodiversité

L'île de Mayotte, se situe au cœur d'un des « points chauds » de la biodiversité mondiale selon l'organisation Conservation International (Myers et al. 2000). Dans les eaux mahoraises, sont répertoriées 760 espèces de poissons, 300 espèces de coraux, 25 espèces de mammifères marins (Parc Naturel Marin Mayotte 2020). Cet inventaire est loin d'être terminé, car de nouvelles espèces sont encore régulièrement découvertes, notamment dans des milieux

actuellement peu prospectés tels que les mangroves, les grands fonds ou les fonds lagunaires (poissons creusant des terriers, gobies, blennies, etc.) (Gigou, Dinhut, Arnaud 2009).



Figure 12 : Carte du lagon de Mayotte montrant la géomorphologie du récif et les habitats (mangroves, herbiers). De (Gigou, Dinhut, Arnaud 2009)

2.a) Les récifs coralliens, architectes du lagon

Un récif corallien est une structure naturelle formée essentiellement par l'accumulation de squelette de coraux durs en association aux épisodes volcaniques, d'enfoncements de l'île et de variations du niveau marin. Les coraux sont des colonies d'animaux caractérisés par un exosquelette, qui peut être dur (calcaire) ou mou (protéinique). Ils vivent en général en symbiose avec des végétaux, les zooxanthelles, qui leur donnent leurs couleurs.

Ce sont des habitats naturels remarquables et des formidables réservoirs de biodiversité. Sur la planète, 25% des espèces marines vivent dans ces biotopes alors qu'ils ne recouvrent qu'1% des fonds sous-marins. Une surface de 150 km² est recouverte par des récifs coralliens à Mayotte, fournissant des zones de refuge et d'alimentation pour de nombreuses espèces.

2.b) Les prairies sous-marines

Les herbiers de phanérogames marines sont parmi les écosystèmes côtiers les plus répandus au monde et les systèmes biologiques les plus productifs. Ils contribuent de manière significative à la production primaire et à la biomasse marine. Ces plantes marines adaptées à la vie immergée ont une composition similaire aux plantes terrestres : elles ont des feuilles, des racines, des tissus conducteurs, des fleurs et des graines. Elles évoluent dans les zones photiques, zones côtières peu profondes, et colonisent aussi bien les secteurs de platiers de récifs barrières que les platiers de récifs frangeants (Parc naturel marin Mayotte 2020; Scholten, Duffaud, Giannasi 2020).

A Mayotte, on dénombre 11 espèces de phanérogames marines sur les 80 recensées dans le monde. Les espèces les plus observées sont *Halodule uninervis*, *Thalassia hemprichii*, *Syringodium isoetifolium* et le genre *Halophila* (*Halophila decipiens*, *Halophila ovalis-minor*, *Halophila stipulacea*) mais on retrouve aussi les espèces *Cymodecea rotundata*, *Cymodecea serrulata*, *Thalassodendron ciliatum*, *Zostera capensis* et *Zostera capricorni* (Ballorain 2010; Dedeken, Ballorain 2015). Elles se différencient assez bien entre elles par des critères morphologiques simples. Les herbiers marins sont répartis de manière homogène autour de l'île et sont pour la plupart peu denses et plurispécifiques. Les herbiers peu profonds (< 5 mètres) couvrent une superficie approximative de 760 hectares et offrent une diversité spécifique d'importance mondiale (Philippe et al. 2014).

L'habitat formé par les herbiers constitue un support pour une grande diversité d'espèces faunistiques à tous les niveaux trophiques, incluant mésobrouleurs (crustacées, gastéropodes), macrobrouleurs (décapodes, oursins) et mégabrouleurs (tortues, dugongs) (Kerninon 2020). Il sert également de refuge pour les stades juvéniles de nombreuses espèces animales. Ainsi, malgré le faible nombre d'espèces constituant les herbiers, leurs rôles fonctionnels et structurants ainsi que les services qu'ils rendent leur confèrent une grande importance dans les milieux côtiers tropicaux.

2.c) Une diversité algale

Un inventaire réalisé au début des années 1990 fit état de 270 espèces de macroalgues dans le lagon de Mayotte. Les macroalgues sont divisées en 3 groupes selon leur pigmentation : algues vertes, algues brunes et algues rouges. Un total de 81 taxons d'algues a été décrit à Mayotte ou plus généralement dans l'archipel des Comores. Parmi celles-ci, 15 appartiennent au phylum des algues brunes, 18 au phylum des algues vertes et 48 au phylum des algues rouges. Parmi elles, on compte un grand nombre d'algues calcaires, jouant un rôle prépondérant dans l'édification des récifs (Centre d'étude et de valorisation des algues 2011). Il est intéressant de noter que l'espèce *Gracilaria salicornia* et six genres de macro-algues (*Padina*, *Dyctiota*, *Halimeda*, *Turbinaria*, *Sargassum*, *Caulerpa*) sont recensés au sein des herbiers intertidaux, sans notion d'abondance (Dedeken, Ballorain 2015).

2.d) De multiples espèces animales

Les zones marines de Mayotte attirent de nombreuses espèces animales.

Vingt-cinq espèces de mammifères marins sont répertoriées dans les eaux mahoraises. On peut citer tout d'abord la douzaine d'espèces de dauphin, tels que le dauphin long bec (*Stenella longirostris*), le dauphin tacheté (*Stenella attenuata*) ou encore le grand dauphin (*Tursiops aduncus*). Il est également possible de contempler de Juillet à Novembre les baleines à bosse à Mayotte qui viennent chercher les eaux calmes et chaudes pour s'accoupler ou mettre bas. Enfin, des dugongs (*Dugong dugon*) se nourrissent dans les herbiers sous-marins peu profonds. Espèce classée vulnérable par l'IUCN, moins de dix individus sont présents aux abords de l'île (Parc Naturel Marin Mayotte 2020).

Trente-neuf espèces d'élastmobranches fréquentent aussi les eaux mahoraises, dont vingt-quatre de requins et quinze espèces de raies. On peut citer par exemple le requin gris de récif

(*Carcharhinus amblyrhynchos*), le grand requin marteau (*Sphyrna mokarran*), ou encore la raie manta (*Mobula alfredi*), présente dans le lagon d'avril à septembre (Gigou, Dinhut, Arnaud 2009).

Enfin, l'inventaire taxonomique des poissons marins de Mayotte et des bancs récifaux de Geysier et Zélée fait état de plus de 760 espèces répertoriées. Des poissons emblématiques tels que le napoléon (*Cheilinus undulatus*), le perroquet à bosse (*Bolbometopon muricatum*) et la loche géante (*Epinephelus lanceolatus*) peuvent être aperçus dans le lagon et sont protégés par arrêté préfectoral, interdisant leur capture (Parc Naturel Marin Mayotte 2020; Gigou, Dinhut, Arnaud 2009).

3. Un environnement fragile à préserver

Ce morceau de terre du Canal du Mozambique possède un environnement naturel marin d'une richesse exceptionnelle. Cependant, de nombreuses menaces pèsent sur cette biodiversité : le réchauffement des eaux, l'acidification des océans ou encore l'infestation de prédateurs tels que l'étoile de mer *Acanthaster planci* mettent en péril la santé des récifs coralliens. S'ajoute à ces facteurs naturels les dégradations liées à l'Homme et ses activités qui ont un impact dévastateur sur les communautés récifales. Le défrichement sur les pentes terrestres entraîne une érosion des sols et une sédimentation importante étouffant les prairies sous-marines et les coraux (Gigou, Dinhut, Arnaud 2009). Le piétinement ou l'endommagement par les ancres de bateau sont aussi en cause de la dégradation des sols marins. Enfin, la pression anthropique littorale pose aussi problème, notamment à Mayotte où le taux de croissance annuel de la population est de 3,8%, soit l'un des taux de croissance les plus élevés du monde (INSEE 2023). La quantité considérable de déchets sur les abords côtiers ainsi que les problèmes d'assainissement et de rejets d'eaux usées sont des menaces directes à court et long terme du milieu marin.

Ces dégradations se traduisent par une forte mortalité des coraux (jusqu'à 90 % sur certains récifs), une augmentation significative de la couverture algale, la prolifération des échinodermes ou des alcyonaires, et une profonde modification des peuplements ichtyologiques au détriment des poissons d'intérêt commercial (Gabrie et al. 2003).

La protection de ce patrimoine est donc fondamentale sur le plan socio-économique car il fait vivre de nombreuses personnes (activité ichtyologique, activité touristique, ...) et sur le

plan écologique. Au vu du contexte de forte démographie, Mayotte se confronte à la gestion du développement et d'aménagement de l'île tout en essayant de préserver au maximum ses ressources naturelles fragiles (Gabrie et al. 2003; Philippe et al. 2014).

III. Contexte social et économique

La préservation de cet environnement exceptionnel se heurte à un contexte social et économique complexe. Mayotte demeure le DROM le moins bien soutenu par la France et représente la seconde région européenne la plus pauvre avec un PIB par habitant quatre fois inférieur à la moyenne métropolitaine. Elle constitue en revanche un îlot de prospérité pour les populations voisines qui ont un PIB par habitant 10 fois pour les Comores et 17 fois pour Madagascar inférieur, engendrant de grandes dynamiques d'immigration. L'île fait face à des défis tels qu'un déficit d'emplois, la pauvreté et des inégalités sociales marquées. La précarité est particulièrement présente à Mayotte, dont une grande partie de la population vit avec très peu de ressources : 77 % des habitants vivent sous le seuil de pauvreté national, soit cinq fois plus qu'en métropole (INSEE 2023). Dès lors, la conservation de l'environnement ne constitue pas une priorité pour le territoire qui doit faire face à d'autres enjeux.

De plus, la démographie en constante augmentation, due à une immigration et une natalité importante sur le territoire en fait l'un des départements les plus densément peuplés de France avec 805 habitants au km² (INSEE 2023). Cette pression démographique pèse sur les espaces naturels et sur la demande en eau. La déforestation massive que subit l'île en est une conséquence. En effet, Mayotte fait partie des territoires les plus déforestés au monde entraînant une baisse des réserves en eau conséquente. S'ajoutant au climat tropical, à sa géographie insulaire et au réchauffement climatique, l'île est sujette à des saisons de sécheresse prolongées et à des coupures au robinet durant environ trois à six mois chaque année depuis 2016. En 2023, année qui a subi la saison des pluies la plus sèche depuis 1997, les coupures d'eau sont particulièrement fréquentes avec des conséquences sur la santé publique et l'agriculture associées. En août 2023, l'eau est coupée cinq fois par semaine de 16h à 8h avec une coupure supplémentaire de 36h une fois par semaine sur les territoires de forte activité. (*La pénurie d'eau à Mayotte, une conséquence de la déforestation massive de l'île [Planète Outre-mer] 2022; Préfecture de Mayotte 2023*).

B. DESCRIPTION DES FILIERES INTERESSANTES POUR L'ALIMENTATION DES TORTUES MARINES

Comme décrit précédemment, Mayotte est un département faisant face à des difficultés sociales et économiques. Afin de créer les rations des tortues marines avec des produits issus du territoire mahorais, une grande partie du travail a été de comprendre comment sont structurées les filières alimentaires sur place afin de contacter les potentiels fournisseurs.

I. L'agriculture

Nous allons tout d'abord nous intéresser au fonctionnement du maraichage à Mayotte car la part de végétaux dans l'alimentation des tortues vertes est importante.

1. Présentation de la filière maraichère

L'agriculture occupe une place essentielle à Mayotte : un tiers des ménages ont une activité agricole, ce qui est le taux le plus élevé des départements français (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire 2016). Cependant, une partie de la production n'est pas commercialisée et l'agriculture est un moyen de subsistance pour la population qui autoconsomme la majorité de sa production. Ainsi, la filière agricole de l'île est dominée par les micro-exploitations, qu'on appelle les « jardins mahorais », représentant 79% de la superficie totale (Diop et al. 2023). En effet, près de la moitié des exploitations cultivent moins de 1 hectare. Ce modèle d'exploitation utilise des associations bien étagées permettant des polycultures sur le terrain.

Selon le recensement agricole 2020, 36 % des exploitations agricoles sont situées sur Grande Terre, sur les communes de Mtsamboro, Kani-Kéli, Tsingoni et Mamoudzou et seulement 3% sont sur Petite Terre, territoire beaucoup plus urbanisé et dont les sols issus d'un volcanisme plus récent ne sont que peu concernés maraichage.

Enfin, la filière ne reste encore que très peu organisée avec seule une coopérative recensée sur le territoire, la COOPAC (Coopérative des Agriculteurs du Centre) (Huat, Aubert, Parrot 2021). Les lieux de commercialisation à Mayotte, où se confondent tout type de production, sont divers : bord de route, marchés couverts, supermarchés. Il est difficile pour les consommateurs d'identifier la qualité des produits et leur origine. La COOPAC permet aux

producteurs une mutualisation des coûts, la diffusion d'information sur la réglementation et les stratégies productives, et est un soutien clef dans les demandes de subventions. L'objectif étant de commercialiser des produits sains et locaux pour les consommateurs.





2. Les productions adaptées au climat tropical

A Mayotte, les cultures majeures sont la banane et le manioc où l'autoconsommation par les familles exploitantes est majoritaire. Ainsi, deux tiers des exploitations sont orientées en « Cultures fruitières et autres cultures permanentes », le tiers restant étant notamment de la « polyculture, polyélevage » et une infime partie représente les exploitations clairement spécialisées (maraîchage, élevage, aviculture, plantes aromatiques etc.) (SISE 976 2021).

Du fait des conditions édaphoclimatiques et topographiques de l'île, la production maraîchère mahoraise est très saisonnalisée. La saison sèche concentre la majeure partie des productions agricoles qui sont conduites en plein champ. En saison des pluies, les conditions climatiques très humides et les fortes températures rendent la production légumière beaucoup plus difficile (Vanhuffel, Huat 2019). La culture sous abri et le choix d'espèces et variétés adaptées sont indispensables pour produire en saison des pluies, rendant cette pratique plus compliquée en termes de technicité et d'investissements. Une liste des productions maraîchères effectuée à Mayotte et leur adéquation selon la saison est présentée ci-dessous :

Tableau 1 : Liste des produits maraichers possibles de cultiver à Mayotte (selon VANHUFFEL, Luc et HUAT, Joël, 2019. Le guide des productions maraichères à Mayotte. (Décembre 2019)

Ambrevade	Pé-tsaï (chou chinois)	Melon
Aubergine	Concombre	Niébé, voème
Aubergine africaine	Courge, citrouille	Pastèque
Bissap	Courgette	Patate douce
Brède mafane	Cresson de fontaine	Patole, dodoki
Brède manioc	Gombo	Piments
Carotte	Haricot vert	Poivron
Chicorée scarole	Igname	Pourpier
Chou pommé	Laitues	Radis
Pak-choï (chou chinois)	Maïs doux	Taro, songe
		Tomate

	: bien à très bien adapté à Mayotte
	: adapté en saison sèche
	: culture aisée en plein champ en saison des pluies
	: possible mais conditions très précises ou peu consommés/cultivés à Mayotte

3. Place de l'agriculture biologique

Afin d'avoir la nourriture la plus saine pour les tortues marines, trouver des ingrédients biologiques pour faire les rations était une priorité.

Depuis son intégration en tant que département d'Outre-Mer et de région Ultra-Périphérique de l'Europe, Mayotte a l'obligation de se mettre en conformité avec les exigences sanitaires et phytosanitaires européennes et nationales (Huat, Aubert, Parrot 2021). La France est le septième pays consommateur de pesticides au monde et le second au niveau européen. Les productions de tomates, salade et cucurbitacées sont particulièrement concernées. L'Indice de Fréquence de Traitement est trois à quatre fois plus élevé qu'en métropole sur la production de tomates et les exigences réglementaires en termes de Limites Maximales de Résidus (LMR) ou de substances actives autorisés ne sont pas toujours respectées. Les producteurs informels, c'est-à-dire qui n'ont pas accès aux certificats permettant l'achat de pesticides autorisés auprès de distributeurs formels et à la formation sur les bonnes pratiques phytosanitaires, représentent les deux tiers des producteurs à Mayotte (Huat, Aubert, Parrot 2021).

Cependant dans le modèle du « jardin mahorais », il semble que l'usage d'intrant soit quasi inexistant. Le label agriculture biologique est malgré tout très peu présent : selon le recensement agricole de 2020, seules 12 exploitations sur 4315 sont labélisées A.B (0.002%) contre 12% dans l'hexagone (SISE 976 2021). La structuration de la filière agriculture biologique à Mayotte est un enjeu crucial, répondant à plusieurs problématiques telles que la sécurité alimentaire, la protection environnementale, la lutte contre l'érosion et le maintien de la fertilité des sols, la santé humaine et animale et l'amélioration du revenu des producteurs.

II. La pêche

1. Présentation de la filière

L'exploitation des ressources halieutiques dans l'océan Indien fait l'objet d'un fort dynamisme à l'échelle internationale au regard des problèmes de renouvellement des ressources surexploitées des océans Atlantique et Pacifique. A Mayotte, le poids des activités de pêche sur le PIB local demeure faible et peine à se développer faute d'infrastructures

adaptées (absence de port de pêche par exemple) et d'accessibilité pour les investisseurs (Conseil départemental de Mayotte 2019).

L'ichtyofaune échantillonnée des eaux mahoraises se compose d'un total de 760 espèces de poissons marins dont 175 possédant un intérêt halieutique important (Wickel et al. 2014). 25% des poissons pêchés à Mayotte sont des grands pélagiques, 10% sont des petits pélagiques et le reste sont des poissons récifaux. Chaque poisson prélevé est conservé et valorisé même si ce n'est pas un poisson ciblé par le pêcheur au départ. La pêche est essentiellement artisanale et est pratiquée par plus d'un millier de pêcheurs embarqués

La flottille mahoraise professionnelle est composée de quatre type d'engins de pêche (*Figure 13*). Tout d'abord, deux à trois palangriers mesurant de neuf à douze mètres, sont utilisés et détenus par l'entreprise Captain Alandor. Ils pêchent majoritairement du thon et de l'espadon hors lagon en effectuant des sorties de deux à trois jours à chaque fois avec un rendement estimé de 800kg par marée. Ensuite, il existe 140 barques professionnelles dont 80% utilisent la technique de la palangrotte qui est une ligne à main lestée par un caillou avec un hameçon appâté visant les poissons de fond du lagon ou proches des récifs. Ces barques peuvent pêcher à la journée ou plusieurs jours de suite avec un rendement moyen estimé à 80kg par marée. Huit bateaux fonctionnent avec un filet et le reste pratique la pêche à la traine avec un leurre attaché au derrière du bateau permettant de pêcher des grands pélagiques, tels que le mérou ou la carangue (Parc naturel marin Mayotte 2009; Jérôme et al. 2019).

Au total, environ 1000 tonnes de poisson sont produites chaque année, à raison d'une moyenne de 200 à 400kg par sortie. Les captures se composent essentiellement à 47 % de vivaneaux, 21 % de capitaines, 13 % de mérours et 6 % d'autres poissons pélagiques (David et al. 2017).

La pêche vivrière et ses méthodes traditionnelles sont encore présentes en majorité. La pêche à la pirogue représente 78% de la flottille et comptabilise 800 navires actifs en 2021. La pêche à pied est très pratiquée lors des grandes marées ainsi que la pêche aux poulpes et aux coquillages. Enfin, la pêche au djarifa, pratique exclusivement féminine, est une activité de subsistance et socio-culturelle. Elle se réalise avec un tissu de tulle coupé en deux et cousu

dans la longueur pour créer une poche destinée à retenir le poisson (Parc naturel marin Mayotte 2009; Philippe et al. 2014).



Figure 13 : Les différentes embarcations présentes dans la ZEE de Mayotte : des pêcheurs en pirogue (en haut à gauche), des pêcheurs en barque « Yamaha » (en haut à droite), un palangrier côtier (en bas à gauche), un thonier senneur hauturier (en bas à droite). Ref : Julien Wickel/Agence des aires marines protégées (en haut à gauche), Agnès Poirer/Agence des aires marines protégées (en haut à droite, en bas à gauche), Nicolas Bonpant (en bas à droite), (PNMM 2013)

2. Problématiques de structuration et réglementation

La difficulté de la filière à Mayotte est son manque d'organisation et de structuration. En hexagone, il existe un comité national et des comités régionaux créant un lien entre les pêcheurs et représentant la filière. Sur l'île, il n'existe pas de comités mais plusieurs organisations indépendantes.

Tout d'abord, la CAPAM (Chambre de l'Agriculture de la Pêche et de l'Aquaculture de Mayotte) qui fait partie de la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt, est l'organisme d'état qui gère la pêche à Mayotte. D'autre part, la coopérative CO.VI.P.EM.M.

(Comité Villageois Des Pêcheurs et Eleveurs Marins De Mtsahara), présente à Mtsapere et Chiconi fonctionne davantage comme une poissonnerie. En effet, il n'existe pas de réelle coopérative pouvant fournir du matériel aux pêcheurs. De même, la COPEMAY (Coopérative des Pêcheurs de Mayotte) à Mamoudzou est un lieu privilégié de vente de produits de la mer mais n'établit pas de réel lien ou ne fournit de soutien aux professionnels de la pêche.

Des associations de pêcheurs se sont formées (trois sur Petite Terre par exemple) pour augmenter la représentation de la filière sur le territoire. Néanmoins, ces organisations ne sont pas fixes et changent souvent, rendant difficile l'identification d'interlocuteurs privilégiés.

La pêche dans le lagon est réglementée : l'usage des filets est limité dans les chenaux de mangroves, à l'aplomb des récifs coralliens vivants, en zones d'herbiers et sur les voies de circulation maritime. La chasse sous-marine, la pêche à la dynamite et la pêche par empoisonnement sont également interdites dans le lagon (Philippe et al. 2014). Au large, le banc du Geyser est partiellement interdit à la pêche (Arrêté préfectoral n°2010-151 du 9 décembre 2010) (David et al. 2017).

C. PLACE DES TORTUES A MAYOTTE ET IMPORTANCE DE LEUR CONSERVATION

I. Description des tortues de Mayotte

Les eaux du sud-ouest de l'océan Indien accueillent cinq espèces de tortues marines sur les sept existantes et concentre des sites de ponte importants pour les tortues vertes et imbriquées (Philippe et al. 2014; Bourjea, Ciccione, Dalleau 2013).

1. La tortue verte : animal emblématique de Mayotte

Mayotte est un territoire privilégié pour la tortue verte. C'est un « hot spot » d'alimentation avec une grande densité d'herbiers de phanérogames marines et d'algues attirant des populations mixtes de juvéniles et d'adultes mâles et femelles. Les recensements aériens réalisés depuis 2008 permettent ainsi d'estimer la population du lagon de Mayotte à près de 2000 individus. Le secteur Ouest de Grande-Terre, comptabilisant 35 % des zones totales d'herbiers, est le lieu avec la plus grande concentration en tortues vertes (Ballorain 2010; Philippe et al. 2014). La baie de N'Gouja au sud-ouest de l'île en est un exemple. Elle

abrite un herbier marin multispécifique et a été signalée comme étant une importante zone d'alimentation pour les tortues vertes (Ballorain et al. 2010).

De plus, Mayotte est une zone de reproduction majeure : on compte 135 plages définies comme sites de pontes sur 200 avec chaque année entre 3000 et 5000 femelles venant se reproduire (Oulanga Na Nyamba 2022a). On observe dans ces populations une moyenne de trois pontes par femelle au cours d'une même saison, un écart inter-ponte moyen de 12 à 14 jours et un écart intersaison moyen de trois ans. Ainsi, entre 1994 et 2014, près de 22 000 pontes ont été recensées. Des pontes sont observées sur les plages toute l'année mais une période de reproduction préférentielle, appelée pic de ponte, a lieu pendant l'hiver austral et notamment en mai-juin. Cette dynamique temporelle est commune aux sites de ponte du nord du canal du Mozambique et s'explique par la température régionale de la mer (Dalleau 2013). Les femelles nidifient sur des plages aux colorations variant du sable corallien clair au sable basaltique sombre et généralement sous la végétation de fond de plage où la température, le maintien du sable et le taux d'humidité sont plus favorables au succès d'éclosion des nids (Philippe et al. 2014). Les plages les plus fréquentées sont celles de Saziley au Sud-Est de Grande-Terre et les plages de la côte Est de Petite-Terre (Moya, Papani, Poudjou) (Bourjea et al. 2007; Philippe et al. 2014).

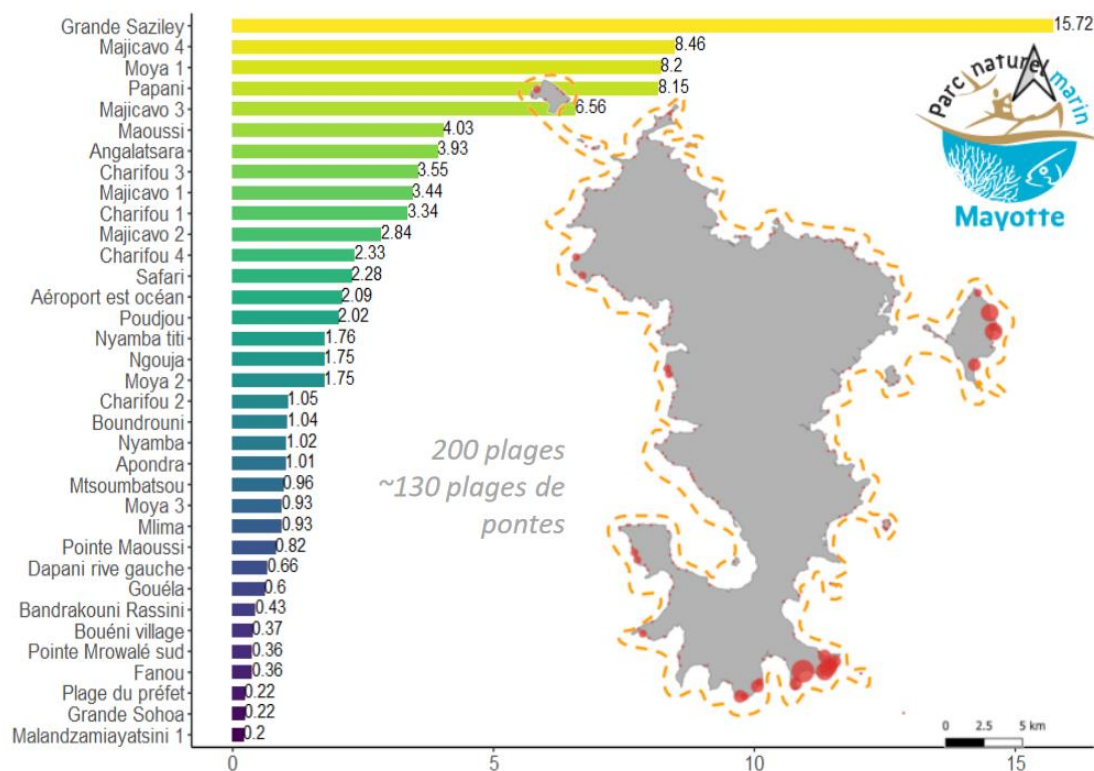


Figure 14 : Principales plages de ponte de Mayotte (points rouges (PNMM 2023))

Les tortues vertes nidifiant à Mayotte migrent ensuite sur plus de 800 km pendant une dizaine de jours pour aller sur des zones d'alimentation de la côte est africaine ou sur les côtes malgaches (*Figure 15*) (Dalleau 2013). Cependant, très peu d'informations sont disponibles sur le comportement migratoire des tortues vertes en phase d'alimentation à Mayotte (Ballorain 2010). Il semblerait que la fidélité au site de ponte soit discutable à Mayotte puisque plus de 35% des tortues marquées à Saziley et Moya n'ont jamais été recapturées. Cela peut être une conséquence d'un problème d'observation ou d'un changement de plage de ponte. Cette alternance de plages peut se produire au cours d'une même saison de ponte sur différentes plages de l'île ou entre différentes saisons (Philippe et al. 2014).

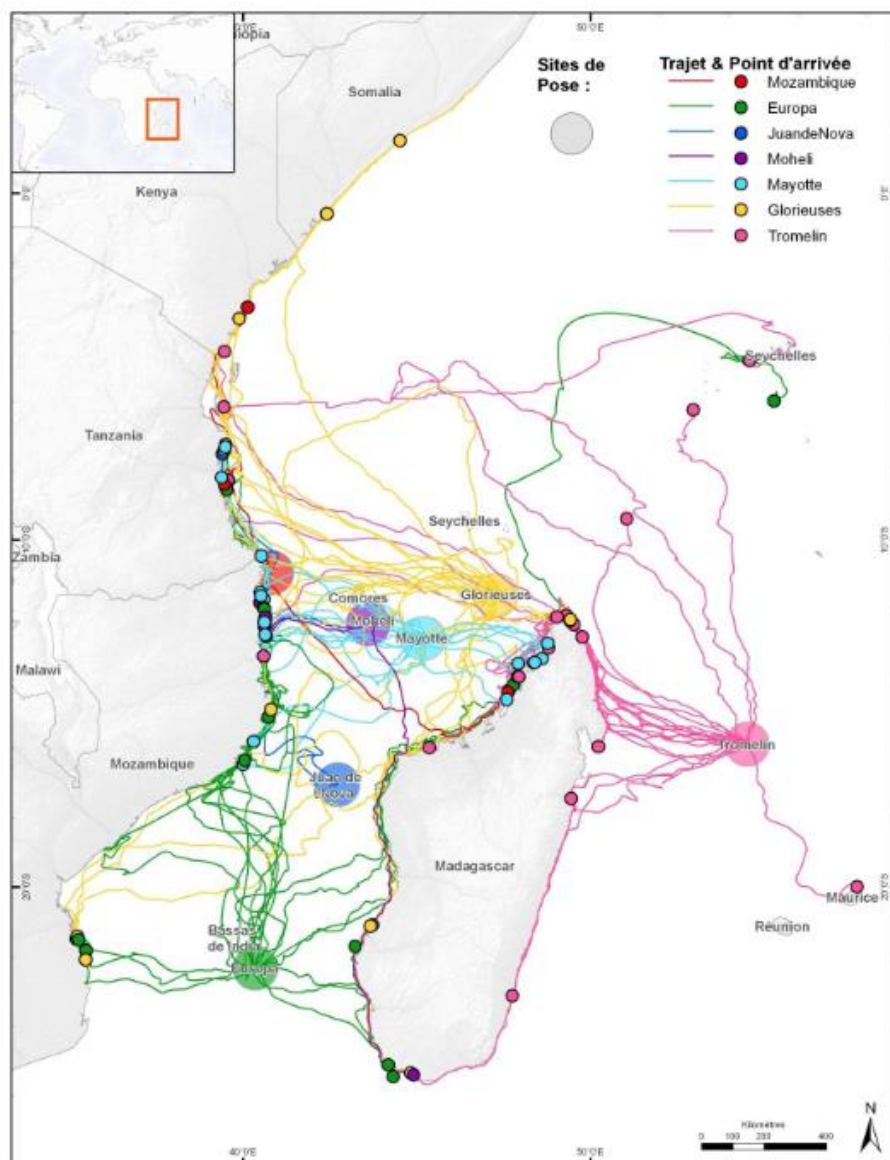


Figure 15 : Trajets de migration post-reproductive et sites d'alimentation de 77 tortues vertes femelles suivies par satellite dans le SOOI (Dalleau 2013)

2. La tortue imbriquée, deuxième espèce à pondre sur les plages mahoraises

La tortue imbriquée est aussi une espèce venant pondre et s'alimenter à Mayotte mais y est beaucoup moins présente que la tortue verte. En effet, des juvéniles (à partir de 25 cm de taille de carapace) et des adultes sont observés toute l'année dans le lagon à proximité des tombants récifaux et de la limite des herbiers de phanérogames (Philippe et al. 2014; Gigou, Dinhut, Arnaud 2009). L'espèce peut se rencontrer entre fin août et mai en phase de nidification. Chaque année, une dizaine d'individus vient pondre sur les plages de Moya 2, Papani et Saziley. Cependant, bien que certains sites soient connus, l'inventaire complet n'est pas encore réalisé et les paramètres biologiques de la population ne sont pas estimés (Philippe et al. 2014).

Pour ces deux espèces, Mayotte est un site qui relève d'une grande importance tant pour le développement des immatures et l'alimentation des adultes, que pour la reproduction. Les effectifs des populations qui nidifient dans la région du SOOI sont d'ailleurs pour la plupart en croissance (Bourjea, Ciccione, Dalleau 2013). Des programmes de suivi des tortues par photoidentification, des femelles reproductrices et de la mortalité ont été développés à La Réunion et sont utilisés à Mayotte avec une base de données commune TORSOOI. Elle permet d'homogénéiser, standardiser et centraliser l'ensemble des réseaux de collecte d'informations relatives à la biologie, l'écologie et le comportement des tortues marines dans le SOOI (Ciccione et al. 2011).

3. Les trois autres espèces

Les autres espèces susceptibles d'être présentes dans les eaux mahoraises sont la tortue caouanne, la tortue Luth et la tortue olivâtre. Cependant, seuls quelques individus sont recensés chaque année et elles ne sont jamais observées en phase de reproduction à Mayotte. Les observations sont généralement faites sur les récifs barrières et internes du lagon et dans les eaux plus océaniques pour les tortues caouanne, et post capture accidentelle pour les tortues luth et olivâtre. En raison du faible nombre d'observations, aucune donnée sur l'évolution des populations de ces espèces à Mayotte n'est disponible (Philippe et al. 2014)

II. Les menaces spécifiques à Mayotte concernant les tortues

Nous avons pu voir dans la partie 1 un certain nombre de problématiques menaçant les tortues marines dans le monde entier. D'après la FAO, en 2004, les populations de tortues vertes de tortues imbriquées dans l'ouest de l'océan Indien ont sévèrement diminué. La mortalité des individus entre la naissance et le stade de reproduction dans cette région est supérieure à 99%. Néanmoins, le taux de fécondité étant fort, cela apparaît moins impactant pour les populations que le braconnage des femelles reproductrices au niveau des plages ou la destruction des nids (*Figure 16*).

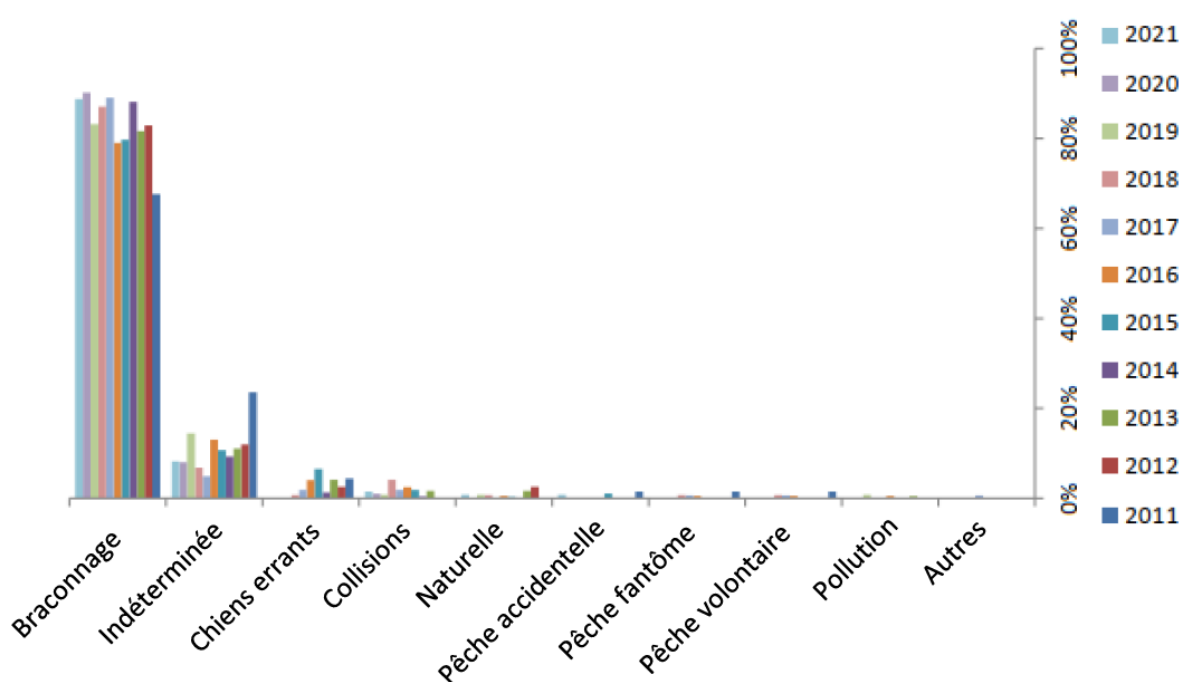


Figure 16 : Evolution des causes de mortalité et de détresse recensées par le REMMAT à Mayotte (Réseau Echouage Mahorais de Mammifères marins et de Tortues marines)

1. Le braconnage

En dépit de la réglementation nationale en vigueur, les tortues demeurent régulièrement victimes de braconnage à Mayotte, ce phénomène constituant la principale cause de décès sur l'île. Il concerne surtout la tortue verte pour la consommation de la chair dans le cadre d'un commerce illégal. Lors de la ponte, ces dernières sont des proies faciles pour les braconniers qui peuvent les retourner sur le dos pour les ouvrir et les vider aisément.

On compte jusqu'à 350 cas de braconnage recensé certaines années, représentant 10% des femelles venant pondre sur les plages de l'archipel. D'après les derniers recensements du

REMMAT (Réseau Echouage Mahorais de Mammifères marins et de Tortues marines), le braconnage semble même être en recrudescence cette année. En effet, en 2022, 137 cas de tortues mortes ou blessées ont été recensés dont 97 cas issus du braconnage. Sur le premier semestre de 2023, 187 cas ont déjà été comptabilisés dont 151 braconnés avec sur les seuls mois de juin et juillet 92 cadavres (PNMM 2023).

Ces chiffres officiels sont de surplus qu'une sous-estimation du nombre réel d'actes de braconnage car uniquement basé sur les traces et ossements laissés sur les plages. De plus, des captures intentionnelles sont également réalisées en mer, confirmées par des enquêtes menées auprès des pêcheurs ainsi que les observations de villageois impliqués dans la nage et la recherche délibérée de tortues marines à l'aide de harpons (Philippe et al. 2014).

Le braconnage est encore très présent à Mayotte pour des raisons culturelles et économiques. La précarité touchant une partie de la population n'aide pas à l'arrêt de la vente illégale en raison du prix de la viande tortue qui peut, selon les témoignages, varier entre 15 et 50 euros le kilogramme. La viande de tortue se mange le plus souvent lors des « tchak tchak » (apéritifs entre hommes), ou d'autres rencontres festives. Il ne s'agit donc pas, dans la plupart des cas, d'une consommation de subsistance liée à une pénurie alimentaire (Oulanga Na Nyamba 2020). De plus, les risques pour la santé de la consommation des tortues n'est pas anodin. En effet, les tortues peuvent accumuler la chélonitoxine dans leur chair, pouvant selon la concentration avoir des conséquences graves voire mortelles pour le consommateur. Plusieurs cas de décès suite à l'ingestion de viande de tortues marines ont déjà été signalés dans la région (Turquet et al. 1999).

Sur les 140 plages de pontes de Mayotte, une cinquantaine est touchée par le braconnage. Les haut-lieux se concentrent dans les quatre coins de l'île, notamment les plages les plus isolées et difficiles d'accès, dont des plages particulièrement affectées dans le Sud (Charifou et Saziley), dans le Nord (îlot M'tsamboro), dans le Nord-Ouest (Apondra, Acoua), dans l'Ouest (Mtsanga Nyamba) et sur Petite Terre avec la plage de Papani (*Figure 17*).

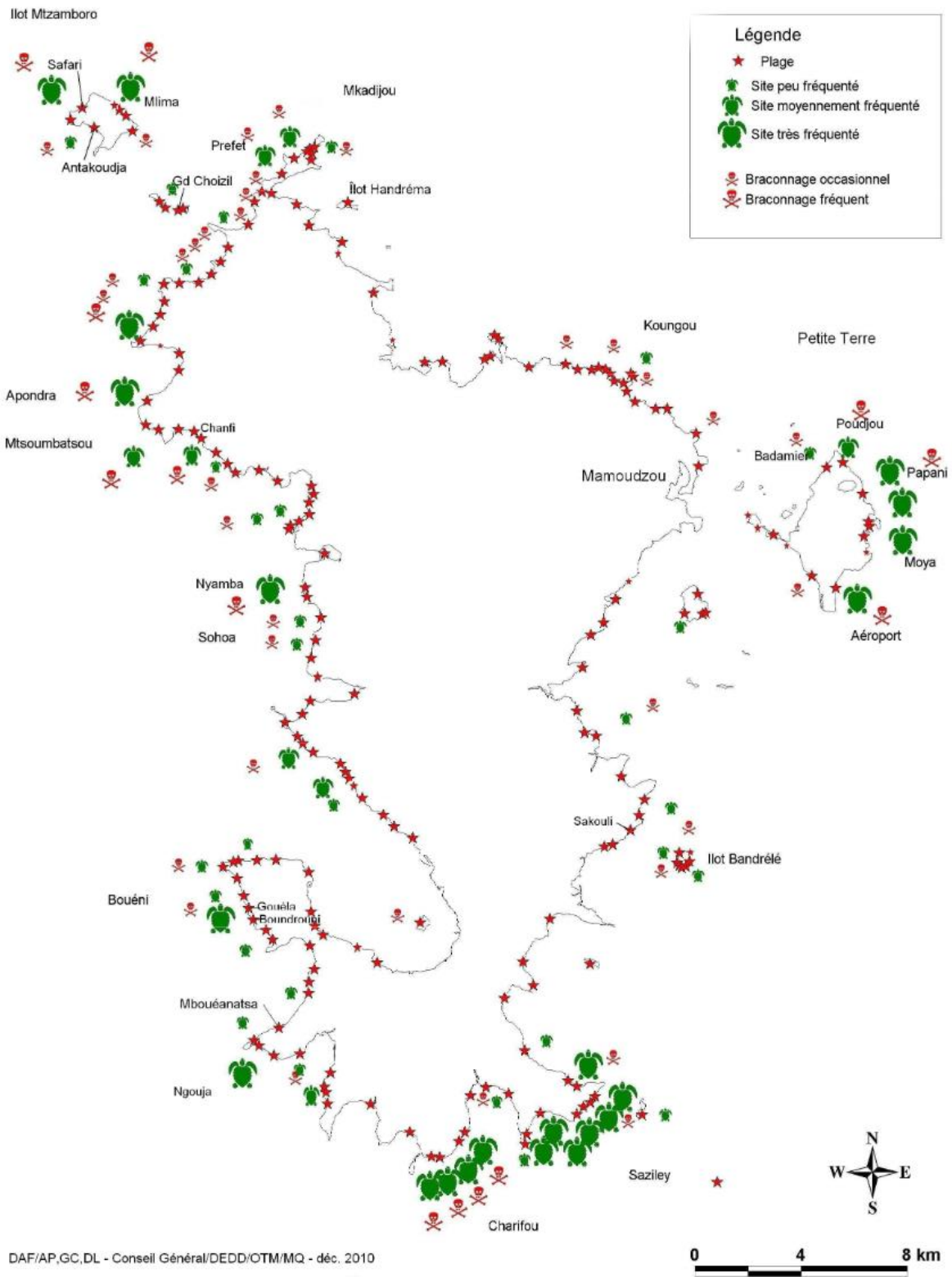


Figure 17 : Sites de ponte des tortues marines et braconnage à Mayotte (Quillard 2012)

2. Les autres menaces anthropiques directes

Les chiens errants sont également un véritable fléau et font des dégâts sur les femelles en ponte et les nids lorsqu'ils déterrent les œufs. C'est la troisième cause de mortalité recensée avec des morts suite aux morsures des femelles et suite à la destruction des nids. En un an, l'inspection d'une cinquantaine de plages mahoraises réalisée tous les 15 jours par les agents du Conseil Général estime à 149 les nids détruits par les chiens (Philippe et al. 2014). Les plus récentes observations du REMMAT montrent que la problématique apparaît régulièrement sur les plages fréquentées par des meutes de chiens errants. Les blessures engendrées sur les adultes sont caractéristiques : des morceaux de peaux sont arrachés entre les épaules et le cou, et à l'arrière entre les nageoires et la queue. Il s'agit des parties de chair que les chiens peuvent atteindre sans risquer d'être atteint par les nageoires puissantes de la tortue qui se débat. Les plaies sont souvent déchirées, difficiles à recoudre. La présence de cicatrices chez les tortues femelles suggère une certaine capacité de survie à la suite d'attaques.

A Mayotte, les captures accidentelles à cause de la pêche sont de l'ordre de 38 à 206 tortues vertes et 9 à 50 tortues imbriquées par an (*Figure 18*). Ce taux annuel pourrait avoir des conséquences dramatiques à court terme au vu du nombre d'individus dans les populations mahoraises, pour le maintien de l'espèce, notamment de tortues imbriquées (Gigou, Dinhut, Arnaud 2009). La palangrotte, technique la plus utilisée à Mayotte, serait responsable de 73% des captures accidentelles. Les filets sont utilisés moins couramment dans le lagon mais serait responsable de 18 % des captures et de 33 % des cas de mortalité par engin de pêche (contre 17 % par la traîne). Parmi les captures documentées, 42% ont lieu sur un herbier et 41% en pleine eau (Philippe et al. 2014). Ainsi, la pêche accidentelle reste une des causes de mortalité importante et des mesures pour limiter l'impact de cette menace sont nécessaires. Pour la pêcherie hauturière (palangre et senne), un programme mené par le SWIOFP (South West Indian Ocean Fishery Project) visant à compléter les connaissances sur le comportement migratoire des tortues marines au niveau régional, permettrait de limiter les interactions (Ciccione et al. 2011).



Figure 18 : Photos d'une tortue imbriquée nécropsiée avec des hameçons et des fils de pêche dans l'œsophage et lésions associées (© Anaëlle Varais – Juin 2023)

3. Les menaces indirectes anthropiques

3.a) Destruction d'habitat

Des menaces indirectes, impactant l'habitat ou les sites de pontes des tortues, sont aussi considérables. A Mayotte, les zones d'alimentation des tortues marines sont détériorées par l'envasement des herbiers marins et des récifs coralliens. Ce phénomène est la conséquence de la gestion agricole sur le territoire : les cultures sur brûlis et sur sols très pentus, associées au défrichement de la végétation naturelle entraînent une érosion des terres arables lors de fortes précipitations. On observe alors une augmentation du dépôt de particules fines dans les eaux du lagon.

Par ailleurs, le développement des activités humaines littorales pèse sur les espèces de tortues marines évoluant à Mayotte. L'urbanisation du littoral peut perturber le cycle de vie des tortues marines en limitant les zones de pontes. La pollution lumineuse engendrée par les installations urbaines représente une menace directe pour les émergentes particulièrement

sensibles aux signaux lumineux pour se repérer dans l'espace et localiser la mer. La lumière artificielle dérange également les femelles au cours de la ponte, qui peuvent s'arrêter et retourner à la mer. Ces dernières préférant les plages non éclairées pour pondre, elles peuvent se retrouver plus nombreuses sur certaines zones et ainsi détruire des nids précédemment creusés par manque de place. Une accentuation de ce phénomène est à prévoir à Mayotte en raison d'un accroissement de l'artificialisation du littoral et du développement des structures touristiques pouvant entraîner une baisse du nombre de pontes et des populations (Claro, Bardonnnet 2011; Philippe et al. 2014).

Enfin, le tourisme qui est en augmentation sur l'île et l'augmentation de la fréquentation des habitats des tortues marines par le public est une menace croissante. Les plages de ponte sont piétinées par les baigneurs et les pêcheurs à pied rendant le sable plus compact et difficile à creuser pour les émergentes lorsqu'elles sortent du nid pour remonter à la surface. De plus, l'attractivité touristique pour les tortues marines augmentant les risques de dégradation des habitats. Par exemple, les plages de pontes de Moya et Grande Saziley accueillent respectivement 6 500 et 3 500 visiteurs de nuit par an et le site de N'Gouja 45 000 visiteurs de jour par an. Dans le lagon, les embarcations nautiques sur le littoral sont en hausse constante, accentuant le risque de collision et de blessures mortelles des tortues par les hélices. La sensibilisation du public et le développement de l'écotourisme sont nécessaires pour limiter les ravages que peuvent avoir les activités humaines sur les individus et leur habitat (Philippe et al. 2014).

3.b) Pollution

Près de 30% des plages de Mayotte sont dégradées par le dépôt de déchets et le déversement des eaux usées dégradant les zones de pontes et d'alimentation.

La pollution par les déchets évoquée précédemment constitue une menace non négligeable pour les tortues marines. L'ingestion de macrodéchets marins est fréquente par ingestion accidentelle ou par confusion avec une source alimentaire. Elle peut provoquer des lésions digestives et des occlusions intestinales. A Mayotte, la quantité de macrodéchets est considérable sur les plages et dans les milieux aquatiques. Cela peut perturber les pontes sur les plages trop encombrées. De plus, le piégeage dans les filets fantômes abandonnés par les pêcheurs entraînant la noyade des tortues est une autre menace. Enfin, l'absence de

ramassage des déchets sur les plages peut avoir pour conséquence la prolifération d'oiseaux prédateurs des œufs et des émergentes.

Par ailleurs, la micropollution de l'eau par la gestion des eaux usées non maîtrisée provenant des rejets domestiques, des rejets agricoles et industriels affecte les milieux aquatiques dans lesquels se retrouvent des phosphates, des traces d'hydrocarbures et des micropolluants issus des macrodéchets en plastique. À Mayotte, le réseau de traitement des eaux usées est inexistant ce qui mène à ce que la moitié des masses d'eau marines du lagon soient de qualité moyenne et un quart d'entre elles soient médiocres (Philippe et al. 2014).

Trente pourcents des plages sont aujourd'hui considérées comme dégradées en raison de l'urbanisation et du déversement des eaux usées.

4. Les menaces naturelles

Bien qu'elles aient moins d'impact sur la mortalité des populations, des menaces naturelles spécifiques à l'île de Mayotte sont présentes.

L'île de Mayotte est volcanique et est rendue au stade de subsidence de son histoire géologique. Cet enfoncement est accéléré depuis la naissance d'un volcan sous-marin à l'est de l'île qui a engendré une crise sismo-volcanique. L'élévation rapide du niveau marin relatif cumulé à l'érosion naturelle des plages peuvent diminuer la taille des plages de pontes et diminuer le succès reproducteur par inondation des nids.

D'autre part, la prédation naturelle des émergentes par les oiseaux (corbeaux-pie et héron) et les crabes est fréquente. Chez les adultes, des attaques par des requins sont documentées mais n'engendrent pas obligatoirement la mort de l'animal.

Les menaces pesant sur les tortues marines dans le SOOI ne sont pas équivalentes dans toutes les régions. L'état des populations n'est également pas identique, avec une population à Mayotte pour la tortue verte considérée comme stable par rapport à la Réunion (*Tableau 2 et 3*). Pour les deux espèces, l'évaluation globale de l'état de conservation semble défavorable à mauvais à cause des menaces. Ainsi les mesures de conservation en place sur les territoires sont adaptées à ces données.

Tableau 2 et 3 : Tableaux récapitulatifs des états de conservation de Chelonia mydas et Eretmochelys imbricata dans le SOOI (Philippe et al. 2014)

Tableau 14: Matrice d'évaluation de l'état de conservation global de la tortue verte, *Chelonia mydas*

	Régionale	Mayotte	La Réunion	Iles Éparses non impactées (TRO/GLO/EUR)	Iles Éparses impactées (JDN)
Statut UICN International	En danger				
Aire de répartition	Favorable	Stable	Population reproductrice: Aire plus de 10 % en dessous de l'aire de répartition de référence favorable		
Effectif	Population reproductrice: population suffisante pour assurer la survie à long terme de l'espèce	Population en reproduction: stable Population en alimentation: inconnu	Population reproductrice: Effectif largement plus de 25 % en dessous de la population de référence favorable		Population très impactée par l'exploitation passée de l'île.
Habitat de l'espèce		Favorable	Forte pression sur les habitats nourriciers, et habitats de pontes non protégés du braconnage, ne permettant pas la survie à long terme de l'espèce	Surface insuffisante pour assurer la survie à long terme de l'espèce	
Perspectives futures (par rapport aux effectifs, à l'aire de répartition et à la disponibilité de l'habitat)	Favorable - croissante	Fort impact des pressions et des menaces sur l'espèce	Fort impact des pressions et des menaces sur l'espèce	impact important des pressions et des menaces sur les aires d'alimentation de l'espèce*	impact important des pressions et des menaces sur les aires d'alimentation de l'espèce*
Évaluation globale de l'état de conservation	FAVORABLE	DÉFAVORABLE A MAUVAIS	DÉFAVORABLE A MAUVAIS	DÉFAVORABLE INADÉQUAT	DÉFAVORABLE

Tableau 15: Matrice d'évaluation de l'état de conservation global de la tortue imbricé, *Eretmochelys imbricata*

	Régionale	Mayotte	La Réunion	Iles Éparses
Statut UICN International	En danger critique d'extinction			
Aire de répartition	Favorable	Informations disponibles insuffisantes	Informations disponibles insuffisantes	Informations disponibles insuffisantes
Effectif	Défavorable - Faible	Informations disponibles insuffisantes	Structure d'âge déviant fortement de la normale	Défavorable - Faible
Habitat de l'espèce	Favorable	Favorable	Mauvaise qualité de l'habitat, ne permettant pas la survie à long terme de l'espèce	Informations disponibles insuffisantes
Perspectives futures (par rapport aux effectifs, à l'aire de répartition et à la disponibilité de l'habitat)	Population reproductrice: impact des pressions et des menaces sur l'espèce; Perspective mitigée de maintien à long terme	Fort impact des pressions et des menaces sur l'espèce	Fort impact des pressions et des menaces sur l'espèce	Perspective mitigée de maintien à long terme
Évaluation globale de l'état de conservation	STABLE À DÉFAVORABLE	DÉFAVORABLE À MAUVAIS	DÉFAVORABLE À MAUVAIS	DÉFAVORABLE INADÉQUAT

III. Les mesures de conservation en place sur le territoire

Plusieurs organismes permettent à l'échelle locale de mener des actions en faveur de la conservation des tortues marines en plus de la réglementation garantissant leur protection (Cf. Partie1.B.III.1). La complexité réside dans la diversité des origines des menaces que subissent les populations. Une surveillance et une sensibilisation dans les sites fréquentés par ces espèces permet dans un premier temps de limiter les cas de braconnage et de dérangement des individus. Un dialogue avec les pêcheurs peut être instauré pour limiter les captures accidentelles ou intentionnelles. La préservation des habitats et notamment des sites de pontes est d'un intérêt majeur (Philippe et al. 2014).

1. Sites protégés

La protection des habitats des tortues à Mayotte repose sur trois arrêtés préfectoraux : au sein du Parc de Saziley (n°518/SG du 08 avril 1991), sur le site de N'Gouja (n°40/DAF du 11 juin 2001) et sur la plage de Papani (n°42/DAF du 05 août 2005) (Gigou, Dinhut, Arnaud 2009; Philippe et al. 2014). A N'Gouja par exemple, la pratique et la navigation des planches nautiques tractées par voile est réglementé par un arrêté municipal (12 octobre 2010, n°62/CCK). Le Conservatoire du Littoral maîtrise foncièrement les sites de ponte majeurs (Saziley, Moya, Charifou et Papani).

Sur le plan local, les forces publiques et l'ensemble des agents assermentés sont mandatés par l'Etat pour assurer le suivi et le respect des règles de protection des tortues marines. La Collectivité de Mayotte doit seconder ce travail de préservation des habitats.

2. Le Plan National d'Action

En raison du statut critique de conservation des tortues marines, la France a mis en place des plans nationaux d'action dans plusieurs territoires d'Outre-Mer dont ceux de la région du SOOI. Ils sont mis en œuvre localement avec tous les acteurs concernés conjointement aux programmes de conservation régionaux.

Le PNA du SOOI couvre l'ensemble des zones économiques exclusives de 3 territoires français, à savoir Mayotte, La Réunion et les Iles Éparses. Sa réalisation et son animation ont été placées sous la responsabilité de la DEAL de La Réunion, avec l'appui de la DEAL de Mayotte

et de la préfecture des TAAF. Il a permis de planifier les actions sur une durée de 5 ans (2015-2020) et n'a pas encore été renouvelé.

Au total pour Mayotte, 17 actions ont été retenues, associées aux 12 actions proposées dans le plan régional. Tout d'abord, il vise à réduire la mortalité des tortues marines liée aux activités humaines en proposant des actions de surveillance et de lutte des principales menaces. Il cherche ensuite à protéger et restaurer les habitats prioritaires des tortues marines, à parfaire la connaissance de la biologie et de l'écologie des populations de tortues marines et de sensibiliser la population aux enjeux de conservation de ces espèces. Des niveaux de priorité, une planification annuelle et des coûts prévisionnels ont été assignés à chaque objectif. Par exemple, le volet « renforcer les actions de surveillance et de contrôle » comprend un renforcement des actions de surveillance et de contrôle par la police, la surveillance anti braconnage des principaux sites de ponte et la formation de relais villageois. Il représente une des mesures prioritaires à Mayotte (Philippe et al. 2014).

Un bilan en 2022 du Conseil National de la Protection de la Nature souligne le très bon taux d'engagement des actions prévues et leur réalisation aussi bien au niveau des trois territoires qu'au niveau régional (Bigan 2022).

3. Le Parc Naturel Marin et le REMMAT

Le Parc Naturel Marin de Mayotte (PNMM) est le premier parc naturel marin des outre-mer et a été créé en 2010 après deux années de concertation avec la population mahoraise. Il couvre le lagon de Mayotte ainsi que les eaux du large, soit plus de 69 000 km² (*Figure 19*). Il a pour objectif de concilier la protection du milieu marin mahorais et le développement durable des activités qui s'y déroulent.

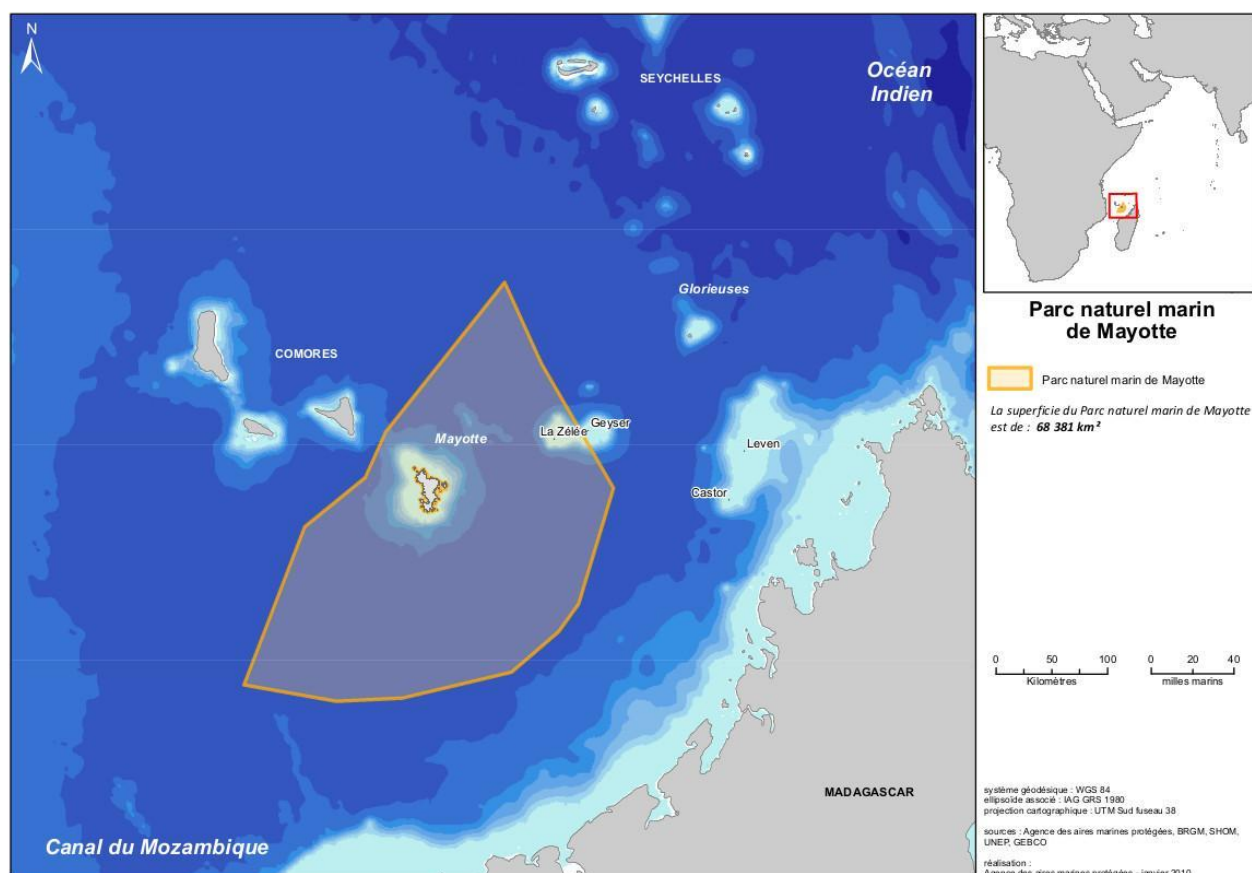


Figure 19 : Zone géographique du Parc Naturel Marin de Mayotte (PNMM 2013)

Plusieurs missions globales sont assignées au PNMM dans la protection du milieu marin autour de Mayotte.

Tout d’abord, il a pour objectif de faire de Mayotte un pôle d’excellence en matière de connaissance et de suivi des écosystèmes marins tropicaux et de la mangrove. Cet axe se traduit pour les tortues marines par une collecte de données sur les herbiers, permettant d’initier en 2020 un suivi de l’état de santé de ces habitats et de la faune et la flore associées. De plus, le Parc contribue au programme de recensement des tortues marines qui nidifient à Mayotte par le suivi régulier des traces de pontes. Celui-ci se fait à pied, sur la plage Titi Moya, et en ULM sur l’ensemble des plages de Mayotte, à raison de deux survols par mois depuis août 2019. Le comptage, par drone, des tortues s’alimentant sur les herbiers a été expérimenté, de même que l’utilisation de balises Argos et de caméras miniatures fixées sur la carapace, pour l’étude du comportement des tortues vertes juvéniles dans les habitats côtiers. Inauguré en 2015, TsiÔno (« j’ai vu » en shimaoré, langue locale à Mayotte) s’inscrit dans une démarche de sciences participatives visant à recueillir les observations des usagers de la mer pour mieux comprendre la biologie marine sur le territoire.

Des actions visant l'amélioration de la qualité de l'eau dans le lagon, d'accompagnement au développement des activités de pêche et de loisirs dans une vision respectueuse de l'environnement permettent la préservation des habitats des tortues marines. La mise en valeur du patrimoine naturel par la sensibilisation et la formation est l'un des piliers du PNNM. Par exemple, depuis 2012 le Parc a installé soixante-dix-huit dispositifs d'amarrage écologiques dans le lagon, dont dix-huit dans la passe en S. Mis à disposition des usagers gratuitement, pour une durée maximale de 24 heures, ils permettent d'éviter l'ancrage sauvage et la dégradation des herbiers et des récifs coralliens.

Les agents du Parc font également office de police de l'environnement pour faire respecter la réglementation dans les espaces protégés. Dans la passe en S, une surveillance spécifique est organisée pour cette réserve pour contrôler les pêches et lutter contre le braconnage.

D'autre part, face à la nécessité de mettre en place une structure coordinatrice du suivi à long terme des mortalités et détresses des tortues marines et des mammifères marins, le Réseau Échouage Mahorais des Mammifères marins et des Tortues marines est créé en 2010. Ce réseau de science participative appelle le grand public à contribuer en signalant les animaux en détresse ou morts. Le Parc participe en tant que membre et animateur du réseau aux missions de sauvetage des animaux vivants, à la gestion des animaux morts, aux éventuels examens et prélèvements. Les données acquises sur ces animaux permettent de recenser les menaces principales pesant sur eux, qu'elles soient naturelles ou liées à l'action de l'homme. Par la mise en place d'une astreinte téléphonique permanente, il permet des interventions précoces pour les tortues marines en détresse. Ainsi, sur les 178 tortues marines en détresse signalées entre 2011 et 2019 dans le cadre du REMMAT, 37 ont été soignées avant d'être remises à l'eau (Parc Naturel Marin Mayotte 2021).

4. L'association Oulanga Na Nyamba

Créée en 1998, l'association Oulanga na Nyamba (ONN) s'engage activement pour la protection de l'environnement (« Oulanga ») et en particulier des tortues marines (« Nyamba ») à Mayotte. La tortue marine, en tant qu'espèce emblématique et sentinelle du bon état des milieux marins, représente pour l'association un symbole de la préservation au sens large des richesses naturelles mahoraises. L'association porte un message important : le respect de l'environnement doit faire partie intégrante du développement socio-économique de l'île.

Les actions de l'association s'inscrivent dans trois volets qui sont la connaissance, la sensibilisation et la protection.

Tout d'abord, le pôle connaissance permet de comprendre l'évolution des populations de tortues marines à Mayotte. Un suivi des sites de pontes est effectué par les membres de l'association afin de connaître la fréquentation des femelles pondeuses sur les plages de Mayotte et d'estimer l'évolution du nombre de pontes à l'échelle du territoire. Il passe par un comptage des traces et une estimation du succès de ponte en observant la forme des traces. Ce suivi régulier permet également le recensement des cas de braconnage pour les signaler au réseau REMMAT. Par exemple, sur la plage de Papani un suivi bimensuel est organisé. Cette plage constitue un hot spot pour la nidification et donc pour le braconnage. En 2019, 61 cadavres ont été recensés rien que sur cette plage, sur la période de janvier à mai (Oulanga Na Nyamba 2020). En tout, ce sont 300 cas de braconnage qui ont été recensés par ONN de 2018 à 2022. D'autre part, un suivi des sites d'alimentation et des individus par photo-identification permet d'évaluer les évolutions des populations en phase d'alimentation. Les données recueillies par l'association sont enregistrées dans la base régionale TORSOOI et partagées avec le réseau TsiÔno du PNMM.

Le pôle sensibilisation est également très actif via des actions de transmission de connaissance théoriques et de méthodes d'accompagnement pratiques. ONN intervient auprès de différentes structures pédagogiques permettant la sensibilisation de 6000 élèves en 2022 à la préservation de la tortue. Par ailleurs, l'association organise des sorties d'observation des pontes de tortues marines avec la formation de bénévoles pour l'encadrement de ces sorties. En moyenne, trois sorties sont organisées tous les 15 jours en soirée sur la plage de Moya pour un maximum de 10 participants. Ces sorties s'inscrivent dans une dynamique d'écotourisme permettant parallèlement une action de sensibilisation aux personnes participantes. L'observation se fait sans déranger les animaux présents avec des mesures limitant la perturbation possible du phénomène de ponte (absence de lumière, vêtements sombres, limitation des bruits) (Oulanga Na Nyamba 2020).

Enfin, le pôle protection s'inscrit dans le Pacte de Sauvegarde des Tortues marines de Mayotte signé en décembre 2020 par l'association. Une équipe de 12 personnes a donc été constituée pour prévenir le braconnage sur des plages à fort enjeu. Ainsi, les équipes ont pu être présentes sur les plages pendant 326 nuits, permettant le sauvetage de sept tortues,

l'interpellation de douze suspects et la condamnation de dix braconniers. Ces actions nécessitent des moyens humains et une organisation importante. D'autres organismes effectuent des actions anti-braconnage mais n'ont pas beaucoup d'agents disponibles ni de moyens mis en place (Service Départemental de l'OFB, Conseil Départemental et PNMM). Les services Gendarmerie et des Douanes sont également compétents mais sont assignés généralement sur d'autres missions prioritaires. ONN apporte donc une valeur ajoutée non négligeable dans ces actions de surveillance et de contrôle du braconnage, première cause de mortalité des tortues à Mayotte.

Dans un contexte où le premier Plan National d'Action en faveur des tortues marines s'est terminé à la fin de l'année 2020, le maintien d'une coordination entre acteurs du territoire a été assurée par ONN via l'animation de groupes de travail (GT) thématiques qui permettent de fédérer les acteurs et de coordonner leurs actions.

Des actions pour la préservation des habitats sont également organisées. Le projet POLLUMAY projette l'élaboration d'un guide d'accompagnement à destination des collectivités locales et porteurs de projets pour un éclairage raisonné du littoral et une limitation de la pollution lumineuse. De plus, des opérations de nettoyage, en lien avec un objectif de sensibilisation de la population locale aux problématiques environnementales, sont programmées plusieurs fois dans l'année (Oulanga Na Nyamba 2020).

Oulanga Na Nyamba est un véritable pilier de la protection des tortues marines à Mayotte. Cela est confirmé par la création du centre de soin la Kaz'a Nyamba par l'association (décrit en détail dans la partie 4), enrichissant l'île d'un aspect de protection présentement manquant.

PARTIE 3 : Etude de l'alimentation en milieu captif

A. ETUDE DES CENTRES DE SOINS POUR TORTUES MARINES

Nous nous concentrons ici sur un seul type de structure pouvant accueillir des tortues en captivité, les centres de soins et de réhabilitation en milieu naturel. Les zoos et aquariums gardant les tortues en captivité pour de très longues périodes ou encore les « fermes à tortues marines » telles que la Cayman Turtle Farm réalisant un élevage de tortues marines pour commercialiser la viande de tortue ne seront cités uniquement pour illustrer certains concepts.

Pour apporter des informations supplémentaires à la littérature, une journée d'observation à l'aquarium de la Rochelle et notamment au CESTM (Centre d'Etudes et de Soins pour les Tortues Marines) a été réalisé en Avril 2023. Lors de cette journée, des données sur l'alimentation et les protocoles de réhabilitation ont été collectées. De plus, un questionnaire a été diffusé via la STRA (Sea Turtle Rescue Alliance) dont une seule réponse du centre de soin des Maldives a été reçue.

I. Importance des centres de soins dans la conservation des tortues marines à l'échelle planétaire

La conservation des espèces menacées compte plusieurs axes d'action et les centres de soins et de réhabilitation en font partie. Ils sont une solution lorsque des animaux sauvages en détresse sont retrouvés et peuvent être potentiellement soignés pour être relâché ultérieurement dans leur milieu naturel. Pour les tortues marines, il en existe plusieurs centaines à travers le monde et notamment dans les zones à forte densité de tortues marines, telles qu'autour de la mer des Caraïbes ou de la mer Méditerranée. A mesure que la pression anthropique augmente sur les littoraux, les rencontres entre humain et tortues marines augmenteront aussi, justifiant la nécessité de ces centres (Wood 2022).

La réhabilitation de la faune sauvage consiste à traiter les animaux blessés, malades ou orphelins et à les relâcher dans la nature afin de renforcer les populations d'animaux sauvages. Les activités des centres de soins se concentrent surtout sur les traitements cliniques et chirurgicaux des individus blessés ou malades impliquant une prise en charge en captivité pendant plusieurs semaines voire plusieurs mois. Les sauvetages individuels sont importants notamment dans des régions où les populations sont petites, telles que les tortues imbriquées

dans le golfe Persique, en raison de leur faible nombre de reproducteurs et de leur faible variabilité génétique. (Baker, Edwards, Pike 2015; Escobedo-Bonilla, Quiros-Rojas, Rudín-Salazar 2022). Par ailleurs, de nombreux centres prennent les nids pour élever les jeunes et favoriser leur survie.

En outre, la deuxième activité d'un centre de soin est la sensibilisation du public envers les problématiques que subissent les espèces menacées et la protection de l'environnement. Ainsi, malgré les coûts que peuvent représenter une telle structure et la question de l'impact réel du sauvetage de quelques individus dans la sauvegarde de l'espèce, les centres de réhabilitation sont un véritable levier pour la conservation. Cette dernière ne peut pas se faire sans l'éducation des populations humaines sur leurs pratiques qui contribuent inévitablement à la disparition de la faune sauvage, notamment sur les tortues marines où la pollution plastique, les pratiques de la pêche et le dérèglement climatique jouent un rôle majeur dans leur perte (Escobedo-Bonilla, Quiros-Rojas, Rudín-Salazar 2022).

II. Fonctionnement des centres de soins

1. Causes d'admission

Les blessures suite à un traumatisme sont l'une des raisons les plus courantes de détresse des tortues de mer, incluant les morsures de prédateurs, les prises accidentelles et les collisions avec des bateaux (Hernandez, Claudett 2021). Au centre de soin de la Réunion, Kélonia, la pêche accidentelle représente 77,8% des causes d'admission (Cruciani 2017).

Dans certaines régions comme l'Atlantique Nord, le phénomène de « cold stunning » ou « hypothermie traumatique » est une cause primaire d'échouage. Cela intervient lorsque la température de l'eau descend en dessous de 10°C, les tortues deviennent alors désorientées et faibles et peuvent déclencher une immunosuppression. Dans certains cas, le « Debilitated Turtles Syndrome » ou syndrome de la tortue affaiblie peut survenir comprenant émaciation, anémie, léthargie, hypoglycémie et couverture par des épibiontes inoffensifs (Hernandez, Claudett 2021).

Des troubles gastro-intestinaux ou pulmonaires peuvent également être en cause, déclenchant des problèmes de flottaison.

La majorité du temps, les causes d'échouage et donc d'admission sont indéterminées lorsqu'il ne s'agit pas de traumatisme facilement identifiable.

2. Etapes de soin

Selon la capacité de la structure, les soins conférés aux tortues diffèrent d'un établissement à un autre (Davis 2021). Cependant, lors de l'arrivée d'une tortue, la première étape reste de faire un examen clinique classique. Cela permet de statuer sur l'état de l'animal et de l'urgence de la situation afin d'administrer des premiers traitements si nécessaires. Une pesée et des mesures de la carapace sont réalisées ainsi que des photographies de l'animal. Ensuite, des examens complémentaires (radiographie, prise de sang, etc.) peuvent être effectués en fonction de leur utilité pour le diagnostic. Aux Etats-Unis, la réhabilitation des tortues de mer est réglementée et contrôlée par le Fish and Wildlife Service (FWS) qui détermine pour toutes les installations les protocoles à suivre.

Au cours du séjour de chaque individu, un suivi précis doit être effectué : appétit, qualité des excréments et traitements doivent être notés quotidiennement. La qualité de l'eau doit également être surveillée car elle peut jouer sur l'état des individus. La durée des soins dépend de l'état de la tortue, des soins prodigués et de sa capacité potentielle à se réadapter à son milieu naturel.

La remise en liberté est l'ultime étape de la réhabilitation et doit être effectuée dès que l'état de la tortue lui permet de retourner à son environnement naturel. D'après Bluvias et Eckert, un individu peut être relâché si aucun soin ne lui a été prodigué depuis deux semaines et qu'il n'en a plus besoin, qu'il mange activement par lui-même, qu'il a un poids stable adapté à sa taille et qu'il peut s'immerger et se mouvoir dans l'eau et sur la terre ferme normalement (Bluvias, Eckert 2010). Ces recommandations sont suivies pour la plupart des centres de soins, notamment Te Mana o te Moana en Polynésie française ou dans des centres en Méditerranée. A Kélonia, centre de soin de la Réunion, la remise en liberté se fait au moins un mois après une amputation ou l'ingestion d'un hameçon et jusqu'à quatre à dix mois pour des problèmes de flottabilité. Au CESTM de l'Aquarium de la Rochelle, les tortues restent en général plusieurs mois sur place pour avoir de bonnes conditions de température pour le relâché (*obs. pers.*)

III. Enjeux de la réhabilitation

1. Succès de réhabilitation

Maximiser au mieux le taux de réussite en améliorant les pratiques dans les structures de soins et de réhabilitation en fonction de la biologie des espèces est fondamental pour contribuer au mieux à leur conservation.

Des études sur les succès de réhabilitation suggèrent que la proportion d'animaux relâchés peut être faible dans certains centres. Dans leur étude en Floride, Baker, Edwards & Pike (2015) ont constaté que 63 % des tortues de mer admises dans des centres de réhabilitation n'étaient jamais relâchées dans la nature, et que les animaux relâchés (37 %) avaient souvent besoin de longues périodes de réhabilitation, allant de quelques mois à plus de trois ans. Les tortues adultes semblent avoir plus de chances de survivre que les juvéniles (Baker, Edwards, Pike 2015). Dans le Queensland en Australie, les résultats de réhabilitation sur une période de 18 ans montrent que 59 % des tortues échouées vivantes ont été réhabilitées, et parmi elles, 39,5 % ont été relâchées, 43,7 % sont décédées en soins, et 16,8 % ont été euthanasiées (Flint et al. 2017). Des taux plus élevés de réussite ont été obtenus en Caroline du Nord avec 77,3% des tortues marines relâchées après réhabilitation (Stevens 2019) et 86,29% sur l'île de Grande Canarie en Espagne (Escobedo-Bonilla, Quiros-Rojas, Rudín-Salazar 2022). Ces écarts peuvent s'expliquer par des causes d'admission et d'échouage qui diffèrent selon les zones du globe et des durées de séjours et de prise en charge variées. En tout état de cause, pour des espèces aussi menacées que les tortues marines, un individu soigné peut grandement contribuer à la survie d'une population.

De plus, il est difficile de connaître la proportion d'animaux qui survivent après avoir été relâchés et la durée de leur survie. Une étude a montré qu'après leur libération dans leur habitat naturel, la plupart des tortues réhabilitées ont présenté un comportement de dispersion semblable à celui des tortues sauvages en cherchant des sites pour se nourrir ou se reproduire, encourageant la mise en œuvre des centres de soins (Escobedo-Bonilla, Quiros-Rojas, Rudín-Salazar 2022).

Finalement, les efforts de réhabilitation doivent être correctement alloués pour limiter la balance entre coûts et taux de réussite. La priorité doit être dans l'éducation du public et dans la recherche scientifique pour réduire en amont les échouages. Développer un triage efficace

si le nombre d'individus dépasse la disponibilité des ressources en faveur des individus qui seront le plus facile à réhabiliter est également primordial (Baker, Edwards, Pike 2015; Flint et al. 2017). Il y a par exemple un intérêt majeur à développer des biomarqueurs de santé qui soient efficaces et qui contribuent de manière significative à la prise de décision éclairée concernant les soins de chaque individu lors de leur réhabilitation (Melvin et al. 2021). Enfin, il est nécessaire de connaître les inconvénients de la tenue en captivité afin de pallier aux désagréments que peut engendrer celle-ci sur les individus et sur leur potentielle réhabilitation.

2. Inconvénients du milieu captif et solutions

La détention des tortues marines en captivité pour des protocoles de soins apporte son lot d'inconvénients. Ce sont des animaux sauvages qui ont l'habitude de parcourir de grandes distances pour entretenir leurs besoins physiologiques. Les centres de soins ne sont qu'un lieu temporaire de captivité mais certains aspects doivent être pris en compte dans la prise en charge pour le bien être des individus.

Le stress lié au milieu captif avec l'impossibilité d'exprimer un comportement physiologique est l'un des principaux axes à considérer. Par exemple, à la Cayman Turtle Farm où la densité d'individus est importante, des problèmes d'agressivité entre congénères ont été observés (Arena, Warwick, Steedman 2014). Les facteurs de stress tels qu'un défaut dans la salinité, la pollution, la température, les traumatismes nutritionnels ou physiques déclenchent la production de corticostérone, qui diminue les mécanismes humoraux et/ou à médiation cellulaire, inhibant la capacité du système immunitaire à répondre aux pathogènes infectieux (Hernandez, Claudett 2021). Le stress peut également perturber les taux de glucose sanguin et altérer la fonction des glandes salines (Milton, Lutz 2002). Il est ainsi primordial de connaître au maximum les variables environnementales dans lesquelles évoluent les tortues dans leur milieu naturel pour les reproduire en milieu captif. Des données sont disponibles pour sélectionner au mieux les bassins, les paramètres environnementaux (température, salinité, pH, lumière) ainsi que les modalités de transport et de soins (Higgins 2002; Bluvias, Eckert 2010).

L'enrichissement de l'environnement avec des dispositifs simples tels que des tuyaux en PVC ou un grattoir à carapace permet de réduire la récurrence des comportements anormaux

et augmenter la diversité des comportements en favorisant l'utilisation positive de l'environnement (*Figure 20*) (Wood 2022; Escobedo-Bonilla, Quiros-Rojas, Rudín-Salazar 2022). Une étude montre même une préférence d'interaction des tortues vertes juvéniles selon la forme de l'enrichissement proposé, les objets en forme d'anneau étant leurs favoris (Kanghae et al. 2021). Pour les tortues imbriquées, la présence de rochers dans l'environnement captif réduit efficacement les comportements agressifs (Kawazu, Suzuki, Maeda 2022). L'enrichissement peut également aider les tortues réhabilitées dont les nageoires ont été amputées et/ou les tortues captives de longue date à être relâchées avec succès dans la nature pour y exercer leurs fonctions biologiques et probablement s'intégrer plus facilement dans leur environnement naturel, contribuant ainsi à la conservation de l'espèce (Escobedo-Bonilla, Quiros-Rojas, Rudín-Salazar 2022).

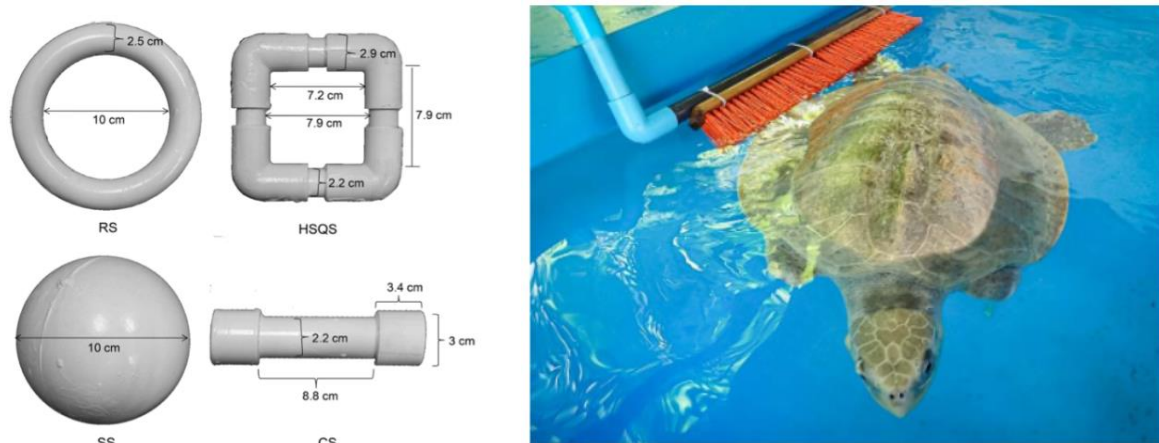


Figure 20 : Enrichissements possibles avec des tuyaux en PVC (à gauche) et un grattoir à carapace avec une brosse (à droite) (Hernandez, Claudett 2021)

D'autre part, les tortues marines évoluant dans des bassins fermés pour la plupart des centres, des systèmes de pompage performant et un nettoyage régulier des bassins doivent être effectués pour éviter le développement de pathogènes potentiels dans l'environnement. En plus d'être un danger pour les populations en soin, cela peut être également néfaste pour les populations sauvages par le biais des spécimens relâchés ou de l'évacuation des eaux usées (Arena, Warwick, Steedman 2014; Baker, Edwards, Pike 2015).

Limiter l'imprégnation humaine est un autre enjeu de la captivité temporaire d'animaux sauvages. En effet, un centre de soin est par définition un lieu où l'Homme va interagir avec l'animal pour lui procurer des traitements. Cependant, le but final étant la remise en liberté,

les interactions doivent être limitées pour maximiser leurs chances de survie après relâcher dans le milieu naturel.

Toutes ces problématiques interviennent dans l'alimentation en milieu captif, le bien-être des animaux et leur imprégnation faisant partie intégrante des questions à se poser lors de la distribution des rations.

B. ALIMENTATION UTILISEE EN MILIEU CAPTIF

Les connaissances en termes d'alimentation des tortues marines en captivité sont encore partielles et aucun protocole précis n'a été publié. De nombreuses études sur l'optimalité de la ration alimentaire des émergentes ont été publiées (Hadjichristophorou, Grove 1983; Kanghae et al. 2014; Kanghae, Thongprajukaew, Yeetam, et al. 2017). Dans la mesure où les émergentes ne seront pas accueillies au centre de soin, la spécificité de leur alimentation ne sera pas évoquée. Nous nous intéresserons ici à ce qui est fait dans les structures du monde entier pour avoir des lignes directrices pour la création des rations pour le centre de soin de Mayotte.

I. Types d'aliments

Dans un contexte de réhabilitation des animaux, l'une des priorités est la reprise rapide de l'appétit pour gagner en état. Il est fortement recommandé d'offrir aux tortues marines un assortiment d'aliments. Cela favorise une nutrition adéquate avec un panel de nutriments plus grand et des appétences variées, mais cela ressemble davantage à la variété d'aliments et de proies qu'elles rencontreraient et consommeraient dans la nature (Bluvias, Eckert 2010). L'apport en calories, en vitamines C et E et en minéraux, notamment le calcium sont les variables à privilégier dans l'établissement d'une ration.

1. Tortues vertes

A partir du stade juvénile benthique, les tortues vertes adoptent un régime herbivore en milieu naturel avec consommation occasionnelle de matière animale (cf. PARTIE 1).

En captivité, les tortues marines ont un comportement alimentaire opportuniste et dans une grande partie des centres de soins, un régime à base de poissons, crevettes et calamars est donné. Cette pratique a l'avantage d'offrir une ration riche en énergie permettant une prise

de poids rapide pour contrer l'émaciation. De plus, elle est souvent très appétente pour les tortues. Les calamars sont connus pour être un aliment de choix pour administrer des médicaments ou inciter la reprise d'appétit. Néanmoins, les régimes alimentaires à base de calamars uniquement sont riches en phosphore et pauvre en calcium, ce qui ne correspond pas aux besoins des tortues vertes et doit donc être évité pour des rations sur le long terme au risque de provoquer des maladies osseuses métaboliques. En effet, le ratio calcium/phosphore (ratio Ca :P) est de 0.1 :1 tandis que les valeurs optimales chez les tortues marines sont estimés entre 1 :1 ou 2 :1 (Bluvias, Eckert 2010).

Par ailleurs, les tortues nourries exclusivement ou majoritairement avec des produits de la mer montrent un microbiote intestinal plus apte à digérer les protéines animales que les polysaccharides des végétaux. Cela pourrait influencer sur la survie des tortues réhabilitées dans leur milieu naturel car leur microbiote s'est adapté à un régime beaucoup plus carnivore et elles risquent ainsi de ne pas assimiler aussi efficacement les nutriments de leur alimentation naturelle (Bloodgood et al. 2020). L'auteur préconise une transition vers un régime à base de végétaux le plus rapidement possible afin de restaurer une flore gastro-intestinale normale avant la remise en liberté.

Au vu de la nature principalement herbivore des tortues vertes, certains centres de soins les nourrissent en premier lieu avec des végétaux. Dans le centre de soin des Maldives, de la laitue est distribuée (*questionnaire personnel*). Les recommandations de Bluvias et Eckert (2010) se penchent sur le fait que la composition de la laitue romaine est assez éloignée de l'herbe marine majoritairement broutée par les tortues vertes, *Thalassia testudinum* (Figure 21). Par conséquent, il est nécessaire de fournir une alimentation à base de végétaux variés tels que les poivrons, le concombre ou le chou qui sont plus proches en termes de nutriment aux végétaux prélevés naturellement par les tortues vertes.

Dans le Georgia Sea Turtle Center décrit par Bloodgood et al. (2020), les tortues vertes sont nourries avec une diversité de végétaux (de la laitue romaine et de la laitue à feuilles (*Lactuca sativa*), du concombre (*Cucumis sativus*), du poivron vert (*Capsicum annuum*)) et de produits animaux (du maquereau (*Scomber scombrus*), du hareng (*Clupea harengus*), des crevettes (*Penaeus spp.*), calmar (*Loligo opalescens*)) ainsi qu'un ajout de vitamines et en calcium. Dans l'étude de Melvin et al. (2021) ayant lieu au centre de réhabilitation Dolphin Marine Rescue en Australie, les animaux ont d'abord eu une alimentation à base de produits de la mer variés

(calamar, merlan). Ensuite, dans les bassins préalables à la libération, le régime alimentaire est progressivement modifié pour inclure des légumes verts tels que la laitue romaine, le chou chinois (Pé-tsaï) et le chou frisé. A Kélonia à la Réunion, une ration composée de légumes locaux tels que les chouchoux (*Sechium edule*), les brèdes chinoises (*Brassica rapa subsp. pekinensis*), les endives (*Cichorium intybus var. foliosum*) et de chou (*Brassicaceae*) est apportée quotidiennement ainsi qu'une ration de poissons essentiellement composée de maquereaux (*Scomber colias*), de thon (*Thunnus albacares*), de crevettes (*Metapenaeus monoceros*) non décortiquées et de calamars (*Loligo opalescens*). Les tortues vertes (Cm) juvéniles des bassins collectifs n'ont généralement pas ou très peu de poissons (Cruciani 2017).

TABLE 1:
Comparison of *Thalassia testudinum* and Some Captive Green Sea Turtle Foods

	Prep	Water (%)	Protein (g)	Fat (g)	Carbs (g)	Fiber (g)	Ash (g)	Ca (mg)	P (mg)	Fe (mg)	Na (mg)	K (mg)	
Thalassia		12.9	1.5	0.35	3.8	0	4.78	50	40	1.65	75	165	
Peppers	Green Int	Raw	93.4	1.2	0.2	4.8	1.4	0.4	9	22	0.7	13	213
	Red Int	Raw	90.7	1.4	0.3	7.1	1.7	0.5	13	30	0.6	---	---
Parsnips	Frozen	80.7	5.4	0.3	12.8	1.9	0.8	20	90	2	129	150	
	Raw	78	6.3	0.4	14.4	2	0.9	26	116	1.9	2	318	
Cucumber	Not pared	Raw	95.1	0.9	0.1	3.4	0.6	0.5	25	27	1.1	6	160
	Pared	Raw	95.7	0.6	0.1	3.2	0.3	0.1	17	18	0.3	6	160
Cabbage	Raw	92.4	1.3	0.2	5.4	0.8	0.7	49	29	0.4	20	233	
	Chinook	Raw	95	1.2	0.1	3	0.6	0.7	43	40	0.6	23	253
Shrimp	Raw	78.2	18.1	0.8	1.5	---	1.4	63	166	1.6	140	220	
	Frozen	65	12.3	0.7	19.9	0.1	2.1	38	111	1	---	---	
Lettuce	Crisphead	Raw	95.5	0.9	0.1	2.9	0.5	0.6	20	22	0.5	9	175
	Cos	Raw	94	1.3	0.3	3.5	0.7	0.9	68	25	1.4	9	264
	Looseleaf	Raw	94	1.3	0.3	3.5	0.7	0.9	68	25	1.4	9	264
	Butterhead	Raw	95.1	1.2	0.2	2.5	0.5	1	35	26	2	9	264
Carrot	Raw	88.2	1.1	0.2	9.7	1	0.8	37	36	0.7	47	341	
Broccoli	Frozen	90.7	3.3	0.2	5.1	1.1	0.7	43	60	0.7	13	244	
	Raw	89.1	3.6	0.3	5.9	1.5	1.1	103	78	1.1	15	382	
Cauliflower	Raw	91	2.7	0.2	5.2	1	0.9	25	56	1.1	13	295	
Endive	Raw	93.1	1.7	0.1	4.1	0.9	1	81	54	1.7	14	294	
Clams	Soft	Raw	80.8	14	1.9	1.3	---	2	---	183	3.4	36	235
	Hard	Raw	79.8	11.1	0.9	5.9	---	2.3	69	151	7.5	205	311
Perch	Yellow	Raw	79.2	19.5	0.9	0	0	1.2	---	180	0.6	68	230
Mazuri Gel	Herbivore	---	30.3	4.5	---	4.9	12.3	2.52	1.6	0.52	0.9	0.85	
	Omnivore	---	40.7	12.7	---	1.9	10.9	2.72	1.44	0.47	0.9	0.85	
Squid	Raw	80.2	16.4	0.9	1.5	---	1	12	119	0.5	---	---	
Scallops	Raw	79.8	15.3	0.2	3.3	---	1.4	26	208	1.8	255	396	
Spinach	Chopped	Frozen	91.6	3.1	0.3	3.8	0.8	1.2	113	45	2.1	57	354
	Leaf	Frozen	91.3	3	0.3	4.2	0.8	1.2	105	45	2.5	53	385
	Raw	90.7	3.2	0.3	4.3	0.6	1.5	93	51	3.1	71	470	
Herring	Raw	69	17.3	11.3	0	0	2.1	---	256	1.1	---	---	
	Canned	82.9	19.9	13.6	0	0	3.7	147	297	1.8	---	---	
Brussel Sprouts	Raw	85.2	4.9	0.4	8.3	1.6	1.2	36	80	1.5	14	390	
Mustard Greens	Raw	89.5	3	0.5	5.6	1.1	1.4	183	50	3	32	377	
Mackerel (Atlantic)	Raw	67.2	19	12.2	0	0	1.6	5	239	1	---	---	
	Canned	66	19.3	11.1	0	0	3.2	185	274	2.1	---	---	
Kale	Raw	82.7	6	0.8	9	---	1.5	249	93	2.7	75	378	
Smelt (Atlantic, jack, bay)	Raw	79	18.8	2.1	0	0	1.1	---	272	0.4	---	---	
	Canned	62.7	18.4	13.5	0	---	5.4	358	370	1.7	---	---	
Collards	Raw	85.3	4.8	0.8	7.5	1.2	1.6	250	82	1.5	---	450	
Yam	Raw	73.5	2.1	0.2	23.2	0.9	1	20	69	0.6	---	600	
Sardines	With liquid	Canned	50.6	20.6	24.4	0.6	---	3.8	354	434	3.5	510	560
	No liquid	Canned	61.8	24	11.1	---	---	3.1	437	499	2.9	823	590
Seaweed	Agar	Raw	16.3	---	0.3	---	0.7	3.7	567	22	6.3	---	---
	Irishmoss	Raw	19.2	---	1.8	---	2.1	17.6	885	157	8.9	2892	2844
	Kelp	Raw	21.7	---	1.1	---	6.8	22.8	1093	240	---	3007	5273
	Dulse	Raw	16.6	---	3.2	---	1.2	22.4	296	287	---	2085	8050

Correlation with Thalassia

HIGH ↑

↓ LOW

KEY

▨ → High in fat

--- → Not measured

Figure 21 : Tableau de comparaison entre les nutriments de *Thalassia testudinum* et quelques aliments donnés aux tortues vertes en captivité. (Bluvas, Eckert 2010)

2. Tortues imbriquées

En milieu naturel, les tortues imbriquées sont omnivores mais se nourrissent principalement d'éponges et d'algues (cf Partie 1). Beaucoup moins d'études sont disponibles

sur l'alimentation en milieu captif des tortues imbriquées. Toutefois, les principes énoncés pour la tortue verte sont les mêmes pour la tortue imbriquée.

Il est donc important de prendre en considération le rapport Ca :P alimentaire afin d'éviter des carences en calcium pouvant provoquer des maladies métaboliques chez les reptiles. De même, on veillera à avoir une ration proche de ce qui est prélevé par les individus dans le milieu naturel pour déranger au minimum la flore intestinale et le comportement des tortues. Pour les tortues imbriquées qui se sustennent surtout de matière animale, moins de problèmes se posent pour avoir assez d'énergie en début de réhabilitation avec un régime concordant au milieu naturel.

Le régime alimentaire des tortues imbriquées à l'aquarium d'Okinawa Churaumi au Japon se compose de poisson, de crevettes et de calamar (Kawazu, Suzuki, Maeda 2022). Au centre situé aux Maldives, des rations à base de poisson frais (de récif et du thon), avec plus rarement des crevettes et des langoustines, sont distribuées pour les tortues omnivores (imbriquées et olivâtres) (*questionnaire personnel*).

Des granulés commerciaux existent pour les tortues carnivores et sont donc utilisés pour l'élevage des émergentes de tortues vertes (Songnui et al. 2017; Craven et al. 2008) et pour les tortues imbriquées (Bailey 2023). Cependant, l'utilisation de granulés secs peut provoquer des problèmes de flottaison et de ballonnement en raison d'une suralimentation et est également connue pour induire plus facilement de l'obésité (Jualaong et al. 2021).

II. Quantité de nourriture

La quantité de nourriture par individu et par repas doit être déterminée en fonction de l'état de l'animal et de son stade physiologique, et doit si possible être déterminée par un vétérinaire. De manière générale, il est préconisé de donner entre 1% et 5% du poids corporel, le pourcentage le plus faible étant pour les individus en entretien et le plus fort pour les tortues malades, émaciées ou jeunes. Néanmoins, pour une tortue émaciée, un protocole de réalimentation en commençant par de petites quantités et en augmentant au fur et à mesure est indiqué. De même, les tortues passant à un régime d'entretien doivent voir les quantités diminuer petit à petit jusqu'à la quantité appropriée (Bluvias, Eckert 2010). Pour les animaux nourris à la main, on peut considérer qu'un refus d'un aliment supplémentaire qu'il a accepté

au préalable correspond à la satiété. Enfin, donner trop de nourriture au départ ou en une seule fois peut provoquer des blocages intestinaux et favoriser les infestations parasitaires. De même, il n'est pas conseillé de nourrir à volonté ou avec de trop grosses quantités les tortues qui sont sujettes à l'obésité, à la lipidose hépatique et aux ballonnements (Bluvias, Eckert 2010; Higgins 2002).

A Kélonia, la ration de chaque animal est ajustée en fonction de sa consommation et de son état clinique. Lorsqu'une tortue a de l'appétit et prend du poids, sa ration de poisson est augmentée jusqu'à un maximum de 500 g/j afin de limiter une prise de poids excessive. Lorsque tous les légumes sont consommés avant la nouvelle distribution, les quantités sont augmentées pour répondre aux besoins des animaux (Cruciani 2017). Au CESTM à La Rochelle, les tortues sont nourries en général une fois par jour avec des quantités calculées pour correspondre à 5% de leur poids. Pour chaque individu, la prise alimentaire est surveillée et donc notée pour connaître les quantités approximatives réellement ingérées et ainsi les ajuster ultérieurement (*obs. pers.*). De même, aux Maldives, la quantité distribuée correspond à 3-5% du poids de l'animal.

III. Fréquence de distribution

Dans les différents régimes alimentaires, la fréquence d'alimentation est un paramètre important qui contribue à la croissance et à une bonne utilisation des aliments. La fréquence de nourrissage peut varier d'une à trois fois par jour, avec un optimum démontré à deux fois par jour pour les tortues vertes et imbriquées (Jualaong et al. 2021). De plus, les repas sont en général associés aux médicaments oraux ce qui implique d'avoir plusieurs repas par jour. Pour encourager les individus qui sont difficiles pour la prise de nourriture, plusieurs petits repas sont préférés à un seul gros repas. Cela permet également d'occuper les tortues qui dans le milieu naturel passent une grande partie de leur temps à chercher de la nourriture et par conséquent limiter les stéréotypies et comportements agressifs. Enfin, si des tortues ont un faible taux de glucose, elles peuvent nécessiter six repas de faible volume par jour pour recevoir leur supplémentation chronique en glucose (Eckert et al. 1999). Dans le centre de soin des Maldives, les tortues sont nourries deux fois par jour (*questionnaire personnel*). A la Réunion, la ration de légumes est distribuée en cinq à six fois par jour et la ration de poisson une fois par jour, généralement en fin de matinée (Cruciani 2017).

Il est recommandé que les tortues disposent de 15 à 30 minutes pour consommer la nourriture avant que les réservoirs ne soient vidés et nettoyés afin d'éviter une dégradation de la qualité de l'eau des bassins. En moyenne, une tortue marine en bonne santé consomme 100 % de la nourriture proposée dans les 15 minutes (Higgins 2002).

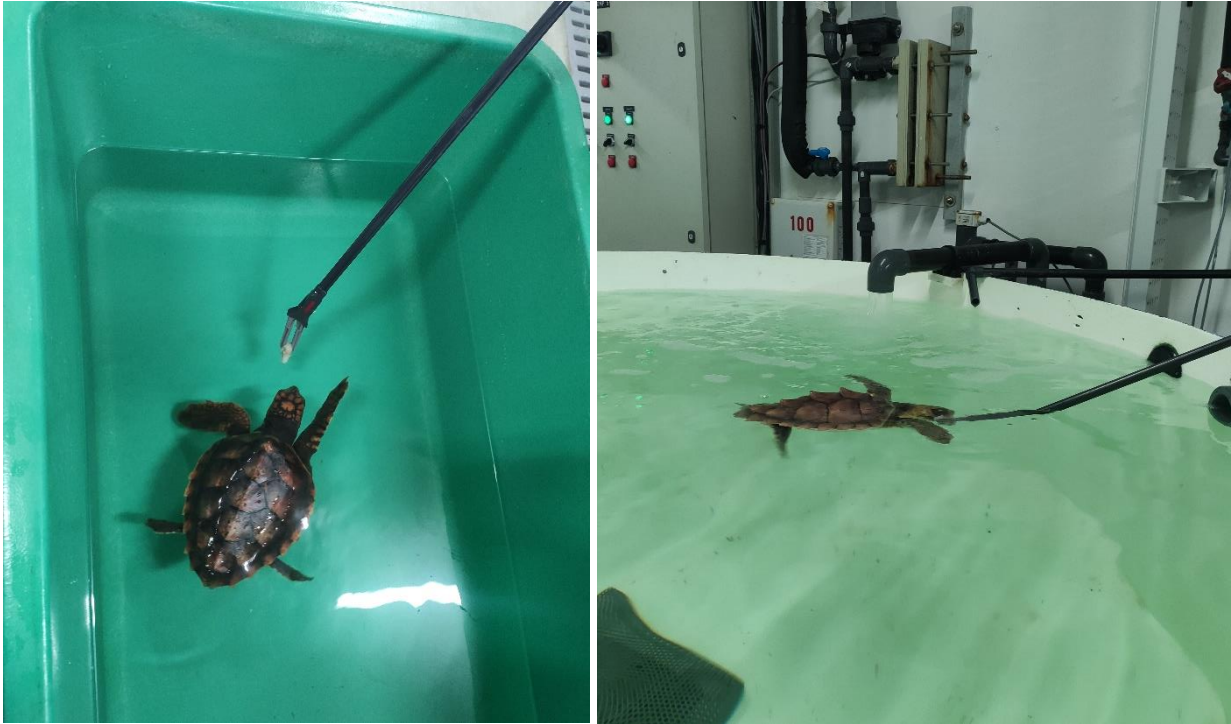
IV. Modes de distribution

1. Distribution classique

Les tortues juvéniles et adultes consomment de la nourriture dans toute la colonne d'eau et notamment au fond. Les modes de distribution sont tout aussi importants que la composition du régime alimentaire et doivent s'adapter au comportement naturel ainsi qu'à l'appétit et au stress des individus qui sont dans un milieu captif.

La méthode simple consiste à distribuer à la main les aliments préparés dans les bassins afin d'encourager la recherche de nourriture. Cette pratique peut avoir des effets négatifs, notamment des comportements de compétition agressifs entre les individus d'un même bassin et une habituation des tortues qui associent présence humaine et distribution de la nourriture. Il est donc nécessaire d'être au maximum hors du champ de vision des tortues marines (Bluvias, Eckert 2010).

Pour des tortues fraîchement arrivées au centre, une distribution à la pince peut être effectuée afin de faciliter la préhension de la nourriture et de mieux la surveiller. Cette méthode est beaucoup utilisée au CESTM à La Rochelle, permettant de relancer l'appétit des animaux arrivant en mauvais état et de surveiller leur prise alimentaire (*Figure 22*) (*obs. pers.*). De la même façon, on peut recourir à une perche avec une pointe acérée qui conviennent mieux aux tortues qui restent au fond de l'aquarium (Bluvias, Eckert 2010). Ces méthodes engendrent aussi une imprégnation forte des animaux et une possible transmission de germes entre les différents bassins si les instruments ne sont pas correctement désinfectés.



*Figure 22 : Distribution à la pince au CESTM, centre de soin de l'Aquarium de La Rochelle.
(©Anaëlle Varais - avril 2023)*

2. Dispositifs d'alimentation sous forme d'enrichissement

Enfin, des moyens d'enrichissement peuvent être employés pour distraire les tortues et se rapprocher de leur comportement naturel d'alimentation.

Aux Maldives par exemple, ils utilisent des blocs de glace en plus des moyens classiques de distribution. Des morceaux d'aliments tels que du poisson, des calamars ou des légumes sont mis dans de l'eau et placés au congélateur. Les glaçons sont ensuite distribués en l'état aux tortues. Dans des bassins de réhabilitation contenant des poissons, cet enrichissement a également l'avantage de limiter la compétition pour accéder à la nourriture (Bluvas, Eckert 2010; Baron 2014).

L'usage de tuyau en PVC peut aussi inciter la tortue à plonger pour se nourrir comme dans un lieu d'alimentation naturel. Les aliments sont insérés dans des trous percés tout au long du tuyau qui est laissé à couler au fond du bassin. Le tube doit être retiré une fois que la nourriture a disparu ou avant la fin de la journée. Cette méthode est idéale pour les tortues vertes pour mimer un herbier marin. De même, le tapis ou grille d'alimentation est un autre moyen intéressant pour imiter un herbier marin. Les légumes sont placés dans les trous et le tapis est lesté pour être laissé au fond du bassin (Figure 23). C'est un bon enrichissement pour les

tortues vertes en réhabilitation (Bluvias, Eckert 2010). Enfin, pour les tortues vertes émergentes nourries avec des granulés, il a été montré qu'un prétrempage dans l'eau contribue à une meilleure utilisation de l'aliment (Kanghae, Thongprajukaew, Phromkunthong, et al. 2017).



Figure 23 : Tortue verte se nourrissant de concombre, de poivron et de laitue dans un plateau d'alimentation sur mesure encadré par des tuyaux en PVC lestés (Divers, Stahl, Mader 2019)

3. Alimentation par sondage

Lorsque les tortues refusent de s'alimenter après une longue période de temps, il peut être nécessaire de trouver d'autres méthodes de distribution alimentaire. En théorie, les reptiles sont adaptés à de longues périodes de jeûne mais il est important de faire regagner de l'état aux tortues qui arrivent en centre de soin donc de s'inquiéter assez rapidement d'une anorexie prolongée.

L'une des solutions est de mettre en place une procédure de gavage par sondage oro-gastrique lorsque l'animal n'est pas en capacité de s'alimenter seul. Bluvias & Eckert (2010) ont donné une procédure à suivre pouvant être appliquée pour tous les individus en soin (ANNEXE 3). La tortue doit être stabilisée au préalable, les examens complémentaires nécessaires au diagnostic réalisés et que des traitements permettant de gérer l'état général de l'animal aient été initiés. A la Réunion, des gavages peuvent être mis en place après une anorexie prolongée d'un ou deux mois. La tortue est tenue par les nageoires antérieures et une sonde en plastique souple est introduite dans l'œsophage jusqu'au plastron (Cruciani 2017).

Les aliments administrés par sonde sont facilement régurgités par les tortues de mer qui doivent donc être inclinées la tête vers le haut pendant la procédure et pendant un certain temps après le sondage. Le volume pour l'alimentation par sonde peut commencer à 0,5 % du

poids corporel et augmenter progressivement à 3 %, une ou deux fois par jour. Des formes d'alimentation moins agressives doivent être proposées entre les sessions d'alimentation par sonde. Lorsque la tortue apparaît apte à se nourrir seule, le protocole de gavage est arrêté (Divers, Stahl, Mader 2019).

De nombreuses recettes sont disponibles pour cuisiner les aliments pouvant être administrés par sonde chez les tortues.

V. Facteurs environnementaux

Les facteurs environnementaux jouent un rôle primordial dans l'alimentation des tortues marines, comme nous avons pu le voir dans la Partie 1. Lorsqu'elles sont retenues captives, il est d'autant plus important d'avoir une bonne gestion des paramètres de la structure pour ne pas compromettre la réhabilitation.

1. Stress et compétition

Tout d'abord, le facteur stress peut entraîner une immunodépression et donc des potentielles infections compromettant la prise alimentaire et la réhabilitation (Cruciani 2017). Des bactéries opportunistes se trouvent naturellement dans l'eau de mer et ne deviennent pathogènes que lorsque les animaux sont stressés, parallèlement à une baisse de l'efficacité du système immunitaire et un microbiote intestinal perturbé (Higgins 2002). La période à risque pendant la réhabilitation se situe dans les deux premiers mois. Les valeurs immunitaires sont après un an de soins similaires à celles des tortues en liberté, pouvant indiquer une acclimatation à la captivité

Le stress lié à la transition vers un régime alimentaire différent lorsque les individus sont pris en charge dans un centre de soins entraîne souvent une diminution, voire un arrêt de la prise de nourriture, sans qu'une pathologie soit impliquée. Il peut donc être difficile de distinguer une anorexie passagère liée au changement d'environnement d'une réelle anorexie d'origine pathologique.

Dans le cadre de la Cayman Turtle Farm par exemple, les distributions sporadiques de nourriture combinées à la densité d'animaux importante dans les bacs d'élevage exacerbent la compétition alimentaire et les agressions interindividuelles. Les blessures sont donc majorées et des conséquences sur les tortues plus faibles qui n'ont pas accès à la nourriture peuvent

également être observées (Arena, Warwick, Steedman 2014). Les tortues de mer ont besoin de sources de nourriture abondantes pour imiter leur comportement naturel (Kanghae et al. 2021).

La mise en place d'enrichissements peut être un bon moyen pour limiter le stress (Hernandez, Claudett 2021). Des alternatives à la distribution alimentaire classique comme décrit dans la partie B.IV.2., des zones prévues pour des cachettes et des grattoires dorsaux sont des exemples d'enrichissement pouvant occuper et diminuer le stress des individus en captivité (Bloodgood et al. 2020). Les coquilles de conque ou de bulot stimulent l'activité de morsure et favorisent l'usure tomiale. Elles doivent être suffisamment petites pour servir de source de calcium et de fibres sans causer d'obstruction ou suffisamment grandes pour éviter l'ingestion (Divers, Stahl, Mader 2019).

2. Température

De même que la température a été décrite comme une variable environnementale impactant directement la nutrition des tortues marines en milieu naturel, celle-ci est primordiale en captivité. Elle affecte directement la prise alimentaire et joue sur l'efficacité digestive, la digestibilité et le temps de transit intestinal (Lutz et al. 1996). La synthèse de la vitamine D, essentielle au maintien de l'homéostasie du calcium est également dépendante de la température ambiante (McWILLIAMS 2005). Des températures trop élevées de l'eau peuvent aussi induire un stress et engendrer des maladies comme évoqué précédemment.

Il est donc nécessaire de contrôler régulièrement la température de l'eau afin d'éviter de perturber l'alimentation des individus en captivité et de compromettre leur réhabilitation. Les températures acceptables pour les tortues marines se situent entre 20 et 30°C bien que des températures de 25 à 30 °C puissent être plus appropriées pour maintenir l'appétit et maximiser la guérison et la réponse immunitaire (Divers, Stahl, Mader 2019). Des températures plus fraîches sont nécessaires initialement pour la réhabilitation des tortues victimes d'hypothermie. Il est également préférable d'éviter des changements de température rapides en respectant une variation maximale de 2 à 3 °C sur 24 heures (Divers, Stahl, Mader 2019).

3. UV et vitamine D3

En captivité, l'accès à des rayons UVB pour la synthèse de la vitamine D3 à partir du 7-déhydrocholestérol n'est pas forcément possible si les tortues sont gardées dans un environnement fermé.

Dans une étude, les concentrations plasmatiques de 25-hydroxyvitamine D ont diminué sur une période de 4 à 5 mois chez des tortues vertes hébergées à l'intérieur sans exposition à la lumière naturelle du soleil, et cette diminution a persisté sur une période de 6 à 8 ans (Purgley et al. 2009). Néanmoins, aucune différence significative n'a été observée dans les concentrations plasmatiques de 25-hydroxyvitamine D entre les tortues vertes hébergées pendant au moins 75 jours dans un centre de réhabilitation dépourvu de source de rayonnement UVB et une cohorte sauvage de la même région. De plus, il semblerait que les niveaux en calcium soient maintenus en raison de la lente décomposition des réserves en calcium de la carapace et des os, permettant aux tortues captives de rester asymptomatiques pendant de longues périodes (Stringer et al. 2010).

Par conséquent, malgré l'absence d'une démonstration claire de la nécessité d'UVB lors de la réhabilitation, reproduire un régime alimentaire complet pendant la période de soin est difficile et la présence d'UVB peut compenser les carences et les déséquilibres alimentaires en vitamine D, calcium et phosphore. Pour les nouveau-nés et les juvéniles, il est judicieux de proposer une source d'UVB pour favoriser leur croissance (Divers, Stahl, Mader 2019).

Il existe en outre une large gamme de suppléments alimentaires fournissant des niveaux appropriés de vitamine D3, de calcium et de phosphore pour les tortues marines captives.

VI. Minéraux, vitamines et compléments alimentaires

Afin de subvenir aux besoins nutritionnels des tortues en captivité, il peut être nécessaire de compléter la ration alimentaire, notamment pour les vitamines et minéraux.

Les niveaux de calcium et de phosphore sont d'une importance primordiale dans le régime alimentaire des tortues marines qui possèdent un large squelette. Une ration alimentaire appropriée des tortues marines en captivité est un point de base pour contrôler le rapport Ca :P. Comme dit précédemment, les produits riches en phosphores comme les calamars doivent être limités dans la ration alimentaire au profit d'aliments dont le rapport Ca :P imite

celui des tortues sauvages (Hernandez, Claudett 2021). Des compléments de calcium sous forme de comprimés (*Figure 24*) ou de solution peuvent être administrés aux tortues via la nourriture. L'absorption et la disponibilité de ces suppléments calciques sont encore inconnues chez les tortues de mer (Stringer et al. 2010). Les résultats de la biochimie sanguine peuvent indiquer la nécessaire complémentation calcique.



Figure 24 : Gélules de calcium et ration alimentaire des tortues marines soignées au CESTM de l'Aquarium de La Rochelle (©Anaëlle Varais – Avril 2023)

Il est généralement recommandé que l'alimentation des reptiles herbivores doit contenir un rapport Ca:P aux alentours de 1,5:1. Pour les femelles en période de nidification ou pour les tortues juvéniles en croissance un rapport proche de 2:1 est souhaitable (McArthur, Wilkinson, Meyer 2004; Hernandez, Claudett 2021).

D'autre part, des vitamines peuvent être insérées dans la ration selon l'âge et l'état général de l'animal. Au CESTM, de la vitamine B1 (BEVITINE ND) peut être ajoutée pour stimuler l'appétit des tortues (*obs. pers*). De même, des compléments alimentaires avec de nombreuses vitamines peuvent être donnés, tels que le VITAVIA ND qui contient majoritairement de la vitamine A et de la vitamine D3.

C. ENJEUX D'UNE BONNE ALIMENTATION DANS LA REHABILITATION ET LA CONSERVATION

Les animaux tenus en captivité sont généralement nourris avec un régime alimentaire non indigène pendant des durées variables, allant de quelques jours à plusieurs mois voire années. Ainsi, ce changement d'alimentation peut avoir des conséquences néfastes sur la santé des animaux captifs et compromettre leur réhabilitation dans leur milieu naturel (Craven et al. 2008). Au fil des années et des recherches effectuées, la gestion médicale et des paramètres physiologiques des tortues en captivité a largement progressée (Hernandez, Claudett 2021). Néanmoins, des zones d'ombres sur l'alimentation des tortues marines en milieu captif sont encore présentes. Une adaptation individuelle et un suivi régulier sont nécessaires pour éviter des problèmes potentiels liés à l'alimentation.

I. Préparation des rations

1. Suivi de la prise alimentaire et des individus

Le suivi de la prise alimentaire est indispensable dans la distribution de la ration quotidienne des tortues marines. En effet, il est nécessaire d'enregistrer pour chaque individu à chaque distribution le type d'aliment et la quantité distribuée ainsi que la quantité ingérée et le comportement alimentaire de l'animal (*Figure 25*) (Bluvias, Eckert 2010).



Figure 25 : Pesée de la nourriture avant la distribution au CESTM (Aquarium de La Rochelle)
(©Anaëlle Varais – Avril 2023)

Ce suivi permet d'objectiver une possible baisse d'appétit ou anorexie d'un individu et ainsi prendre des décisions dans le protocole de soin pour favoriser sa reprise d'état (changement d'aliment, adaptation des quantités, mise en place d'une procédure de sondage, etc.). Les tortues marines étant des reptiles avec un métabolisme lent, une anorexie de plusieurs jours peut être observée sans être pathologique. Ces données sont à mettre en parallèle avec un suivi de poids régulier qui peut être hebdomadaire.

2. Contrôle hygiène des aliments

Pour éviter la contamination des aliments par des dangers sanitaires, il est nécessaire de suivre des règles d'hygiène et de respect de la chaîne du froid fondamentales. La conservation des aliments doit être contrôlée avec une zone désignée pour le stockage et la préparation. Un congélateur et un réfrigérateur fonctionnels sont indispensables pour garder les aliments. Il est conseillé de consulter tous les produits de la mer avant de les utiliser afin de tuer des parasites potentiellement dangereux. De même, les légumes doivent être reçus au centre régulièrement, être nettoyés et conservés dans un environnement réfrigéré.

Avant la préparation des rations, il est nécessaire de décongeler la nourriture au réfrigérateur pendant environ 24 heures. Si un aliment n'est pas totalement décongelé, il peut être rincé à l'eau froide. Les aliments peuvent ainsi être coupés, pesés et répartis dans des bacs pour la distribution. Lors de cette étape, il est primordial d'avoir une zone et des outils dédiés à cette tâche et lavés après chaque utilisation pour éviter les contaminations. Le plan de travail doit être propre et le port de gants est indiqué. Ces repas doivent être mis au réfrigérateur si le moment de la distribution diffère avec celui de la préparation. Les zones de stockage et de préparation doivent être nettoyées et désinfectées régulièrement (Bluvas, Eckert 2010).

Tout ce qui n'a pas été mangé doit être pesé, enregistré et jeté. Il est d'ailleurs recommandé de vider les restes de nourriture des bacs de réhabilitation assez rapidement après le repas pour éviter la contamination de l'environnement de vie et la multiplication de potentiels pathogènes.

II. Alimentation et réhabilitation

1. Reprise d'état

Lors de leur arrivée, les tortues arrivent en mauvais état de santé avec en général des déficiences sur le plan nutritionnel pouvant aller jusqu'à l'émaciation. La connaissance des habitudes alimentaires et des besoins nutritionnels des tortues marines est cruciale pour la restauration de leur masse corporelle en vue de la réhabilitation. L'énergie qu'elles acquièrent par l'alimentation est utile dans les processus de cicatrisation et de performance du système immunitaire. Ainsi, la stratégie de proposer une ration riche en énergie en début de protocole de soins, puis une adaptation ultérieure pour concorder avec l'alimentation naturelle est intéressante. Des aliments tendres et hautement appétissants (filets de poisson, calamars époinés) sont appropriés aux premiers stades de la réhabilitation pour fournir des protéines et des calories essentielles.

La quantité d'aliment doit être petite au départ pour préparer le système gastro-intestinal et éviter une impaction digestive (Divers, Stahl, Mader 2019). Ce n'est qu'après avoir vérifié la fonction digestive et la défécation que la quantité peut être lentement augmentée pour atteindre un niveau d'entretien normal et une récupération de la condition corporelle.

Pour les états de déshydratation à l'arrivée, les tortues peuvent être placées dans de l'eau douce ou à salinité réduite de manière thérapeutique à court terme pour la réhydratation et l'élimination des épibiontes et des ectoparasites. La surveillance en parallèle des taux d'électrolytes sanguins et du comportement de l'animal est importante pour éviter l'apparition d'une hyponatrémie, en particulier chez les tortues de petite taille, d'autant plus que les déséquilibres électrolytiques contribuent au mauvais fonctionnement du système digestif (Divers, Stahl, Mader 2019).

2. Adéquation de l'alimentation pour les fonctions en milieu naturel

Nous avons pu voir que les types d'aliments distribués dans les différents centres de soin ne sont pas forcément adaptés au régime alimentaire des tortues. Lorsqu'elles reprennent de l'état, des rations riches en énergie sont nécessaires. Néanmoins, afin d'être au maximum en adéquation avec leur alimentation à l'état sauvage lorsque le relâché est prévu, il est important de réaliser une transition alimentaire vers des denrées plus adaptées. C'est le cas notamment

pour les tortues vertes adultes qui sont généralement nourries avec beaucoup de matière animale à l'arrivée mais qui doivent progressivement passer à un régime majoritairement herbivore plus naturel.

La flore bactérienne commensale est influencée par le type d'aliment ingéré (Cf. Partie 1). En captivité, le changement de régime alimentaire s'accompagne d'un changement du microbiote intestinal. Une étude propose que la connaissance des communautés microbiennes intestinales des tortues marines avant et après l'hospitalisation permettrait aux centres de soins de choisir les meilleures procédures alimentaires, de traitement et de gestion pour limiter les maladies associées au microbiote, telles qu'une infection par des agents pathogènes potentiels (Ahasan et al. 2018). Pour les tortues vertes en captivité nourries avec un régime riche en protéines, le microbiote intestinal est composé avec une majorité de Bacteroidetes alors que pour les tortues sauvages c'est le genre Firmicutes qui prédomine. Ainsi, un changement marqué est observé dans les communautés bactériennes intestinales des tortues réhabilitées. De plus, les tortues vertes élevées dans des réservoirs d'eau individuels pendant la réhabilitation étaient moins susceptibles d'avoir des communautés bactériennes diversifiées que les tortues sauvages. Il est suggéré par les auteurs d'offrir un régime herbivore, tel que des légumes verts, aux tortues vertes échouées afin de favoriser la restauration d'un microbiote intestinal normal au cours de la réhabilitation. Enfin, ils constatent une prédominance des protéobactéries chez les tortues échouées, indiquant une dysbiose microbienne (Ahasan et al. 2018).

Dans la flore microbienne acquise lors de la réhabilitation se pose la question du rôle des tortues réhabilitées dans la propagation d'agents infectieux après leur libération.

3. Impact environnemental

Un des aspects de la réhabilitation à ne pas négliger est la possibilité de contaminer l'environnement par les individus relâchés. En effet, la transmission de microorganismes pathogènes et/ou résistants aux antibiotiques est possible par contact direct ou par prédation. Cette résistance peut passer par l'utilisation non raisonnée de médicaments au cours du protocole de soins ou par l'ingestion de poissons provenant de l'aquaculture (Chen, Xia, Li 2022).

III. Pathologies alimentaires causées par le milieu captif

En milieu naturel, les tortues ont une alimentation suffisamment riche et variée qui couvre l'ensemble de leurs besoins nutritifs. L'un des risques d'une mauvaise alimentation en milieu captif est de causer de nouvelles pathologies lors de la réhabilitation. Donner une alimentation correspondant aux besoins des individus, notamment pour de longues périodes de soins, est primordial pour éviter l'apparition de pathologies qui pourraient compromettre le processus de soin.

1. Hypoglycémie

Etiologie :

Une anorexie prolongée, une maladie hépatobiliaire ou une septicémie peuvent provoquer une hypoglycémie. La glycémie chez les tortues vertes est comprise entre 90 et 140 mg/dl (Aguirre, Balazs 2000). On notera que ces valeurs sont variables selon le sexe, l'âge et l'activité de reproduction.

Signes cliniques et diagnostic :

Les symptômes associés sont une faiblesse généralisée, une mydriase et des trémulations.

Traitement :

Une supplémentation orale peut être réalisée. Un sondage œsophagien ou oro gastrique peut être nécessaire et utilisé après stabilisation de la glycémie par un autre mode de supplémentation. Cette méthode n'est utilisable que pour les animaux ayant un tube digestif fonctionnel et le taux d'absorption sera relativement long chez les tortues débilitées. 1ml de dextrose à 50%/kg, 3 à 6 fois par jour doit être administré. Cependant, le dextrose étant un soluté relativement hypertonique, on vérifiera l'état d'hydratation de l'animal (McArthur, Wilkinson, Meyer 2004).

Une supplémentation par injection intracœlomique avec du dextrose à 5% pourra être administrée à raison de 11 à 17 ml/kg. La tortue est placée en décubitus dorsal et l'injection se fait au niveau du site préféromoral (McArthur, Wilkinson, Meyer 2004).

2. Surpoids et obésité

Etiologie :

La surconsommation de nourriture et l'inactivité peuvent entraîner des troubles métaboliques chez les tortues en captivité. Un excès d'énergie dans la ration alimentaire entraîne le stockage sous forme de graisses sous-cutanée, péritonéale et viscérale dans l'organisme. Cela peut avoir pour conséquence l'infiltration et la dégénérescence graisseuse du foie, une insuffisance respiratoire ainsi qu'une diminution des performances de reproduction. (McArthur, Wilkinson, Meyer 2004).

Signes cliniques et diagnostic :

Le diagnostic se fait en fonction de l'apparence de la tortue qui paraît gonflée, avec une protubérance des fosses interclaviculaires et pré-fémorales.

Traitement :

Dans ce cas, il est impératif de diminuer les quantités d'aliments distribuées, la fréquence des repas, les aliments riches en lipides. Parallèlement, il faut favoriser l'exercice et augmenter la teneur en fibre de la ration (McArthur, Wilkinson, Meyer 2004).

Cette affection peut aussi conduire à une lipidose hépatique.

3. Ostéodystrophies et hyperparathyroïdie secondaire d'origine alimentaire

Etiologie :

L'hyperparathyroïdie secondaire d'origine alimentaire (HSOA) est commune chez les reptiles et intervient lors d'une déficience en calcium (Ca). La carence en calcium (Ca) peut résulter d'un apport alimentaire en calcium insuffisant, d'un rapport phosphocalcique (Ca:P) déséquilibré et/ou d'un manque de vitamine D3. Une exposition insuffisante aux UVB et une température de maintien non adéquate peuvent engendrer également des déséquilibres en calcium. L'hyperparathyroïdie secondaire est due à une sécrétion excessive de PTH (parathormone) en réponse à une hypocalcémie plasmatique, ou occasionnellement d'une insuffisance rénale chronique causant une production inadéquate en calcitriol. Chez les juvéniles, l'hyperparathyroïdie secondaire provoque également une diminution de la sécrétion

des hormones de l'antéhypophyse, ce qui entraîne un retard de croissance (McWILLIAMS 2005).

Les régimes riches en énergie mais n'apportant pas suffisamment de calcium et de phosphore augmentent la vitesse de croissance mais ne permettent pas une ostéogénèse harmonieuse.

Signes cliniques et diagnostic :

La présentation clinique dépend des individus mais les symptômes fréquents sont une faiblesse généralisée, de l'anorexie ou une baisse d'appétit, un déficit de croissance et une difficulté à se déplacer. Une mauvaise calcification de la carapace peut apparaître pendant la croissance de jeunes individus. De plus, des signes comme un prolapsus cloacal, des problèmes digestifs comme de la constipation et des signes associés à une souffrance rénale peuvent être évocateur de l'HSOA.

Un diagnostic clinique peut être possible selon les symptômes de l'animal. Une radiographie peut être réalisée pour évaluer la densité osseuse de l'animal si des réductions sévères de la minéralisation osseuse sont présentes. Enfin, l'anamnèse sur l'alimentation de l'animal peut indiquer sur la présence d'une HSOA (Divers, Stahl, Mader 2019).

Traitement :

Une correction alimentaire est nécessaire dans un premier temps. Une supplémentation calcique par voie orale ou par injections intracœlomiques ou intramusculaires peut être envisagée selon la sévérité de l'affection et de l'alimentation donnée (McArthur, Wilkinson, Meyer 2004).

4. Gonflement-flottaison

Etiologie :

Chez les tortues caouannes et luth, il a été observé qu'une suralimentation avec des régimes préparés commercialement peut provoquer des problèmes de flottabilité (Lutz, Musick, Wyneken 2002).

Signes cliniques et diagnostic :

La tortue présente des problèmes de flottaison dû à une alimentation trop riche. Le gonflement peut devenir chronique, entraînant des déformations de la carapace et du plastron, rendant la tortue inapte à être relâchée et entraînant souvent la mort.

Traitement :

La quantité de nourriture est augmentée ou diminuée par rapport à la quantité indiquée par la formule en fonction de l'apparence et de l'activité des tortues. Plusieurs paramètres peuvent limiter ce phénomène, à savoir le changement de régime, le changement de profondeur de l'eau, l'augmentation de l'espace d'élevage et l'utilisation de dispositifs pour stimuler le plongeon et le comportement benthique (Lutz, Musick, Wyneken 2002).. De même, le pré trempage des granulés commerciaux réduit le risque d'apparition de cette affection (Kanghae, Thongprajukaew, Phromkunthong, et al. 2017).

5. Goutte articulaire et viscérale

Etiologie :

La goutte est un dépôt d'acide urique et de sels d'urates dans l'organisme. Les tortues marines éliminent leur azote urinaire sous forme d'ammoniaque et d'urée donc l'incidence de cette pathologie reste faible chez ces espèces.

Elle résulte d'une hyperuricémie, qui provient d'une augmentation de la production d'acide urique lors d'un régime alimentaire riches en protéines, en particulier chez les tortues herbivores nourries avec du poisson. Elle peut intervenir après la diminution de l'excrétion d'acide urique par diminution de l'excrétion rénale et déshydratation. Cette hyperuricémie provoque la précipitation de l'urée sous forme de microcristaux d'urate à l'intérieur des tissus. Les dépôts d'urate ont lieu principalement au niveau des articulations, du péricarde, du foie, du cortex rénal et de la rate. Il est possible également d'en trouver dans d'autres tissus comme le cerveau et les gonades (McArthur, Wilkinson, Meyer 2004)..

Signes cliniques et diagnostic :

Les signes sont non spécifiques, un gonflement des zones où les dépôts d'urate ont lieu peut être observé associé à de l'abattement et de la déshydratation. Le diagnostic peut se faire par imagerie pour voir les cristaux d'urates (radiographie, échographie, scanner/IRM).

Traitement :

L'alimentation doit être adaptée pour être plus pauvre en protéines. Une fluidothérapie et une diurèse forcée sont préconisées. Correction des facteurs de prédisposition, fluidothérapie et diurèse forcée. Un traitement médicamenteux à base d'allopurinol à 15 à 20 mg/Kg peut être administré et si nécessaire un retrait chirurgical des cristaux peut être fait.

Il existe également la pseudogoutte qui correspond à l'accumulation de cristaux d'hydroxyapatite dans et à la périphérie des articulations due à un dérèglement du métabolisme calcique. Le diagnostic différentiel entre goutte et pseudogoutte articulaire se fait par cristallographie car les cristaux d'hydroxy-apatite ne sont pas biréfringents. Le traitement de cette affection est surtout préventif avec une alimentation équilibrée et variée (McArthur, Wilkinson, Meyer 2004).

6. Troubles vitaminiques

6.a) Hypovitaminose A

Etiologie :

La vitamine A joue un rôle majeur dans la production et le maintien de surfaces épithéliales saines. Elle a également des rôles importants dans les structures liées à la vision. Une carence chez les tortues herbivores est possible lorsque le broutage est empêché et qu'un régime restreint à des composants faibles en β -carotène, tels que la laitue iceberg et le concombre, est proposé (Divers, Stahl, Mader 2019).

Signes cliniques et diagnostic :

La carence en vitamine A entraîne une métaplasie squameuse et une dégénérescence des surfaces épithéliales. Ainsi, une blépharite, une conjonctivite, une rhinite, des problèmes dans les voies respiratoires inférieures, des anomalies cutanées et déclin général peuvent être observés. Le diagnostic repose sur l'anamnèse clinique, l'évaluation de la gestion et la réponse à la thérapie.

Traitement :

L'amélioration nutritionnelle et la supplémentation par voie orale sont préconisées. Comme pour les autres vitamines liposolubles, l'administration parentérale de la vitamine A doit être soigneusement dosée pour éviter l'hypervitaminose A iatrogène, et les intervalles de dosage basés sur la réponse clinique au traitement doivent être respectés. Des doses de 2000

à 5000 UI/kg de vitamine A sont considérées comme sûres chez les patients présentant des signes liés à l'hypovitaminose A (McArthur, Wilkinson, Meyer 2004).

6.b) Hypovitaminose B1

Etiologie :

Une hypovitaminose B1 peut résulter d'un apport alimentaire insuffisant en vitamine B1, la présence dans l'alimentation d'un fort taux de thiaminases (enzymes dégradant la vitamine B1) ou une destruction de la flore intestinale qui synthétise la vitamine B1 suite à l'administration d'un traitement antibiotique.

Signes cliniques et diagnostic :

Amaigrissement, apathie, anorexie et troubles nerveux. Le diagnostic est clinique et repose sur l'anamnèse. Il peut être aussi thérapeutique car la réponse au traitement est rapide.

Traitement :

Il est nécessaire d'éviter les aliments contenant des thiaminases. Un apport de vitamine B1 peut être fait dans l'alimentation.

6.c) Carence en vitamine E et sélénium et stéatose

Etiologie :

Une alimentation trop grasse (concentration trop importante en acide gras polyinsaturés à longue chaîne) associée à une carence en vitamine E et en sélénium entraîne une stéatose et une dégénérescence musculaire. La stéatose a notamment été signalée chez trois tortues olivâtres en captivité (*Lepidochelys olivacea*), où elle était attribuée à un régime alimentaire à long terme de poisson congelé (Divers, Stahl, Mader 2019).

Signes cliniques et diagnostic :

Les signes cliniques sont l'apparition d'une anorexie, d'une coloration jaune-orangée de la peau, d'une induration musculaire. L'animal paraît gras.

Traitement :

Une correction de l'alimentation est nécessaire. Il n'existe pas de traitement efficace, bien que s'il est détecté tôt, une supplémentation en vitamine E et en sélénium puisse être bénéfique. Cependant, la stéatose a généralement un pronostic défavorable.

PARTIE 4 : Constitution des rations alimentaires pour le futur centre de soin de Mayotte

A. DESCRIPTION DU PROJET DE CENTRE DE SOIN DE MAYOTTE

I. Enjeux et objectifs du centre de soin

Après avoir décrit la situation des tortues marines à Mayotte et des actions de l'association Oulanga Na Nyamba dans la partie 2, il semble pertinent qu'un centre de soin ouvre à Mayotte. Son objectif principal est de soigner les tortues en détresse et de les relâcher dans leur milieu naturel afin de préserver ces espèces dans les eaux mahoraises et dans le monde. Les tortues ayant un rôle important au sein de l'écosystème et étant l'un des piliers de l'avenir touristique et économique de Mayotte, l'enjeu du centre de soin est donc double.

1. Réhabilitation des tortues et pôle de recherche

Le centre de soin est une structure permettant de traiter les tortues en situation de détresse afin qu'elles puissent retourner dans leur habitat naturel. En 2012, treize tortues avaient été retrouvées en détresse dont huit pour des causes anthropiques, telles que le braconnage et la pêche accidentelle (REMMAT). Cette structure est ainsi une solution qui n'existait pas auparavant pour essayer de sauver ces tortues et préserver davantage les populations. Néanmoins, un défi majeur de la réhabilitation est de trouver un équilibre entre un interventionnisme excessif avec le risque d'imprégnation associé lors des prises en charge et les soins prodigués et leurs bénéfices pour l'individu.

La préservation passe aussi par la recherche dans la mesure où la compréhension du fonctionnement biologique des tortues permet de prendre les mesures adéquates pour les protéger. Le centre de soin sera ainsi un lieu idéal pour réaliser des études sur la biologie des tortues marines et réaliser des prélèvements avant leur réintroduction dans leur milieu naturel. Il permet également de bénéficier d'une structure pour réaliser des nécropsies des tortues retrouvées décédées en collaboration avec le REMMAT. La détermination des possibles causes de mortalité permet de justifier et renforcer les actions de préservation sur les principales menaces que rencontrent les tortues. Le pôle Connaissances de l'association Oulanga Na Nyamba étant déjà très actif, le centre de soin sera un cadre privilégié pour effectuer des recherches plus approfondies sur le fonctionnement des tortues marines et un point de départ pour leur suivi après réhabilitation.

2. Sensibilisation et éducation

Le centre de soin vise également à sensibiliser la population locale, les touristes, les acteurs économiques et les politiques à l'importance de la conservation des tortues marines. Il s'inscrit dans une optique de tourisme durable et de valorisation de cet emblème mahorais. Au travers de ses actions, des supports de communication et des événements tels que la remise à l'eau publique des tortues soignées, il permet ainsi d'éduquer pour limiter les actes dégradants et favoriser la préservation (quiétude lors des pontes, lutte anti-braconnage, lutte contre les chiens errants). De même, il permettra la mise en relation directe avec les pêcheurs en offrant une solution lors de pêches accidentelles et ainsi les sensibiliser conjointement.

II. Description de la structure

Baptisé la Kaz'a Nyamba (littéralement « maison de la tortue »), le centre de soin sera géré par l'association Oulanga Na Nyamba et se situera sur Petite Terre, en bordure de la vasière des Badamiers (*Figure 26*). Plusieurs intervenants seront en charge du bon fonctionnement du centre, dont trois soigneurs et deux vétérinaires référents.



Figure 26 : Maquette du futur centre de soin avec vue sur les bassins pour les tortues marines au nombre de six (Oulanga Na Nyamba 2022b)

1. Espace réhabilitation et laboratoire

La terrasse de soin abritera six bassins de 9 m² alimentés en eau de mer par des systèmes de pompes. Un bassin d'évaporation sera dédié à la rétention des eaux polluées avec un filtre permettant l'évacuation des eaux non polluées uniquement. L'eau est pompée du côté du lagon et rejetée dans la vasière.

Le dimensionnement du centre de soin pour les tortues marines, déterminé au regard du nombre de tortues potentiellement retrouvées en détresse avec le développement du REMMAT dans les années à venir, prévoit l'accueil de 2 à 4 tortues simultanément en soins, soit 24 tortues soignées annuellement.

Un laboratoire sera dédié aux activités de soins, dont le stockage et la préparation des aliments. Il comportera pour la partie alimentation deux réfrigérateurs et deux congélateurs ainsi qu'une paillasse avec évier. Du matériel pour le suivi médical et les médicaments seront aussi présents dans cet espace.

2. Autres espaces

D'autres espaces sont prévus dans le centre de soin et notamment la zone d'accueil du grand public avec la Maison de la tortue. Ce musée sera un lieu privilégié de sensibilisation du public sur la préservation des tortues marines.

Des bureaux pour le personnel de l'association sont également prévus.

III. Procédure de prise en charge prévue

La prise en charge des tortues marines jusqu'au centre de soin sera mise en œuvre dans le cadre du REMMAT. Lors de la découverte d'une tortue en détresse, un avis vétérinaire sera nécessaire pour évaluer la gravité de son état et choisir entre ces trois options :

- L'animal est viable alors il est décidé de l'aider à retourner dans son milieu naturel
- L'animal nécessite des soins donc il est transporté jusqu'au centre de soin
- L'animal est souffrant et ses chances de survie sont faibles donc l'euthanasie est décidée

Des mesures adaptées sont nécessaires au transport des tortues (bacs de transport, dispositif de régulation de la température dans le fourgon, port de gants lors de la

manipulation des tortues, drap humide sur le corps de la tortue pour éviter la déshydratation, etc.).

Lors de l'arrivée de la tortue au centre, la prise en charge est encadrée par le personnel du centre de soin et coordonnée par un vétérinaire. Un protocole de base sera effectué :

- Examen clinique par le vétérinaire (recherche de lésions, d'anomalies, de fibromes, évaluation de l'état de santé...)
- Radiographie (recherche de fractures, de corps étrangers, d'anomalies internes...)
- Établissement de la fiche de prise en charge et de la fiche de d'hospitalisation
- Pesée, mesures (LD et LC)
- Photographies (blessures, animal entier, profils et écailles préfrontales)
- Test à la fluorescéine pour recherche de fibromes dans les yeux
- Prélèvement de selles/ Ecouvillonnage cloacal pour coproscopie et bactériologie
- Prélèvement de sang pour analyse B12 et NF
- Écouvillonnage de la carapace pour bactériologie et mycologie
- Placement dans un bassin isolé, au moins jusqu'aux résultats des analyses de bactériologie et de mycologie.

Les traitements et soins seront adaptés en fonction de l'état et des symptômes présentés par l'animal. De même, le nourrissage de la tortue se fera après avis du vétérinaire sur son état pour qu'il soit adapté (Oulanga Na Nyamba). Une fiche de prise en charge et une fiche d'hospitalisation constitueront les outils de suivi journalier des soins et des manipulations réalisées mais aussi des comportements alimentaires et excréments observés. Le poids de l'animal sera mesuré toutes les semaines. Ainsi, la quantité, le type d'aliments et la fréquence de nourrissage seront adaptées si nécessaire.

La durée de passage d'une tortue dans le centre de soin dépendra de beaucoup de facteurs, notamment de son état, des soins prodigués et de sa capacité à se réadapter au milieu naturel. Comme expliqué dans la partie 3, un individu peut être relâché si aucun soin ne lui a été prodigué depuis deux semaines, son appétit est normal et son immersion dans l'eau est normale. Le relâcher se fait sur un site déterminé en fonction du stade de vie de l'animal, de sa pathologie, de la qualité de l'eau et de l'accès au littoral, si possible à proximité du site de sa découverte.

Après interrogation, les émergentes ne seront pas prises en charge dans le centre de soin dans la mesure où le nombre de nids à Mayotte est conséquent. Le centre de soin de la Réunion peut prendre en charge les nouveaux nés mais seule une femelle vient pondre en moyenne par an sur les plages réunionnaises contre 4000 environ à Mayotte. D'un point de vue logistique, cela deviendrait vite ingérable pour l'association. De plus, il est nécessaire de limiter l'interventionnisme au risque de rompre l'équilibre déjà très fragile de l'espèce.

B. ETUDE DE TERRAIN DES RESSOURCES ALIMENTAIRES DISPONIBLES ET UTILISABLES A MAYOTTE

I. Critères de sélection des producteurs

Afin d'avoir des produits qualitatifs à travers une vision durable de l'alimentation, nous avons cherché des produits alliant prix réduits, circuit court et préservation environnementale. En effet, nous avons contacté des producteurs locaux, afin de promouvoir l'agriculture sur l'île et éviter d'utiliser des aliments importés. Ces derniers ont un impact environnemental mauvais lié au transport et sont généralement plus chers. Enfin, nous avons priorisé nos recherches pour obtenir des produits végétaux issus d'une agriculture utilisant le moins d'intrants possible.

Le centre de soin étant situé sur Petite Terre, une contrainte géographique est également relevée dans la mesure où la plupart des productions agricoles sont sur Grande Terre. La livraison sur Petite Terre peut être assez compliquée et peu intéressante pour les producteurs.

Pour les produits halieutiques, le principal critère était la traçabilité des produits souvent compliqué à obtenir à Mayotte. Nous avons donc contacté des pêcheurs avec une entreprise certifiée et des produits traçables pouvant fournir une facture. Cette dernière est primordiale car le centre de soin est financé en partie par des bailleurs de fonds européens.

Comme décrit dans la partie 2, ces différents critères ne sont pas aisés à réunir à Mayotte, cependant plusieurs structures peuvent correspondre et ont pu être contactées.

II. Rencontre avec les différents acteurs et création d'une fiche de contact

Lors du stage en juin 2023, plusieurs rendez-vous avec des acteurs du milieu agricole ont été effectués dans le but d'établir une liste de contacts que l'association aura lors de l'ouverture du centre de soin.

Un producteur de Petite Terre a pu être rencontré pour discuter des différents produits présentant un intérêt pour les tortues. Il n'est pas certifié agriculture biologique mais explique qu'il n'utilise aucun produit chimique pour cultiver ses fruits et légumes.

Un rendez-vous avec l'EPFAM (Etablissement Public Foncier et d'Aménagement de Mayotte) a été fixé durant le stage permettant d'avoir des pistes de réflexions des différentes possibilités sur l'apport en ressources du centre de soin avec les contraintes spécifiques fixées. Ils travaillent en collaboration avec des agriculteurs bio ou en conversion bio. Nous avons pu établir une liste de végétaux pertinents et échanger sur la possibilité de réaliser un contrat avec des maraichers de Grande Terre selon la quantité hebdomadaire nécessaire.

Par ailleurs, nous avons pu contacter la COOPAC pour leur présenter le projet et essayer d'évaluer la possibilité de travailler avec eux. Ils vendent des paniers de végétaux et travaillent avec une grande diversité de producteurs (maraicher, vivrier, fruitier, etc.). Ils centralisent la production de 22 agriculteurs de Grande Terre et réalisent des livraisons hebdomadaires sur Petite Terre, ce qui permettrait de lever la contrainte géographique. Néanmoins, cette coopérative agricole ne propose pas de production en agriculture biologique mais souhaite le faire dans un avenir proche (les premiers certifiés doivent l'être courant année 2024). Elle accompagne ainsi les agriculteurs dans une optique d'utilisation d'un minimum de pesticides.

Enfin, pour les produits de la pêche, un échange avec une chargée de mission de la pêche et de l'aquaculture du PNMM a permis de comprendre la structuration de la filière et d'avoir des contacts. Une rencontre avec un pêcheur de Petite Terre a été effectuée durant le stage. Cette personne possède une entreprise et peut faire une facture, ce qui était le critère principal pour l'association. Cet échange a permis de le sensibiliser à la problématique du centre de soin et d'établir un premier contact dans l'éventualité d'une collaboration lors de l'ouverture du centre de soin. Nous avons pu déterminer les prix des différents produits et appréhender les

pratiques de pêche. D'autres pêcheurs ont été contactés dans la même optique. La poissonnerie Captain Alandor a été contactée mais aucun rendez-vous n'a pu être organisé durant le temps de stage. Les prix proposés par cette entreprise semblent trop élevés pour les considérer pour les ressources alimentaires des tortues marines mais les sous-produits, tels que les têtes de thon, sont plus accessibles et peuvent contribuer de la même manière à un apport de nutriment correct pour les individus en soin.

III. Produits retenus et prix

Pour la sélection des produits, la contrainte de la saisonnalité doit être prise en compte car il est nécessaire d'avoir de la nourriture au maximum locale toute l'année. L'appétence des produits est également à considérer mais dans la mesure où le centre de soin n'a pas commencé son activité, ce point n'a pas pu être vérifié. Ainsi, une diversité de produits est proposée et sera à adapter selon la disponibilité et la préférence des individus en soin.

1. Produits végétaux

1.a) Brède manioc

Le manioc (*Manihot esculenta*) est une plante cultivée dans la majeure partie du monde tropical non aride, principalement pour ses racines, constituant l'aliment de base pour plus de 500 millions de personnes dans le monde (Montagnac, Davis, Tanumihardjo 2009). Le manioc est résistant aux environnements défavorables et tolère de grandes variations en termes de précipitations. A Mayotte, il constitue la deuxième production agricole derrière la banane sur les parcelles familiales. Il est apprécié pour la consommation de ses racines, mais aussi de ses feuilles (ou brèdes) pour constituer un plat appelé mataba (*Figure 27*).



Figure 27 : Feuilles de manioc (Pixabay, CC)

1.b) Moringa

Moringa oleifera, connue plus généralement sous le nom de Moringa, est un arbuste de la famille des Moringacées utilisé comme brède et comestible (Figure 28). Cette plante est présente dans une grande partie des pays du sud. Les organes de l'arbuste ne contiennent pas de toxines et les jeunes feuilles sont couramment consommées cuites.



Figure 28 : Branche de *Moringa oleifera* (Pixabay, CC)

1.c) Pé-tsaï et pak-choï

Les choux chinois, nommé pé-tsaï (*Brassica rapa* L. subsp. *pekinensis*) et pak-choï (*Brassica rapa* L. subsp. *chinensis*) sont des sous-espèces de la famille des Brassicacées et consommées comme légume (Figure 29). Ce sont des espèces bien adaptées à Mayotte (Vanhuffel, Huat 2019).



Figure 29 : Pé-tsaï (*Brassica rapa* L. subsp. *pekinensis*) à gauche et pak-choï (*Brassica rapa* L. subsp. *chinensis*) à droite (Wikimedia commons, CC)

1.d) Brède mafane

La brède mafane (*Acmella oleracea*), ou cresson du Pará, est une espèce de plante à fleurs de la famille des Asteraceae (Figure 30). Elle est utilisée dans le SOOI, comme dans le plat malgache Romazav, et en Asie du sud-est.



Figure 30 : Brède mafane ou Cresson du Pará (Wikimedia commons, CC)

1.e) Laitue

La laitue (*Lactuca sativa*) est une plante de la famille des Astéracées. Cette espèce bisannuelle est cultivée dans la plupart des pays du monde pour la consommation de ses feuilles tendres.

1.f) Brède courge

La courge regroupe un ensemble d'espèces de la famille des Cucurbitacées. Cette plante, très adaptée au climat chaud, fait office d'un grand intérêt pour la production agricole. Contrairement à son fruit, la feuille n'est pas ramassée ni consommée et peut donc représenter une denrée intéressante pour l'alimentation des tortues.

1.g) Brède patate douce

La patate douce (*Ipomea batatas*) est une espèce de la famille des Convolvulacées, cultivée pour son tubercule. La patate douce est très adaptée aux conditions de culture de Mayotte. Les brèdes peuvent constituer un aliment de substitution intéressant pour les tortues marines.

1.h) Poivron

Les poivrons sont des variétés de piments doux de l'espèce *Capsicum annuum*. Ils ne sont pas cultivés en grande quantité à Mayotte mais constituent l'aliment de substitution qui se rapproche le plus d'un phanérogame marin (Bluvias, Eckert 2010). Ainsi, lorsqu'ils sont disponibles sur l'île, il peut être intéressant de les intégrer à la ration alimentaire des tortues du centre de soin.

2. Prix à titre indicatif produits végétaux

Les prix sont ceux approximatés selon les mercuriales de la DAAF et peuvent varier au fil du temps selon la disponibilité des ressources et la période de l'année. Le moringa et les brèdes de courge et de patate douce n'étant pas vendus, aucun prix ne peut être donné.

	Prix au kilo
Brède manioc	1 €
Pé-tsaï	2,00 €
Brède mafane	4,20 €
Salade	8,20 €
Poivron	8,90 €

Tableau 4 : Prix approximatés des végétaux vendus à Mayotte selon les mercuriales de la DAAF en 2023

3. Produits animaux

Afin de compléter l'alimentation des tortues vertes et de nourrir les tortues imbriquées, des commandes de produits de la mer sont prévues.

2.a) Thon et sous-produits

Le thon, et notamment les sous-produits comme la tête de thon, est un produit intéressant pour apporter les protéines et l'énergie. Disponible

2.b) Autres poissons

D'autres poissons peuvent être utilisés, notamment des poissons récifaux qui sont pêchés quotidiennement à Mayotte. Selon la disponibilité et le prix, l'espèce peut changer et il conviendra de faire une approximation des valeurs nutritionnelles par groupe pour pouvoir réaliser les rations alimentaires.

2.c) Calamars

Ce produit est souvent donné dans les centres de soins pour leur appétence et leur disponibilité. Des calamars peuvent être trouvés en vente à Mayotte mais ne représentent pas forcément le produit le plus intéressant en termes de disponibilité et de valeurs nutritionnelles, dans la mesure où le rapport phospho-calcique est très mauvais. Il pourrait être utilisé pour la dissimulation de médicaments afin de faciliter la prise par l'animal au vu de son appétence.

Il sera nécessaire de tester les différents produits pour apprécier leur appétence chez les tortues dans la mesure où pour certains produits, les données ne sont pas disponibles.

C. ANALYSE DES CONTENUS STOMACaux DES TORTUES RETROUVEES A MAYOTTE

Afin d'étayer la veille bibliographique réalisée sur l'alimentation naturelle des tortues marines, une analyse expérimentale sur les contenus stomacaux de tortues décédées a été effectuée. La composition de l'alimentation des tortues peut être évaluée par diverses techniques. Les méthodes traditionnelles sont l'observation directe à l'aide de tuba ou de plongée sous-marine, l'analyse du contenu gastro-intestinal des tortues décédées et le lavage de l'œsophage ainsi que l'examen des fèces (Esteban et al. 2020).

Cette partie expérimentale avait pour but d'apporter des informations sur l'alimentation en milieu naturel des tortues à Mayotte et a été faite en collaboration avec Oulanga Na Nyamba et le Parc Naturel Marin de Mayotte. La fiche nécropsie utilisée par l'association a été dans ce cadre améliorée par mes soins (ANNEXE 1). En effet, la fiche utilisée précédemment n'était pas assez explicite et exhaustive. Après discussion avec Oulanga Na Nyamba, une nouvelle fiche a donc été réalisée.

I. Matériel et méthode

1. Prélèvement des contenus stomacaux

L'étude des contenus stomacaux s'est réalisée lors d'un stage effectué à Mayotte au mois de Juin 2023. Les bols alimentaires ont été récupérés sur huit individus retrouvés décédés ou euthanasiés entre le 1^{er} décembre 2020 et le 04 mai 2023. Deux tortues imbriquées et six tortues vertes ont été analysées (*Tableau 5*). Deux sessions de dissection se sont organisées pendant le mois de Juin.

Durant la première session, les tubes digestifs étaient déjà séparés des cadavres lors de la manipulation. Ils ont été conservés par congélation et mis à décongeler la veille des dissections. On compte lors de cette session quatre tubes digestifs : trois tubes digestifs entiers de Cm femelle et juvéniles et un d'une Cm mâle où le gros intestin était manquant. Pour deux individus, une Cm et une Ei, les bols alimentaires étaient déjà sortis du tube digestif et avaient été gardés au congélateur dans des sachets. Pour ces derniers, aucune dissection n'a été nécessaire.

Chaque tube digestif a été ouvert en globalité et, lorsque cela était possible, a été séparé en trois sections : œsophage/estomac, intestin grêle et gros intestin. Les contenus alimentaires étaient homogénéisés pour chaque section de tube digestif et un échantillon était prélevé dans un sachet étanche refermable identifié par individu et par section puis entreposé dans un congélateur pour être analysé ultérieurement. Des photos globales ont été prises pour chaque tube digestif.

Pour la deuxième session, les cadavres de tortues étaient entiers et des nécropsies totales ont été effectuées. Trois tortues ont été autopsiées, deux tortues vertes et une tortue imbriquée juvéniles, mais sur l'une des tortues vertes la totalité des viscères de la cavité caelomique était absente, ne laissant que deux tubes digestifs disponibles pour analyse. Après retrait du tube digestif des cadavres, la même opération que pour la première session était réalisée.

Les dissections étaient effectuées conjointement à un autre projet portant sur l'ingestion de micro et macrodéchets par les tortues marines, régi par le PNMM.

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des tortues marines décédées et dont le contenu stomacal a été analysé (Cm : Chelonia mydas ; Ei : Eretmochelys imbricata ; M : mâle ; F : femelle ; I : indéterminé)

Identification	Cadavre trouvé le :	Espèce	Stade de vie	Sexe
2020-12-01_22_Cm_J_1	2020-12-01	Cm	Juvénile	I
2021-04-29_17_Cm_F_1	2021-04-29	Cm	Adulte	F
2021-08-17_78a_Cm_F_1	2021-08-17	Cm	Adulte	F
2022-03-22_78a_Ei_M_1	2022-03-22	Ei	Adulte	M
2022-04-18_80_Cm_M_1	2022-04-18	Cm	Adulte	M
2022-04-21_78a_Cm_F_1	2022-04-21	Cm	Adulte	F
2022-10-26_78a_Cm_I_1	2022-10-26	Cm	Juvénile	I
2023-04-20_78a_Cm_I_1	2023-04-20	Cm	Sub-adulte	F
2023-05-04_ACMH_Ei_I_1	2023-05-04	Ei	Juvénile	I

2. Analyse des contenus stomacaux

Chaque échantillon était décongelé et déposé en totalité dans un bac en plastique. Un criblage était ensuite effectué et chaque élément morphologiquement différent était mis de

côté pour une identification à la loupe binoculaire, voire au microscope électronique (Figure 31). Pour les éléments végétaux, algues ou herbiers marins, une identification de la famille et, quand cela était possible, du genre et de l'espèce était réalisée. Pour les autres éléments, notamment les éponges, l'identification plus précise n'a pas été faite.

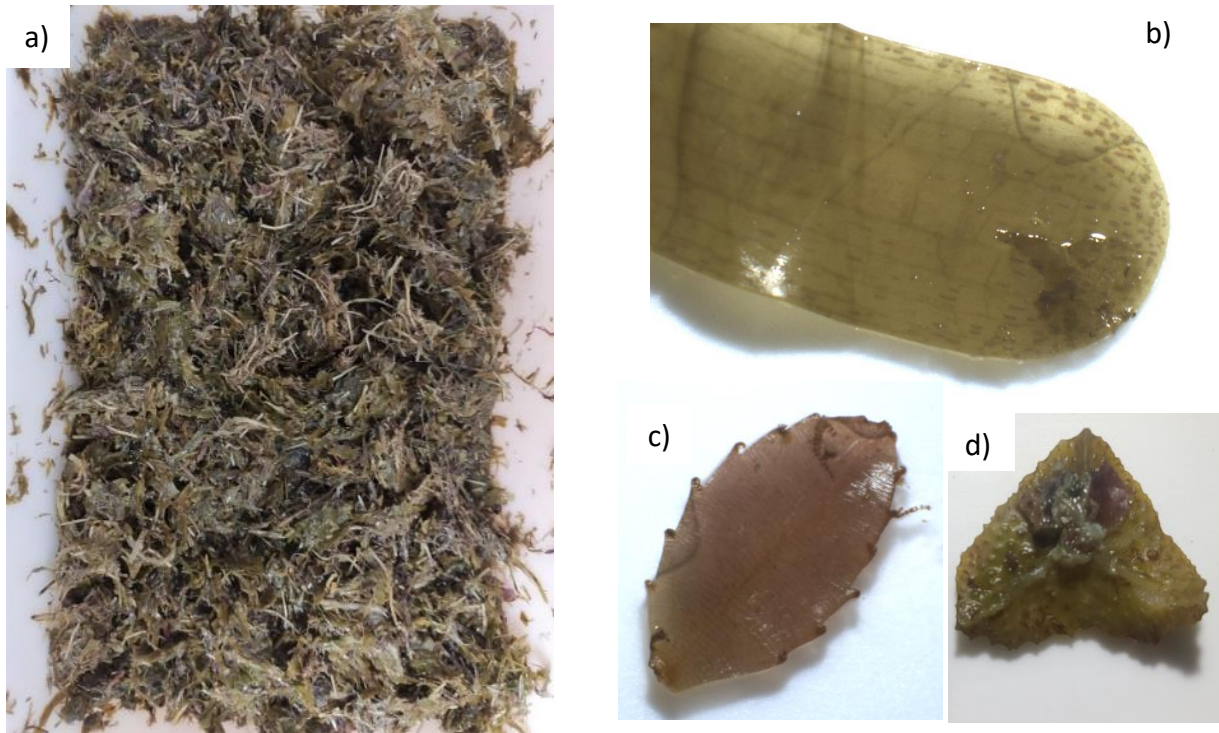


Figure 31 : Photo globale du bol alimentaire d'une tortue verte juvénile (a), photo d'un limbe de Thalassia hemprichii (b) et d'une feuille d'Amansia sp. (c) à la loupe binoculaire et de Turbinaria sp. à l'œil nu après isolation (©Anaëlle Varais – Juin 2023)

Même si nous avons procédé uniquement à une analyse qualitative des contenus, l'appréciation des éléments qui paraissent en grande majorité a été indiquée afin de savoir ce qui dominait le régime de chaque individu.

Pour entreprendre l'identification des éléments des bols alimentaires, les documents relatifs à la flore marine de Mayotte et du canal du Mozambique ainsi que les préférences alimentaires des tortues marines ont été recoupés pour faciliter les recherches (Kerninon 2020; Dedeken, Ballorain 2015; Mollion 2020).

II. Résultats

Cette étude a permis de caractériser l'alimentation de différents individus à Mayotte (Tableau 6). Pour les tortues vertes, on a pu observer soit une abondance de phanérogames

marines, telles que *Thalassia hemprichii*, *Halodule uninervis* ou des espèces de la famille Cymodoceaceae. Les algues rouges (phylum Rhodophytes) sont aussi importantes dans le bol alimentaire de ces espèces. On retrouve des algues du genre *Amansia*, *Gracilaria*, *Hypnea*, *Galaxaura*, *Gelidiella*. L'algue brune *Turbinaria sp.* était également fréquemment retrouvée. De la matière animale a été retrouvée dans tous les échantillons digestifs des tortues marines quel que soit le stade de vie.

Les bols alimentaires des tortues imbriquées étaient majoritairement composés d'éponges qui n'ont pas pu être identifiées et d'algues rouges.

On remarque également que la quantité de nourriture pour la femelle retrouvée en période de ponte était plus faible, corroborant l'idée que les tortues ne se nourrissent que très peu en période de reproduction.

Tableau 6 : Exemple de résultats de l'analyse du bol alimentaire pour la tortue 2020-12-01_22_Cm_J_1 (Cm : *Chelonia mydas*, Juv : juvénile, I : indéterminé, NI : non identifié)

Individu	Espèce	Stad	Sexe	Section tube digestif	Phylum	Famille	Genre	Espèce
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Œsophage-estomac	Phanérogames	Hydrocharitaceae	<i>Thalassia</i>	<i>hemprichii</i>
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Œsophage-estomac	Phanérogames	Hydrocharitaceae	<i>Thalassia</i>	<i>hemprichii</i>
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Œsophage-estomac	Phanérogames	Cymodoceaceae	NI	NI
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Œsophage-estomac	Phanérogames	Cymodoceaceae	NI	NI
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Œsophage-estomac	Rhodophyta	Cystocloniaceae	<i>Hypnea</i>	NI
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Œsophage-estomac	Rhodophyta	Galaxauraceae	<i>Galaxaura</i>	<i>rugosa</i>
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Œsophage-estomac	Rhodophyta			
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Œsophage-estomac	Chlorophyta	Siphonocladaceae	<i>Dictyosphaeria</i>	<i>cavernosa</i>
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Œsophage-estomac	Rhodophyta			
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Œsophage-estomac	Rhodophyta	Gracilariaceae	<i>Gracilaria</i>	<i>salicornia</i>
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Œsophage-estomac	Matière animale			
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Œsophage-estomac	Matière minérale			
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Intestin grêle	Phanérogames	Hydrocharitaceae	<i>Thalassia</i>	<i>hemprichii</i>
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Intestin grêle	Phanérogames	Cymodoceaceae	<i>Syringodium</i>	<i>isoetifolium</i>
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Intestin grêle	Rhodophyta	Cystocloniaceae	<i>Hypnea</i>	NI
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Intestin grêle	Pheophyta	Sargassaceae	<i>Turbinaria</i>	NI
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Intestin grêle	Rhodophyta	Gelidiellaceae	<i>Gelidiella</i>	<i>acerosa</i>
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Intestin grêle	Eponges			
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Gros intestin	Phanérogames	Hydrocharitaceae	<i>Thalassia</i>	<i>hemprichii</i>
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Gros intestin	Phanérogames	Cymodoceaceae	<i>Halodule</i>	<i>uninervis</i>
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Gros intestin	Rhodophyta	Gelidiellaceae	<i>Gelidiella</i>	<i>acerosa</i>
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Gros intestin	Rhodophyta			
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Gros intestin	Rhodophyta			
2020-12-01_22_Cm_J_1	Cm	Juv	I	Gros intestin	Eponges			

III. Discussion

Cette analyse a permis d'évaluer les habitudes alimentaires d'individus retrouvés décédés à Mayotte. L'analyse d'un tube digestif disséqué fournit un enregistrement non biaisé de la nourriture récemment ingérée. Néanmoins, l'identification des végétaux et de la matière animale retrouvés dans les bols alimentaires peut s'avérer très difficile. Les débris végétaux et animaux sont quasiment intacts dans l'œsophage mais sont totalement dégradés au niveau

intestinal, rendant l'identification quasiment impossible. De même, certains aliments semblent plus facilement digérés que d'autres, amenant à un biais d'identification.

Cette technique est également très subjective et l'expertise de l'observateur joue énormément sur les résultats obtenus. De plus, lors de la dissection, une grande hétérogénéité a été observée selon les sections du tube digestif avec des séparations nettes entre différents types d'aliments selon les repas (Figure 32). Cette hétérogénéité a pu être limitée en mélangeant des prélèvements effectués sur plusieurs zones.

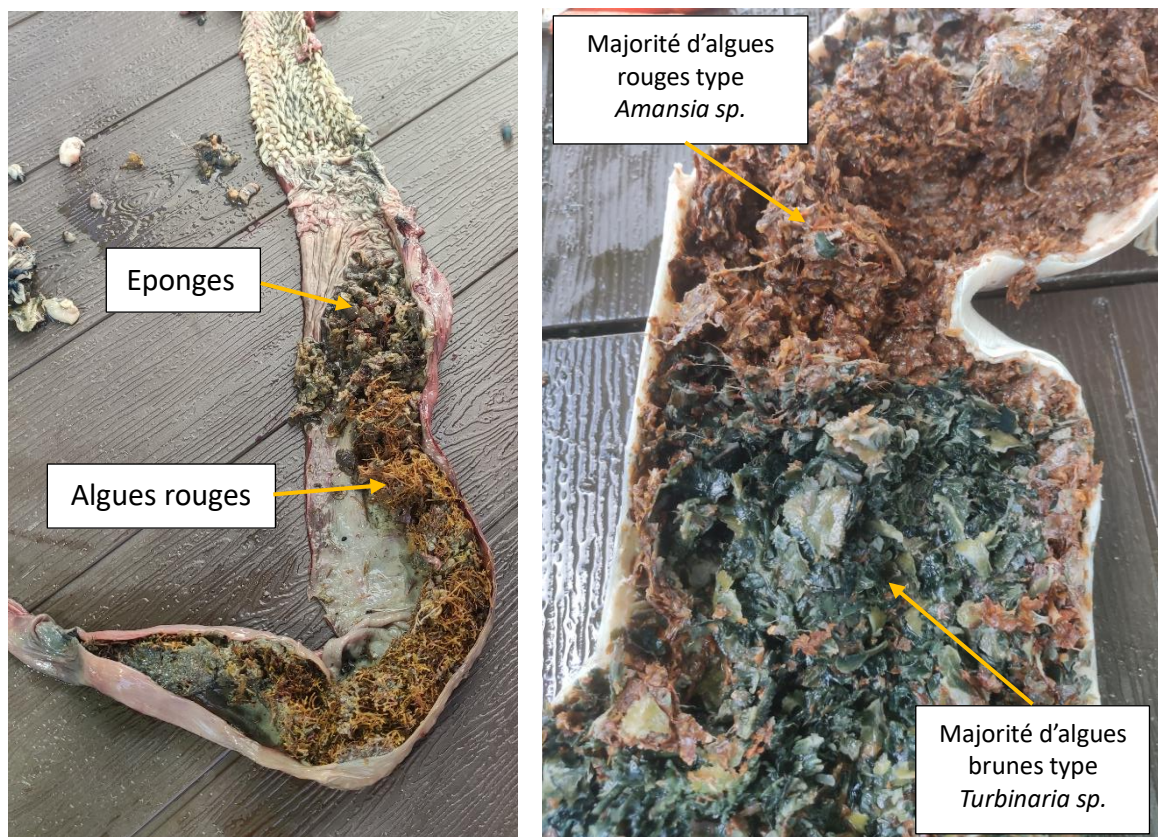


Figure 32 : Photo d'un tube digestif d'une tortue imbriquée nécropsiée (à gauche) et d'une tortue verte (à droite) avec séparation nette de plusieurs types d'aliments (@Anaëlle Varais – Juin 2023)

IV. Ouverture

Afin d'approfondir l'étude des contenus alimentaires et de préciser les espèces trouvées, l'idée de réaliser des analyses d'ADN (acide désoxyribonucléique) environnemental a été évoquée pendant le stage. En effet, cette technique consistant en l'identification d'espèces à partir de l'ADN qu'elles laissent dans leur environnement, est de plus en plus utilisée au cours de ces dernières années. Les études alimentaires ont été révolutionnées par l'avènement de

cette technique qui a été utilisée pour caractériser le régime alimentaire de nombreuses espèces marines (Corse et al. 2015; 2010). Cette approche a été utilisée également pour caractériser le microbiome intestinal des tortues caouannes. Cette technique est intéressante pour la faune sauvage car peu invasive. En effet, elle est basée sur un système d'écouvillonnage œsophagien pour récupérer de l'ADN du contenu digestif. Elle est donc moins intrusive qu'un lavage œsophagien traditionnel, elle réduit la manipulation des animaux et est également facilement reproductible (Díaz-Abad et al. 2021). Dans les études réalisées sur les tortues, les résultats d'analyse alimentaire entre le metabarcoding et l'observation directe semblent complémentaires. En effet, la première méthode est plus facile à réaliser une fois que le protocole est bien établi et nécessite beaucoup moins de temps. Cependant, l'identification des espèces est plus délicate dans la mesure où la détection se fait davantage à l'échelle de la famille. En outre, des manques peuvent être associés au fait que les séquences ADN de certaines proies ne sont pas disponibles dans les bases de données de références, contrainte qui sera amenée à se réduire avec le temps. Cette approche est donc complémentaire de l'observation directe qui est chronophage et subjective mais plus précise dans l'identification.

Dans notre expérience, des échantillons réalisés le plus soigneusement possible pour éviter les contaminations (prélèvement en début de manipulation de l'échantillon de contenu stomacal, port de gant) ont été stockés au congélateur pour des analyses ultérieures. En effet, après discussion avec M. Emmanuel Corse travaillant au Centre Universitaire de Formation et de Recherche de Mayotte, il est nécessaire d'avoir les amorces correspondant à l'ADN de tortues pour le supprimer et ne garder que l'ADN des espèces consommées. Ces amorces n'étant pas disponibles, il faudrait les créer ce qui représente un budget de plusieurs milliers d'euros. L'analyse n'a pas pu être faite dans le cadre de cette thèse mais serait intéressante à faire ultérieurement pour comparer les résultats avec ceux de l'observation directe. De plus, cette technique pourrait être utilisée plus couramment en routine pour apporter des données sur l'alimentation des tortues marines qui passent par exemple au centre de soin. Des écouvillonnages œsophagiens pourraient être mis en place systématiquement pour identifier le régime alimentaire naturel des tortues marines. Ces données seraient utiles dans la compréhension globale de l'écologie alimentaire des tortues à Mayotte mais pourraient également servir à l'adaptation des rations alimentaires.

D. ANALYSES DES VALEURS NUTRITIONNELLES

I. Nutriments et formulation d'une ration

La formulation d'une ration est la conception d'un mélange d'aliments qui, lorsqu'ils sont mangés dans les quantités voulues, vont fournir les nutriments nécessaires à l'animal. Tous les aliments contiennent de l'eau et des nutriments qui sont des acides aminés, des acides gras, des minéraux, des vitamines, et de l'énergie (Dryden 2008). On peut exprimer la concentration d'un nutriment d'un aliment par sa teneur dans la matière sèche ou dans la matière brute (matière sèche et eau). La comparaison des régimes alimentaires se fait plus facilement en exprimant les composants en pourcentage de matière sèche.

L'énergie métabolisable (EM) ou les kcal EM par unité de volume ou de poids permet d'évaluer les aliments. L'EM est estimée à l'aide des calculs d'Atwater. L'eau est le nutriment le plus important. Trois sources d'eau sont disponibles pour les animaux : l'eau alimentaire (dans la nourriture), l'eau métabolique (formée à partir du métabolisme cellulaire) et l'eau environnementale.

Assurer un équilibre adéquat entre les macronutriments, tels que les protéines, les glucides et les lipides, est crucial. Les protéines sont essentielles pour la croissance et la réparation des tissus, les glucides fournissent de l'énergie, et les lipides jouent un rôle dans le stockage d'énergie (Dryden 2008). D'autre part, les micronutriments, tels que les vitamines et de minéraux, sont essentiels pour maintenir une santé optimale.

Proposer une variété d'aliments se rapprochant du régime naturel des tortues marines est important pour garantir un apport nutritionnel complet.

Pour ce travail, nous nous sommes concentrés sur les valeurs en protéines, lipides, glucides dont les fibres, les cendres et les minéraux calcium et phosphore. Pour être plus précis, il serait nécessaire de compléter avec les données en autres minéraux, en acides aminés et en vitamines pour évaluer plus précisément les apports pour chaque aliment. Des éléments de réflexion seront cependant apportés dans cette optique avec les avantages exposés pour chaque produit.

II. Valeurs nutritionnelles des produits et comparaison avec les aliments du milieu naturel

1. Informations sur les nutriments de l'alimentation naturelle

Les phanérogames et algues les plus souvent identifiées chez les tortues lors de l'analyse des contenus stomacaux ont été retenus dans l'analyse. Lors de la recherche bibliographique, seules les informations nutritionnelles d'espèces du même genre ont pu être retrouvées et non des espèces spécifiques.

Les phanérogames marines font partie intégrante de l'alimentation des tortues vertes. Elles produisent des glucides par photosynthèse et sont riches en fibres. Outre la cellulose et les galactanes, les parois cellulaires des algues rouges ont une teneur élevée en protéines.

Chondrilla nucula est l'une des éponges qui compose le régime alimentaire des tortues imbriquées. La qualité protéique de *C. nucula* est élevée avec une composition en acides aminés similaire à celle du tourteau de soja décortiqué.

Les données des valeurs nutritionnelles ont été récupérées dans plusieurs articles et sont formulées en pourcentage de matière sèche (% MS).

2. Informations sur les nutriments des produits pour le milieu captif

Pour la formulation des rations, nous avons choisi des plantes qui étaient disponibles sur le territoire de Mayotte. Des recherches bibliographiques ont été réalisées pour connaître les valeurs nutritionnelles des végétaux qui pourraient être utilisés afin de les comparer à celles des plantes marines consommées par les tortues vertes en milieu naturel. Comme évoqué dans le B.II.3), les végétaux potentiels pour les rations sont : les feuilles de moringa (*Moringa oleifera*), les brèdes de manioc (*Manihot esculenta*), les choux chinois Pé-tsaï (*Brassica rapa subsp. pekinensis*) et Pak-choï (*Brassica rapa subsp. chinensis*), les brèdes mafane (*Acmella oleracea*), la laitue romaine (*Lactuca sativa*), les brèdes de courge (*Cucurbita moschata*), les brèdes de patate douce (*Ipomea batatas*) et les poivrons (*Capsicum annum*).

Les brèdes de manioc sont considérées comme riches en protéines, en calcium, en fer et en vitamines comparées à d'autres brèdes et à d'autres aliments végétaux (Lancaster, Brooks 1983). La maturité des feuilles influence sur leur composition nutritionnelle. En effet, il a été

observé que plus les feuilles de manioc sont matures et plus la teneur en protéines diminue, parallèlement à l'augmentation de la teneur en fibres et en lipides (Latif, Müller 2015). Les valeurs notées dans le tableau sont donc des valeurs moyennes des données de la littérature dans un souci de facilité pour la lecture.

Les feuilles de moringa sont d'une valeur nutritive extrêmement importante. Elles sont exceptionnellement riches en provitamine A, en vitamines du groupe B et C, en minéraux (et en particulier en fer) et en acides aminés méthionine et cystéine, sources de soufre (Rabia 2017).

Les brèdes de patate douce et les poivrons semblent plus pauvres en calcium qu'en phosphore et ne sont donc pas les meilleurs aliments pour l'alimentation des tortues marines par rapport à ce critère.

3. Eléments de comparaison

Les tableaux 7 et 8 regroupent les données de la littérature qui ont pu être trouvées sur les différents aliments naturels et possibles en milieu captif.

Il est intéressant de voir sur la partie végétale que le taux de protéines exprimé en pourcentage de matière sèche est globalement plus élevé dans les végétaux terrestres que dans les phanérogames ou algues marines. Cela peut être intéressant pour l'apport nutritif pendant la réhabilitation. La problématique d'apparition d'une hyperuricémie par excès d'apport protéique est cependant à prendre en compte, notamment si le régime alimentaire est supplémenté en matière animale pour les tortues vertes.

Les taux de lipides sont assez similaires à ce qu'on peut trouver dans les herbiers et algues marines. Pour les glucides dans les aliments naturels des tortues vertes, le taux se situe entre 45 et 73% de la matière sèche, ce qui est également le cas pour les végétaux terrestres. Cependant, le taux de fibres est très varié entre les différents légumes. Cela peut aussi s'expliquer par le croisement des sources bibliographiques donnant des informations variées.

Nous pouvons observer des similitudes entre les compositions biochimiques des végétaux marins et terrestres. Cependant, il est important de noter que les végétaux proposés pour le milieu captif ne peuvent pas remplacer parfaitement l'alimentation naturelle des tortues marines.

Tableau 7 : Valeurs nutritionnelles des aliments naturels principaux. Les valeurs sont exprimées en % de matière sèche sauf pour la matière sèche qui est exprimé en % de la matière totale

PRODUITS	Energie (kcal/100g)	Matière sèche	Protéines	Lipides	Glucides	dont fibres	Cendres
Halodule sp. (feuille)	330	21,25	17,5	1,7	54,1	38,8	27
<i>Dawes et al.(1980)</i>							
Halodule sp. (rhizome)	360	15,25	8	0,9	73,5	28,5	17,5
<i>Dawes et al.(1980)</i>							
Thalassia sp.(feuille)	277,5	17,25	13	2	45	37,3	35,8
<i>Dawes et al.(1980)</i>							
Thalassia sp.(rhizome)	310	15,75	10	0,9	59,5	36,3	29,8
<i>Dawes et al.(1980)</i>							
Syringodium sp. (feuille)	295	18,5	10,8	3,4	55	36	30,8
<i>Dawes et al.(1980)</i>							
Syringodium sp. (rhizome)	360	14,5	8	1,6	73	30,5	17,5
<i>Dawes et al.(1980)</i>							
Turbinaria sp.			9,2	2,2	48,8	38,1	39,8
<i>Zubia et al.</i>							
Amansia sp.	194	20,2	12,3	3,7	46,1	25,8	38
Sargassum sp.	211	13,6	10,3	3,8	53,9	43,4	32
<i>Zubia et al.</i>							
Hypnea sp.	167	10	10,4	5,4	43,8	42	40,4
Chondrilla nucula		50,9	53,1				7,4
<i>Bjorndal (1990)</i>							

Tableau 8 : Valeurs nutritionnelles des végétaux et produits de la mer proposés pour les rations. Les valeurs sont exprimées en % de matière sèche sauf pour la matière sèche qui est exprimé en % de la matière totale.

PRODUITS	Energie (kcal/100g)	Matière sèche	Protéines	Lipides	Glucides	dont fibres	Cendres	Calcium	Phosphore	Ca : P
Brède manioc	91		31,4	5,7	60,8	16,5	6,4	0,82	0,39	2,1 : 1
<i>Latif et Müller (2015)</i>										
Moringa (feuilles fraîches)	95,8	24,1	27,8	7,1	55,6	3,7	10,5	1,83	0,29	6,2:1
<i>Suresh et Sisodia (2018); Islam et al (2021)</i>										
Pé-tsaï / pak-choï	17	5	29,3	3,4	53,4	12,1	13,8	0,74	0,69	1,1:1
<i>Vanhuffel et Huat (2019)</i>										
Brède mafane	113,4	7	24,1	1,5	63,4	62,6	10,9	2,55		
<i>Neves et al. (2018)</i>										
Laitue	17	5	21	3,2	49,4	26,7	3,3	1,36	0,5	2,7:1
<i>Vanhuffel et Huat (2019); FDC USDA</i>										
Brède courge	25	11	36,4	1,8	40	21,8		4,32		3,6:1
<i>Vanhuffel et Huat (2019)</i>										
Brède patate douce	47,1	17	24,85	4,9	59,2	7,2	11,1	0,16	0,22	0,7:1
<i>Vanhuffel et Huat (2019) ; Antia et al. (2006)</i>										
Poivron vert	44	6,6	18,2	3	72,7	21,2	6,1	0,14	0,33	0,4:1
<i>Vanhuffel et Huat (2019); Bluvias et Eckert (2010)</i>										
Thon albacore (muscle)		30	65,3	10,1	79,9		4,5			
Tête de thon		28,2	79,8	2,9			3,3			
<i>Karunaratna et Attygalle (2010)</i>										

E. CONSTITUTION DES RATIONS

Afin d'évaluer les rations alimentaires à chaque individu, il est nécessaire d'évaluer au préalable la condition physique de l'animal. Cette évaluation peut se faire en observant le plastron, la masse musculaire autour des membres et de la nuque et de la forme de la queue.

Une tortue avec un bon état d'engraissement présentera un plastron bombé, une masse musculaire significative et une queue souvent épaisse. A l'inverse, le plastron est creusé voire concave avec une masse musculaire minime chez les tortues cachectiques. Pour quantifier l'état corporel de l'animal, l'indice d'état corporel est un bon indicateur. Chez les tortues vertes et imbriquées, cet indice est calculé à partir du poids et de la longueur de la carapace selon la méthode de Bjorndal et al. (2000) :

$$\text{IEC} = (\text{Poids (kg)} / \text{Longueur de la carapace (cm)}^3) \times 10000$$

Tableau 9 : Indice d'état corporel en relation avec l'interprétation visuelle subjective de l'état corporel chez la tortue verte (Chelonia mydas) (Baron 2014)

Note d'état corporel	Indice d'état corporel	Interprétation visuelle subjective
3	> 1.20	Bon
2	1.11-1.20	Moyen
1	1.00-1.10	Mauvais
0	< 1.00	Cachexie

Nous avons pu voir dans les parties précédentes les besoins et contraintes à respecter pour créer les rations alimentaires des tortues marines. Les points qui nous semblent importants sont les suivants :

- Donner des rations riches en début de réhabilitation puis adaptation à un régime plus proche du régime alimentaire naturel pour éviter les problèmes et compromettre la réhabilitation (changement microflore, déséquilibre minéral, etc.)
- Donner entre 1% et 5% du poids corporel, le pourcentage le plus faible étant pour les individus en entretien et le plus fort pour les tortues malades, émaciées ou jeunes
- Vérifier le rapport phospho-calcique qui doit être entre 1 :1 et 2 :1
- Distribution de deux repas par jour minimum si possible pour chaque tortue en soin (plus si nécessaire, dans le cadre d'un protocole de gavage par exemple)

Les éléments qui sont proposés dans cette partie sont des éléments de réponse mais ne donnent pas de recette parfaite pour chaque individu. En l'absence de données précises sur

les besoins des tortues marines, il est difficile d'avoir des quantités précises nécessaires à donner. Les soigneurs et vétérinaires de la structure auront pour objectif l'observation de l'évolution de l'état de l'animal pour adapter au mieux sa ration alimentaire avec les produits disponibles.

I. Ration alimentaire tortue verte adulte et juvénile

D'après toutes les données recueillies dans ce travail, il est décidé qu'un régime mixte de matière animale et végétale doit être donné chez les tortues vertes à leur arrivée. Pour les tortues juvéniles, l'apport en matière animale est très important pour leur croissance. Après 30cm de CCL, l'individu sera considéré juvénile. Les végétaux peuvent ainsi être intégrés dans son alimentation. Une tortue verte adulte mesurant en moyenne 110 cm, on considérera qu'une tortue qui se rapproche de cette taille aura un régime alimentaire majoritairement herbivore. Les proportions sont ainsi à adapter selon la taille et donc le stade de vie de l'animal.

Lors de l'arrivée des tortues, une moitié de ration alimentaire peut être constituée de poisson et l'autre de végétaux. Selon l'état initial de la tortue et la nécessité d'apport en énergie, la proportion de produits animaux est à augmenter ou à diminuer. Lorsque la tortue commence à s'alimenter correctement, la quantité de matière animale peut être diminuée progressivement en faveur des végétaux pour les tortues adultes.

Par exemple, pour une tortue verte adulte de 110kg avec une longueur courbe de la carapace (CCL) de 100 cm qui arrive dans le centre de soin en mauvais état (cause indéterminée). Son IEC est de 1.1, entre une condition moyenne à mauvaise. Une alimentation à base de thon est proposée dans un premier temps pour la reprise d'état. En parallèle, des végétaux terrestres (brède manioc et moringa) sont proposés. Le suivi de prise alimentaire est ainsi réalisé lors des distributions deux fois par jour. Lors des premiers repas, il convient d'évaluer le mode de distribution qui correspond à l'animal. On peut commencer par proposer l'aliment en distribution libre si l'animal semble être en état de se nourrir de cette manière. Sinon, on peut commencer par une distribution à la pince pour stimuler l'appétit de l'animal même si cette méthode augmente les risques d'habituation à l'Homme.

Les recommandations nutritionnelles en macronutriments et minéraux pour les tortues vertes ne sont pas vraiment connues. Le calcul des rations par rapport à ces données semble

difficile à réaliser et devra donc être fait approximativement aux valeurs nutritionnelles des aliments naturels.

II. Ration alimentaire tortue imbriquée

Dans l'ensemble, les mêmes règles que pour les tortues vertes sont à appliquer. La quantité de matière animale doit être cependant plus grande que pour les tortues vertes adultes au vu de leur régime omnivore en milieu naturel. Les données bibliographiques étant beaucoup moins nombreuses pour cette espèce, les formulations des besoins ne sont pas du tout disponibles. Les produits de la pêche, tels que le thon, ressemblent aux éponges en termes de composition (cf. Partie 4 D.II.3). On utilisera donc ces produits pour moduler les rations et apporter l'énergie et les nutriments nécessaires aux tortues.

III. Ration alimentaire si sondage

Si une tortue ne parvient pas à s'alimenter seule après un certain temps et que son état se dégrade de manière accélérée, il peut convenir d'entamer un protocole de gavage. Le protocole décrit en ANNEXE 3 peut servir de base pour réaliser la procédure. Une adaptation de la mixture avec les produits disponibles doit être faite. Les différents produits de la pêche peuvent être remplacés par les poissons utilisés au centre de soin, de même pour les épinards qui ont globalement la même composition que les brèdes et les choux chinois.

IV. Règles d'hygiène et suivi

Dans une structure manipulant de la nourriture pour les animaux, certaines règles d'hygiène sont nécessaires à suivre pour éviter la contamination des aliments par des pathogènes pouvant être nocifs pour les tortues et ainsi compromettre leur réhabilitation. Les principes énoncés dans la Partie 3 doivent être respectés afin d'établir une bonne hygiène des aliments au sein de la structure. Une fiche récapitulative a été conçue en prévision des premières commandes de nourriture et peut être consultée en ANNEXE 4.

V. Discussion

Les valeurs nutritionnelles utilisées sont celles trouvées dans la littérature. Ces valeurs sont spécifiques au végétal dans la région étudiée et non à Mayotte. Des différences de composition

liées à de nombreux facteurs peuvent être observées. Il est donc important de réaliser un suivi précis et individuel des animaux pour apprécier au mieux l'apport nutritif des aliments proposés durant la réhabilitation. De plus, il pourrait être intéressant dans une étude supplémentaire d'évaluer les compositions biochimiques des rations avec plusieurs types d'aliment pour cibler au mieux les besoins des tortues en soin.

Le centre de soin n'ayant pas fini d'être construit lors de l'écriture de cette thèse, le suivi et l'observation des comportements alimentaires des tortues en réhabilitation n'a pas pu être effectué. Cependant, en prévision de l'accueil des premières tortues, des fiches de suivi ont été écrites. En effet, cette étape est cruciale pour comprendre les préférences des tortues et adapter en fonction de chaque individu les rations alimentaires. Les rations développées dans cette thèse ne sont que des rations théoriques qui n'ont pas pu être testées sur des animaux vivants. Ainsi, des modifications sont à prévoir en fonction de la disponibilité des produits, des préférences alimentaires, de la faisabilité et des observations faites à posteriori.

CONCLUSION

La création du futur centre de soin de Mayotte constitue un enjeu majeur pour la conservation des tortues marines.

Une description générale par thématique de l'archipel de Mayotte a été construite. Dans un premier temps, une description géographique de l'île permet de prendre en considération l'espace et le milieu de vie des tortues. Dans un second temps, une approche socio-économique a mis en évidence les contraintes qu'on peut rencontrer sur le territoire et qui sont directement associées aux filières agricoles et halieutiques. Dans l'optique de mise en place d'une stratégie durable de l'apport en ressources alimentaires, il est nécessaire d'intégrer au mieux l'ensemble des acteurs locaux ainsi que leurs pratiques. Des échanges avec les producteurs (agriculteurs et pêcheurs), la COOPAC et l'EPFAM furent d'une grande richesse pour la récolte d'informations essentielles.

En parallèle, l'étude approfondie de l'alimentation en milieu naturel des tortues vertes (*Chelonia mydas*) et imbriquées (*Eretmochelys imbricata*) a permis de mettre en exergue les caractéristiques importantes à prendre en compte pour leur alimentation en milieu captif. L'analyse des contenus stomacaux réalisée à Mayotte lors du stage a mis en évidence les spécificités alimentaires des deux espèces. Selon les individus de tortues vertes, on a pu observer une abondance de phanérogames marines, telles que *Thalassia hemprichii*, *Halodule uninervis* ou des espèces de la famille Cymodeceaceae. Chez d'autres individus, les algues marines et notamment les algues rouges dominaient le contenu du bol alimentaire. De la matière animale a été retrouvée dans tous les échantillons digestifs des tortues marines quelque-soit le stade de vie. Ces données ont permis de comparer les valeurs nutritionnelles des aliments du régime naturel avec les produits disponibles localement pour la création des rations alimentaires.

D'autre part, une revue des pratiques alimentaires dans les structures de réhabilitation a été effectuée dans le but d'apporter des informations essentielles à l'établissement des bons procédés à mettre en place dans le centre de soin. Pour ce faire, une journée d'observation à l'Aquarium de la Rochelle a permis d'appréhender les enjeux du milieu captif et de son influence sur la nutrition. Un ensemble de données sur les usages effectués dans le centre de soin des Maldives en matière de nutrition ont été récoltées par le biais d'un questionnaire.

Ainsi, des pistes de réflexion ont pu être établies et prises en compte pour la création de fiches pratiques, telles qu'une fiche sur l'hygiène des aliments. Les informations données via cette thèse seront à mettre en application sur le terrain et à adapter à posteriori en fonction des observations recueillies sur les tortues en soin.

Enfin, ce travail s'inscrit dans une démarche de conservation de la faune marine. Les menaces qui pèsent sur les tortues de mer sont nombreuses, d'autant plus à Mayotte où le braconnage est omniprésent. L'acquisition de connaissances sur la biologie de ces espèces permet de cibler les mesures à mettre en place pour la préservation. Des travaux supplémentaires sur l'alimentation permettraient de compléter les éléments mis en avant dans ce manuscrit, notamment l'analyse de la production de chélonitoxine chez les tortues se nourrissant d'une cyanobactérie (*Lyngbya majuscula*) et provoquant des intoxications alimentaires chez les Hommes qui consomment la chair des tortues (Turquet et al. 1999). L'étude de cette toxine apporterait des éléments de sensibilisation de la population pour limiter le braconnage sur l'archipel.

ANNEXE 1 : FICHE NECROPSIE OULANGA NA NYAMBA

Référence individu :

FICHE NÉCROPSIE ONN



COMPTE RENDU NÉCROPSIE

REFERENCE DE L'INDIVIDU :

DATE NÉCROPSIE :

ANIMAL			
Espèce : _____	Stade (Juv/Ad) : _____	Sexe (M/F/U) : _____	
Poids : _____ (kg)	LD : _____ (cm)	LCC 1 : _____ (cm)	LCC 2 : _____ (cm)

COMMEMORATIFS

Référence FC REMMAT :

Signes cliniques, examens et traitements avant la mort	
Date de la mort / date collection	
Site de collection	
Circonstances de la mort	
Etat de conservation	Frais, sans ballonnement <input type="checkbox"/> - Décomposition précoce (verdissement, ballonnement) <input type="checkbox"/> - Décomposition avancée (effondrement de l'abdomen, présence de jus, insectes) <input type="checkbox"/>
Conservation du corps avant autopsie	Congélation <input type="checkbox"/> - Réfrigération <input type="checkbox"/> - Température ambiante <input type="checkbox"/>

EXAMEN EXTERIEUR

Organe / localisation	Lésions/anomalies	Interprétation
Intégrité du cadavre	Entier <input type="checkbox"/> - Partiel (préciser) <input type="checkbox"/> - Organe seul (préciser) <input type="checkbox"/>	
Peau		
Carapace		
Tête		
Cavité orale		
Nageoires (amputation, plaies, ...)		
Cloaque		
Epibiontes		
Autre		

ETAT PHYSIOLOGIQUE

Amyotrophie pectorale	Aucune <input type="checkbox"/> - Légère <input type="checkbox"/> - Sévère <input type="checkbox"/>	
État d'engraissement	Épaisseur : Consistance : Ferme <input type="checkbox"/> - Molle <input type="checkbox"/> - Gélatineuse <input type="checkbox"/> Quantité : 0 <input type="checkbox"/> + <input type="checkbox"/> ++ <input type="checkbox"/> +++ <input type="checkbox"/>	

Référence individu :

FICHE NÉCROPSIE ONN



EXAMEN INTERNE		
Organe / localisation	Lésions/anomalies	Interprétation
Cavité cœlomique		
APPAREIL DIGESTIF : muqueuse, couleur, homogénéité, contenu, présence parasites/ulcères		
Œsophage/jabot		Taille : ____
Estomac		Taille : ____
Intestin grêle		Taille : ____
Gros intestin		Taille : ____
Contenu digestif		Poids : ____
APPAREIL CARDIO-RESPIRATOIRE : surface, couleur, consistance, homogénéité, nodules		
Trachée / bronches souches		
Poumons		
Cœur		
Aorte/gros vaisseaux		
APPAREIL URO-GENITAL : surface, couleur, consistance, homogénéité, présence nodules		
Reins / uretères		
Vessie / urètre		
Gonades		
Tractus génital		
ORGANES ANNEXES		
Foie / vésicule biliaire		
Pancréas		
Rate		
Thyroides, thymus		
Glandes surrénales		
TETE ET BOITE CRANIENNE		
Boîte crânienne		
Encéphale		
AUTRE		

Référence individu :

FICHE NÉCROPSIE ONN



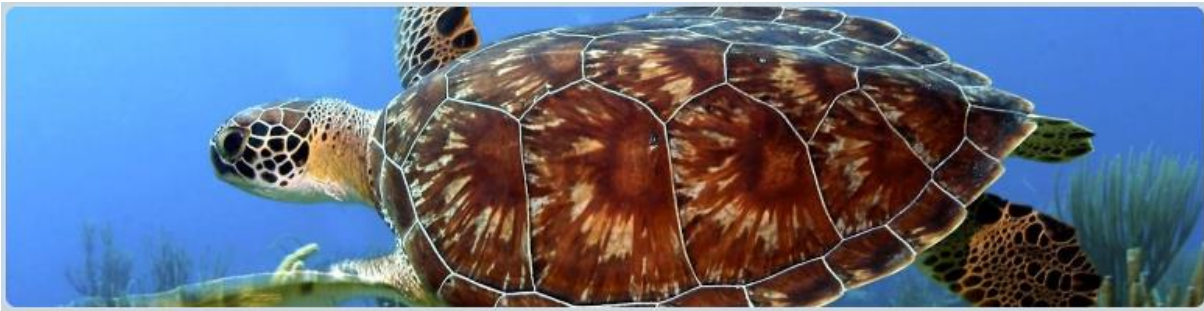
PRELEVEMENTS ET ANALYSES COMPLEMENTAIRES

Type d'examen	Quel prélèvement et nombre	Contenants	Conservation
Prélèvements conservatoires			
Parasitologie			
Bactériologie			
Virologie			
Toxicologie			
Histologie			
Imagerie			
Photos			
Autre			

DIAGNOSTIC NECROPSIQUE

Bilan / synthèse lésionnelle	
Processus terminal / processus principal	
Comorbidités	
Commentaires	
Indice de confiance du diagnostic	1 (très faible) <input type="checkbox"/> - 2 (faible) <input type="checkbox"/> - 3 (modéré) <input type="checkbox"/> - 4 (fort) <input type="checkbox"/> - 5 (certain) <input type="checkbox"/>

ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE ENVOYE AUX CENTRES DE SOINS



Rubrique 1 sur 5

Nutrition of marine turtles in captivity

Hello,

I'm Anaëlle and I'm currently a last year student at National Veterinary School of Toulouse (France). For my graduation project I'm studying nutrition of sea turtles in order to create some rations for the care center that will open on the island of Mayotte thanks to Oulanga na Nyamba organization.

In order to provide the best recommendation for them, I would like to learn more details about practices in other care centres with this form.

It will only take a few minutes to reply and would be a great help to me!

Thank you 🌱

1. Where is your care center ?

2. What kind of species of sea turtles do you welcome in your facility ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Green turtle (*Chelonia mydas*)
- Loggerhead turtle (*Caretta caretta*)
- Hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*)
- Olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*)
- Kemp's ridley turtle (*Lepidochelys kempii*)
- Leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*)
- Flatback turtle (*Natator depressus*)

Diet of adults and juveniles

3. **What kind of resources do you use for the diet of the turtles ? ***

You can describe the type of food :

- *Fresh or congelated ?*
- *Species of fishes or crustaceans ?*
- *Kind of vegetables for Green turtles ?*
- *Use of pellets ?*

4. **How much do you give them, according to their weight ? ***

5. **How many times do you feed the turtles per day ? ***

Une seule réponse possible.

- Once a day
- Twice a day
- Autre : _____

6. **How do you feed them ? ***

Plusieurs réponses possibles.

- Hand-toss prepared food into the pool
- Use of tongs to give food in front of turtles
- Pre-soaking of food
- Use of ice blocks
- Use of pipes
- Use of a feeding mat
- Autre : _____

7. **How do you feed hatchlings ?**

Home-made mix, whole prey, ... ?

With a spoon or other devices ?

8. **If it's not possible for the turtle to grip the food or the turtle doesn't want to be fed, how do you feed it ?**

9. **How long do you wait before force-feeding an anorexic turtle ?**

Food supplements

Vitamins, calcium, iron, ...

10. **Do you give food supplements ? If so, which ones ?**

11. **Do you give food supplements systematically to all turtles ? If so, which ones ?**

12. **How did you calculate the diet based on your available resources ?**

ANNEXE 3 : PROCEDURE DE SONDAGE PAR BLUVIAS ET ECKERT (2010)

Préparer la mixture devant être ingérée en mixant des sardines entières (2/3), des filets de merlu, des moules, des épinards (1/3), de l'huile de foie de morue et des vitamines. Les liquides utilisés varient selon la condition physique de la tortue : des mixtures moins visqueuses pour les tortues très émaciées et plus visqueuses pour les tortues en meilleure condition physique. La mixture doit être placée dans la seringue de gavage. La quantité administrée est de 0,5 à 0,3% du poids du corps mais ne devra jamais excéder 2%, ce qui est la contenance maximale de l'estomac. Chez les tortues très émaciées, avec un estomac atrophié, la quantité sera distribuée lors de plusieurs petits repas.

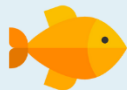
- Sélectionner une taille de diamètre de tube appropriée, selon la taille de la tortue. Il doit être flexible et résistant.
- Aligner un bout du tube au niveau des narines de la tortue puis mesurer et marquer le tube au niveau de la 2ème écaille vertébrale, où se trouve la partie antérieure de l'estomac, ce qui permettra de donner une indication de la profondeur à laquelle le tube doit être enfoncé.
- Positionner et sécuriser la tortue contre une planche sur une mousse et l'incliner de 30° à 90°.
- Ouvrir la bouche de la tortue puis positionner un tuyau en PVC dur entre les deux mâchoires de façon à éviter que l'animal ne puisse refermer sa bouche et ainsi casser le tube de gavage. Pour lui ouvrir la bouche, une pression légère avec les doigts de chaque côté des narines peut suffire.
- Placer la seringue de gavage sur un côté du tube, faire passer de la mixture dans le tube puis lubrifier l'embout du tube avec de la vaseline.
- Etendre et maintenir la tête et le cou puis insérer le tube lubrifié doucement dans la bouche et le faire glisser jusqu'à la marque.
- Tenir le tube verticalement.
- Injecter la mixture à l'aide de la seringue de gavage. Au cours de cette opération il faut regarder également la respiration de l'animal qui peut indiquer la régurgitation et l'aspiration.
- Lorsque la nourriture a été ingérée, le tube est retiré délicatement ainsi que le tube placé au travers de la bouche.
- Garder la tortue dans la même position pendant 30 minutes afin de prévenir d'éventuelles régurgitations, puis la replacer dans son aquarium de réhabilitation. L'eau permettra à la tortue de rincer sa gorge et d'expulser les matières en excès.

RÈGLES D'HYGIÈNE

Alimentation des tortues



RÉCEPTION DES ALIMENTS



Produits de la mer



Végétaux

Laver les végétaux



Respect de la chaîne du froid



Stockage à -18°C



Stockage à 4°C

STOCKAGE

Contenants spécifiques à l'alimentation



Décongélation au frigo pendant 24h avant préparation



PRÉPARATION

Propreté plan de travail et outils

Distribution



OU



Stockage

FIN DE DISTRIBUTION

Peser les restes et les jeter



BIBLIOGRAPHIE

ACKERMAN, Ralph, 1997. The Nest Environment And The Embryonic Development Of Sea Turtles. *The Biology of Sea Turtles*. 1 janvier 1997.

AGUIRRE, A. Alonso et BALAZS, George, 2000. Blood Biochemistry Values of Green Turtles, *Chelonia Mydas*, With and Without Fibropapillomatosis. *Comparative Haematology International*. 1 décembre 2000. Vol. 10, pp. 132-137. DOI 10.1007/s005800070004.

AHASAN, Md. Shamim, WALTZEK, Thomas B., HUERLIMANN, Roger et ARIEL, Ellen, 2018. Comparative analysis of gut bacterial communities of green turtles (*Chelonia mydas*) pre-hospitalization and post-rehabilitation by high-throughput sequencing of bacterial 16S rRNA gene. *Microbiological Research*. mars 2018. Vol. 207, pp. 91-99. DOI 10.1016/j.micres.2017.11.010.

ALI, Ahmad et IBRAHIM, Kamarruddin, 2002. Crab predation on green turtle (*Chelonia mydas*) eggs incubated on a natural beach and in turtle hatcheries. *Proceedings of the 3rd workshop on SEASTAR2000*. 1 janvier 2002.

ÁLVAREZ-VARAS, Rocío, CONTARDO, Juan, HEIDEMEYER, Maïke, FORERO-ROZO, Lina, BRITO, Beatriz, CORTÉS, Valentina, BRAIN, María José, PEREIRA, Sofia et VIANNA, Juliana A., 2017. Ecology, health and genetic characterization of the southernmost green turtle (*Chelonia mydas*) aggregation in the Eastern Pacific: implications for local conservation strategies. *Latin american journal of aquatic research*. 2017. Vol. 45, n° 3, pp. 540-554. DOI 10.3856/vol45-issue3-fulltext-4.

AMOROCHO, Diego F. et REINA, Richard D., 2008. Intake passage time, digesta composition and digestibility in East Pacific green turtles (*Chelonia mydas agassizii*) at Gorgona National Park, Colombian Pacific. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 6 juin 2008. Vol. 360, n° 2, pp. 117-124. DOI 10.1016/j.jembe.2008.04.009.

AMOROCHO, Diego et REINA, Richard, 2007. Feeding ecology of the East Pacific green sea turtle *Chelonia mydas agassizii* at Gorgona National Park, Colombia. *Endangered Species Research*. 1 janvier 2007. Vol. 3, pp. 43-51. DOI 10.3354/esr003043.

ARENA, Phillip C., WARWICK, Clifford et STEEDMAN, Catrina, 2014. Welfare and Environmental Implications of Farmed Sea Turtles. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. avril 2014. Vol. 27, n° 2, pp. 309-330. DOI 10.1007/s10806-013-9465-8.

ARTHUR, Karen, 2009. A Comparison of Immature Green Turtle (*Chelonia mydas*) Diets among Seven Sites in the Main Hawaiian Islands. *Pacific Science*. 2 septembre 2009. Vol. 62, pp. 205-217. DOI 10.2984/1534-6188(2008)62[205:ACOIGT]2.0.CO;2.

ARTHUR, Karen E., BOYLE, Michelle C. et LIMPUS, Colin J., 2008. Ontogenetic changes in diet and habitat use in green sea turtle (*Chelonia mydas*) life history. *Marine Ecology Progress Series*. 30 juin 2008. Vol. 362, pp. 303-311. DOI 10.3354/meps07440.

ARTHUR, Karen, MCMAHON, Kathryn, LIMPUS, Col et DENNISON, William, 2009. Feeding ecology of green turtles (*Chelonia mydas*) from Shoalwater Bay, Australia. *Research outputs*

pre 2011 [en ligne]. 1 janvier 2009. Disponible à l'adresse : <https://ro.ecu.edu.au/ecuworks/320>

BAILEY, Tom, 2023. MORTALITY AT A HAWKSBILL TURTLE (*ERETMOCHELYS IMBRICATA*) REARING CENTER. . 31 mars 2023.

BAKER, Linda, EDWARDS, Will et PIKE, David A., 2015. Sea turtle rehabilitation success increases with body size and differs among species. *Endangered species research*. 2015. Vol. 29, n° 1, pp. 13-21. DOI 10.3354/esr00696.

BALLORAIN, Katia, 2010. *Écologie trophique de la tortue verte Chelonia mydas dans les herbiers marins et algueraies du sud-ouest de l'océan Indien* [en ligne]. phdthesis. Université de la Réunion. [Consulté le 6 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://theses.hal.science/tel-00576264>

BALLORAIN, Katia, CICCIONE, Stéphane, BOURJEA, Jérôme, GRIZEL, Henri, ENSTIPP, Manfred et GEORGES, Jean-Yves, 2010. Habitat use of a multispecific seagrass meadow by green turtles *Chelonia mydas* at Mayotte Island. *Marine biology*. 2010. Vol. 157, n° 12, pp. 2581-2590. DOI 10.1007/s00227-010-1520-7.

BARON, Soàï, 2014. *Pathologie des tortues marines en Polynésie française : exemple du centre de soins de Moorea* [en ligne]. other. [Consulté le 17 mai 2023]. Disponible à l'adresse : <https://oatao.univ-toulouse.fr/11463/>

BARTOL, Soraya et MUSICK, John, 2002. Sensory Biology of Sea Turtles. *The Biology of Sea Turtles*. 17 décembre 2002. Vol. 2. DOI 10.1201/9781420040807.ch3.

BAUMBACH, Dustin S., ZHANG, Renwu, HAYES, Christian T., WRIGHT, Marsha K. et DUNBAR, Stephen G., 2022. Strategic foraging: Understanding hawksbill (*Eretmochelys imbricata*) prey item energy values and distribution within a marine protected area. *Marine Ecology* [en ligne]. avril 2022. Vol. 43, n° 2. [Consulté le 16 novembre 2022]. DOI 10.1111/maec.12703. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/maec.12703>

BERUBE, Melissa, DUNBAR, Stephen, TZLER, Klaus et HAYES, William, 2012. Home Range and Foraging Ecology of Juvenile Hawksbill Sea Turtles (*Eretmochelys imbricata*) on Inshore Reefs of Honduras. *Chelonian Conservation and Biology*. 1 juin 2012. Vol. 11, pp. 33-43. DOI 10.2744/CCB-0898.1.

BEZERRA, M. F., LACERDA, L. D., REZENDE, C. E., FRANCO, M. A. L., ALMEIDA, M. G., MACÊDO, G. R., PIRES, T. T., ROSTÁN, G. et LOPEZ, G. G., 2015. Food preferences and Hg distribution in *Chelonia mydas* assessed by stable isotopes. *Environmental Pollution*. 1 novembre 2015. Vol. 206, pp. 236-246. DOI 10.1016/j.envpol.2015.07.011.

BIGAN, Martine, 2022. *Avis du CNPN sur l'évaluation du PNA en faveur des tortues marines des territoires français du sud-ouest de l'Océan Indien* [en ligne]. CNPN. Disponible à l'adresse : https://www.avis-biodiversite.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/avis_ecb_oct2022_bilan_pna_5_tortues_marines_sooi.pdf

BJORNDAL, K., 1999. Conservation of Hawksbill Sea Turtles: Perceptions and Realities. In : *Chelonian Conservation and Biology* [en ligne]. pp. 174-176. [Consulté le 3 janvier 2023]. Disponible à l'adresse : <http://www.turtles.org/bjorndal.htm>

BJORNDAL, K. A., 1980. Nutrition and grazing behavior of the green turtle *Chelonia mydas*. *Marine Biology*. 1980. Vol. 56, n° 2, pp. 147-154. DOI 10.1007/BF00397131.

BJORNDAL, Karen A., 1985. Nutritional Ecology of Sea Turtles. *Copeia*. 5 août 1985. Vol. 1985, n° 3, pp. 736. DOI 10.2307/1444767.

BJORNDAL, Karen A. et BOLTEN, Alan B., 2010. Hawksbill sea turtles in seagrass pastures: success in a peripheral habitat. *Marine Biology*. 1 janvier 2010. Vol. 157, n° 1, pp. 135-145. DOI 10.1007/s00227-009-1304-0.

BJORNDAL, Karen A., SUGANUMA, Hiroyuki et BOLTEN, Alan B., 1991. Digestive Fermentation in Green Turtles, *Chelonia Mydas*, Feeding on Algae. *Bulletin of Marine Science*. 1 janvier 1991. Vol. 48, n° 1, pp. 166-171.

BLOODGOOD, Jennifer C. G., HERNANDEZ, Sonia M., ISAIAH, Anitha, SUCHODOLSKI, Jan S., HOOPEES, Lisa A., THOMPSON, Patrick M., WALTZEK, Thomas B. et NORTON, Terry M., 2020. The effect of diet on the gastrointestinal microbiome of juvenile rehabilitating green turtles (*Chelonia mydas*). *PLOS ONE*. 15 janvier 2020. Vol. 15, n° 1, pp. e0227060. DOI 10.1371/journal.pone.0227060.

BLUMENTHAL, J. M., AUSTIN, T. J., BELL, C. D. L., BOTHWELL, J. B., BRODERICK, A. C., EBANKS-PETRIE, G., GIBB, J. A., LUKE, K. E., OLYNIK, J. R., ORR, M. F., SOLOMON, J. L. et GODLEY, B. J., 2009. Ecology of Hawksbill Turtles, *Eretmochelys imbricata*, on a Western Caribbean Foraging Ground. *Chelonian Conservation and Biology*. mai 2009. Vol. 8, n° 1, pp. 1-10. DOI 10.2744/CCB-0758.1.

BLUVIAS, J. E. et ECKERT, K. L., 2010. 10 : *Marine Turtle Trauma Response Procedures: A Husbandry Manual*. Technical report. Ballwin, Missouri : Wider Caribbean Sea Turtle Conservation Network (WIDECAST).

BOOTH, David, 2017. The influence of incubation temperature on sea turtle hatchling quality. *Integrative Zoology*. 5 janvier 2017. Vol. 12. DOI 10.1111/1749-4877.12255.

BOOTH, Julie et PETERS, James A., 1972. Behavioural studies on the green turtle (*Chelonia mydas*) in the sea. *Animal Behaviour*. novembre 1972. Vol. 20, n° 4, pp. 808-812. DOI 10.1016/S0003-3472(72)80155-6.

BOURJEA, J, CICCIONE, S et DALLEAU, M, 2013. *DYMITILE – DYNAMIQUE MIGRATOIRE DES TORTUES MARINES NIDIFIANT DANS LES ILES FRANÇAISES DE L'OCEAN INDIEN. Rapport final Phase I et II.*

BOURJEA, J, FRAPPIER, J, QUILLARD, M, CICCIONE, S, ROOS, D, HUGHES, G et GRIZEL, H, 2007. Mayotte Island: another important green turtle nesting site in the southwest Indian Ocean. *Endangered Species Research*. 10 octobre 2007. Vol. 3, pp. 273-282. DOI 10.3354/esr00053.

BOUSSARIE, Didier, 2021. L'univers sensoriel des tortues. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*. 2021. Vol. 174, n° 1, pp. 205-214. DOI 10.3406/bavf.2021.70961.

BOWEN, B. W. et KARL, S. A., 2007. Population genetics and phylogeography of sea turtles. *Molecular Ecology*. 2007. Vol. 16, n° 23, pp. 4886-4907. DOI 10.1111/j.1365-294X.2007.03542.x.

BOYLE, M. C. et LIMPUS, C. J., 2008. The stomach contents of post-hatchling green and loggerhead sea turtles in the southwest Pacific: an insight into habitat association. *Marine Biology*. 1 août 2008. Vol. 155, n° 2, pp. 233-241. DOI 10.1007/s00227-008-1022-z.

BRANDIS, R., MORTIMER, J., REILLY, B., SOEST, R. et BRANCH, G., 2014. Diet Composition of Hawksbill Turtles (*Eretmochelys imbricata*) in the Republic of Seychelles. In : [en ligne]. 2014. [Consulté le 26 janvier 2023]. Disponible à l'adresse : [https://www.semanticscholar.org/paper/Diet-Composition-of-Hawksbill-Turtles-\(Eretmochelys-Brandis-Mortimer/1796c75c3221347b611e6148537897842d56ecdf](https://www.semanticscholar.org/paper/Diet-Composition-of-Hawksbill-Turtles-(Eretmochelys-Brandis-Mortimer/1796c75c3221347b611e6148537897842d56ecdf)

BRODERICK, AC, GODLEY, Brendan, REECE, S et DOWNIE, JR, 2000. Incubation periods and sex ratios of green turtles: Highly female biased hatchling production in the eastern Mediterranean. *Marine Ecology-Progress Series*. 28 août 2000. Vol. 202, pp. 273-281. DOI 10.3354/meps202273.

CARDONA, Luis, CAMPOS, Patricia et VELÁSQUEZ-VACCA, Adriana, 2020. Contribution of green turtles *Chelonia mydas* to total herbivore biomass in shallow tropical reefs of oceanic islands. *PLOS ONE*. 30 janvier 2020. Vol. 15, n° 1, pp. e0228548. DOI 10.1371/journal.pone.0228548.

CARRIÓN-CORTEZ, Javier A., ZÁRATE, Patricia et SEMINOFF, Jeffrey A., 2010. Feeding ecology of the green sea turtle (*Chelonia mydas*) in the Galapagos Islands. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. août 2010. Vol. 90, n° 5, pp. 1005-1013. DOI 10.1017/S0025315410000226.

CARRIÓN-CORTEZ, Javier, CANALES-CERRO, Carlos, ARAUZ, Randall et RIOSMENA-RODRÍGUEZ, Rafael, 2013. Habitat Use and Diet of Juvenile Eastern Pacific Hawksbill Turtles (*Eretmochelys imbricata*) in the North Pacific Coast of Costa Rica. *Chelonian Conservation and Biology*. décembre 2013. Vol. 12, n° 2, pp. 235-245. DOI 10.2744/CCB-1024.1.

CASIER, Maud, CAMPEON, Camille, EXPERT, Florian et TERRIER, Isabelle, 2015. Réglementation et plans d'actions en faveur de la protection des tortues marines. *Colloque tortues marines*. septembre 2015.

CAUT, Stéphane, GUIRLET, Elodie, ANGULO, Elena, DAS, Krishna et GIRONDOT, Marc, 2008. Isotope Analysis Reveals Foraging Area Dichotomy for Atlantic Leatherback Turtles. *PLOS ONE*. 26 mars 2008. Vol. 3, n° 3, pp. e1845. DOI 10.1371/journal.pone.0001845.

CENTRE D'ÉTUDE ET DE VALORISATION DES ALGUES, 2011. *La biodiversité algale au service du développement économique de Mayotte - Tome 1 : Etude préliminaire sur la biodiversité algale existante*. 2011.

CHACÓN-CHAVERRI, Didiher, 2004. *Caribbean hawksbills – An introduction to their biology and conservation status*. [en ligne]. WWF-Regional Program for Latin America and the Caribbean. San José, Costa Rica. [Consulté le 18 avril 2023]. ISBN 9968-825-27-1. Disponible à l'adresse : <https://isbn.cloud/en/9789968825276/caribbean-hawksbills-an-introduction-to-their-biology-and-conservation-status/>

CHEN, Hualing, YE, Mingbin, LU, Yuyan, DUAN, Jinxia, LI, Pipeng et GU, Hexiang, 2015. Structure and Function of the Gastrointestinal Tract of the Green Turtle (*Chelonia mydas*) Hatchling. *Asian Herpetological Research*. 25 décembre 2015. Vol. 6, pp. 317-330.

CHEN, Yuan, XIA, Zhongrong et LI, Hongwei, 2022. Metagenomic comparison of gut communities between hawksbills (*Eretmochelys imbricata*) and green sea turtles (*Chelonia mydas*). *Archives of Microbiology*. 3 juillet 2022. Vol. 204, n° 8, pp. 450. DOI 10.1007/s00203-022-03073-8.

CICCIONE, Stéphane, BOURJEA, Jérôme, JEAN, Claire et DALLEAU, Mayeul, 2011. Bilan et perspectives des programmes de recherche et de conservation des tortues marines et de leurs habitats à La Réunion. . 1 janvier 2011. Vol. 139-140, pp. 85-93.

CLARO, Françoise et BARDONNET, Clara, 2011. *Les tortues marines et la pollution lumineuse sur le territoire française*. Rapport GTMF-SPN. Paris : MNHN-SPN.

CONSEIL DÉPARTEMENTAL DE MAYOTTE, 2019. *Schéma Régional de Développement Économique d'Innovation et d'Internationalisation*. mars 2019.

CORSE, E., VALLADARES, S., PLANAS, M., CHAMORRO, A. et PINTADO, J., 2015. Analysis of the diet of the long-snouted seahorse *Hippocampus guttulatus* by 18SrDNA amplification of prey in faeces. *Aquaculture Nutrition*. octobre 2015. Vol. 21, n° 5, pp. 528-540. DOI 10.1111/anu.12189.

CORSE, Emmanuel, COSTEDOAT, Caroline, CHAPPAZ, Rémi, PECH, Nicolas, MARTIN, Jean-François et GILLES, André, 2010. A PCR-based method for diet analysis in freshwater organisms using 18S rDNA barcoding on faeces. *Molecular Ecology Resources*. janvier 2010. Vol. 10, n° 1, pp. 96-108. DOI 10.1111/j.1755-0998.2009.02795.x.

CRAVEN, Kathryn S., PARSONS, Joe, TAYLOR, Stephen A., BELCHER, Carolyn N. et OWENS, David W., 2008. The influence of diet on fatty acids in the egg yolk of green sea turtles, *Chelonia mydas*. *Journal of Comparative Physiology B*. 1 mai 2008. Vol. 178, n° 4, pp. 495-500. DOI 10.1007/s00360-007-0242-8.

CRUCIANI, Benoit, 2017. *Etude d'une épizootie de polyarthrites affectant les tortues marines de la Réunion: recherche des causes et mise en place de mesures de lutte*. Maisons-Alfort : Ecole vétérinaire d'Alfort.

DALLEAU, Mayeul, 2013. *Écologie spatiale des tortues marines dans le Sud-ouest de l'océan Indien : apport de la géomatique et de la modélisation pour la conservation*.

DAVID, Roos, DUPONT, Priscilla, LIONEL, Bigot, PATRICK, Durville, MULOCHEAU, Thierry, PINAULT, Mathieu, JULIEN, Wickel, URBINA-BARRETO, Isabel, PASCAL, Mouquet, LAURENCE,

Maurel, MICHEL, Cantou, SOPHIE, Fallourd, ANTONIN, Guilbert, MARC, Hoarau, YOANN, Aumond, JEROME, Huet, HUGUES, Evano, YOANN, Sabathe, PAUL, Giannasi et CLAVERIE, Thomas, 2017. *Projet EPICURE : Étude des Peuplements Ichtyologiques et des CommUnautés RécifalEs à partir d'indicateurs spatiaux et de l'approche fonctionnelle, des bancs du Geysier, de la Zélée et de l'Iris. Programme du Xème FED régional « Gestion durable du patrimoine naturel de Mayotte et des îles Eparses.*

DAVIS, Kelsey, 2021. *Compilation and Review of Sea Turtle Rehabilitation Protocols and Career Guidance from Conservation Professionals in the Eastern United States.* . 1 mai 2021.

DEDEKEN, M. et BALLORAIN, K., 2015. *Les herbiers marins de Mayotte : état des lieux des herbiers intertidaux en 2014* [en ligne]. Documentation Ifreco. Parc naturel marin de Mayotte / Agence des aires marines protégées. [Consulté le 1 août 2023]. Disponible à l'adresse : <http://ifreco-doc.fr/items/show/1824>

DEVILLE, Tanguy, 2003. *PLAN DE RESTAURATION DES TORTUES MARINES DES ANTILLES FRANCAISES.* . 2003.

DÍAZ-ABAD, Lucía, BACCO-MANNINA, Natassia, MADEIRA, Fernando Miguel, NEIVA, João, AIRES, Tania, SERRAO, Ester A., REGALLA, Aissa, PATRÍCIO, Ana R. et FRADE, Pedro R., 2021. eDNA metabarcoding for diet analyses of green sea turtles (*Chelonia mydas*). *Marine Biology*. 29 décembre 2021. Vol. 169, n° 1, pp. 18. DOI 10.1007/s00227-021-04002-x.

DÍAZ-ABAD, Lucía, BACCO-MANNINA, Natassia, MIGUEL MADEIRA, Fernando, SERRAO, Ester A, REGALLA, Aissa, PATRÍCIO, Ana R et FRADE, Pedro R, 2022. Red, Gold and Green: Microbial Contribution of Rhodophyta and Other Algae to Green Turtle (*Chelonia mydas*) Gut Microbiome. *Microorganisms* [en ligne]. 1 octobre 2022. Vol. 10, n° 10. [Consulté le 25 mai 2023]. DOI 10.3390/microorganisms10101988. Disponible à l'adresse : <https://europepmc.org/articles/PMC9610419>

DIOP, Hamidou, YOUSOUFFOU, Haïra, MOUSSA, Dhakirina et YVES, Dhinou-Rainy, 2023. *Mémento 2022 - Agreste Mayotte* [en ligne]. Memento. Mayotte : SISE - DAAF Mayotte. [Consulté le 28 août 2023]. Disponible à l'adresse : https://daaf.mayotte.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/memento_2022_version_finale.pdf

DIVERS, Stephen J., STAHL, Scott J. et MADER, Douglas R. (éd.), 2019. *Mader's reptile and amphibian medicine and surgery*. Third edition. St. Louis : Elsevier. ISBN 978-0-323-48253-0.

DRYDEN, Gordon McL, 2008. *Animal nutrition science*. Wallingford : CABI. ISBN 978-1-84593-412-5. N.02.00-DRY-A

DUNCAN, Emily M., ARROWSMITH, Jessica A., BAIN, Charlotte E., BOWDERY, Hannah, BRODERICK, Annette C., CHALMERS, Tierney, FULLER, Wayne J., GALLOWAY, Tamara S., LEE, Jonathon H., LINDEQUE, Penelope K., OMEYER, Lucy C. M., SNAPE, Robin T. E. et GODLEY, Brendan J., 2019. Diet-related selectivity of macroplastic ingestion in green turtles (*Chelonia mydas*) in the eastern Mediterranean. *Scientific reports*. 2019. Vol. 9, n° 1, pp. 11581-8. DOI 10.1038/s41598-019-48086-4.

EAYRS, Steve, 2007. *A guide to bycatch reduction in tropical shrimp-trawl fisheries* [en ligne]. FAO. [Consulté le 2 septembre 2023]. ISBN 978-92-5-105674-5. Disponible à l'adresse : <https://portals.iucn.org/library/node/28829>

ECKERT, Karen L, IUCN/SSC MARINE TURTLE SPECIALIST GROUP, WORLD WILDLIFE FUND (U.S.), CENTER FOR MARINE CONSERVATION, UNITED STATES, NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE AND NATURAL RESOURCES, et SPECIES SURVIVAL COMMISSION, 1999. *Research and management techniques for the conservation of sea turtles*. Washington, D.C. (1725 De Sales Street, NW #600, Washington 20036) : IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group. ISBN 978-2-8317-0364-0.

ESCOBEDO-BONILLA, Cesar Marcial, QUIROS-ROJAS, Noelia Maria et RUDÍN-SALAZAR, Esteban, 2022. Rehabilitation of Marine Turtles and Welfare Improvement by Application of Environmental Enrichment Strategies. *Animals*. janvier 2022. Vol. 12, n° 3, pp. 282. DOI 10.3390/ani12030282.

ESTEBAN, Nicole, MORTIMER, Jeanne A., STOKES, Holly J., LALOË, Jacques-Olivier, UNSWORTH, Richard K. F. et HAYS, Graeme C., 2020. A global review of green turtle diet: sea surface temperature as a potential driver of omnivory levels. *Marine Biology*. 16 novembre 2020. Vol. 167, n° 12, pp. 183. DOI 10.1007/s00227-020-03786-8.

FLINT, Jaylene, FLINT, Mark, LIMPUS, Colin James et MILLS, Paul, 2017. Status of marine turtle rehabilitation in Queensland. *PeerJ*. 28 mars 2017. Vol. 5, pp. e3132. DOI 10.7717/peerj.3132.

FORBES, Gregory Allan, 1996. *The diet and feeding ecology of the green sea turtle (Chelonia mydas) in an algal-based coral reef community* [en ligne]. phd. James Cook University. [Consulté le 4 avril 2023]. Disponible à l'adresse : <https://researchonline.jcu.edu.au/27399/>

FRITSCHES, Kerstin et WARRANT, Eric, 2013. Vision. In : . pp. 31-58. ISBN 978-1-4398-7307-6.

FUENTES, Mariana, LAWLER, Ivan et GYURIS, Emma, 2006. Dietary preferences of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) on a tropical reef flat. *Wildlife Research*. 1 janvier 2006. Vol. 33, pp. 671-678. DOI 10.1071/WR05081.

GABRIE, Catherine, OBERLINKENS, M, PORCHER, Michel et QUOD, Jean-Pascal, 2003. Plan de gestion du lagon de Mayotte. *Océanis*. 1 janvier 2003.

GIGOU, A., DINHUT, V. et ARNAUD, J.P., 2009. *Richesses de Mayotte - Parc naturel marin de Mayotte - Un patrimoine naturel d'exception - Mission d'étude pour la création d'un parc naturel marin à Mayotte*. 2009.

GTMF, 2015. Cycle de vie. [en ligne]. 31 août 2015. [Consulté le 28 octobre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://gtmf.mnhn.fr/cycle-de-vie>

HADJICHRISTOPHOROU, M. et GROVE, D. J., 1983. A study of appetite, digestion and growth in juvenile green turtle (*Chelonia mydas* L.) fed on artificial diets. *Aquaculture*. 1 janvier 1983. Vol. 30, n° 1, pp. 191-201. DOI 10.1016/0044-8486(83)90161-8.

HATASE, Hideo, SATO, Katsufumi, YAMAGUCHI, Manami, TAKAHASHI, Kotaro et TSUKAMOTO, Katsumi, 2006. Individual variation in feeding habitat use by adult female green sea turtles (*Chelonia mydas*): are they obligately neritic herbivores? *Oecologia*. 1 août 2006. Vol. 149, n° 1, pp. 52-64. DOI 10.1007/s00442-006-0431-2.

HAWKES, La, BRODERICK, Ac, GODFREY, Mh et GODLEY, Bj, 2009. Climate change and marine turtles. *Endangered Species Research*. 17 juin 2009. Vol. 7, pp. 137-154. DOI 10.3354/esr00198.

HEITHAUS, Michael, 2013. Predators, Prey, and the Ecological Roles of Sea Turtles. In : *The Biology of Sea Turtles*. pp. 249-285. ISBN 978-1-4398-7307-6.

HERNANDEZ, Diaz et CLAUDETT, Ariadna, 2021. *Diet and captive care of sea turtles literature review* [en ligne]. Thesis. [Consulté le 31 mars 2023]. Disponible à l'adresse : <http://huveta.hu/handle/10832/3099>

HIGGINS, Benjamin, 2002. Sea Turtle Husbandry. In : LUTZ, Peter, MUSICK, John et WYNEKEN, Jeanette (éd.), *The Biology of Sea Turtles, Volume II* [en ligne]. CRC Press. pp. 411-440. Marine Biology. [Consulté le 24 septembre 2023]. ISBN 978-0-8493-1123-9. Disponible à l'adresse : <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9781420040807.ch16>

HIRAYAMA, Ren, 1998. Oldest known sea turtle. *Nature*. avril 1998. Vol. 392, n° 6677, pp. 705-708. DOI 10.1038/33669.

HOWELL, Lyndsey, REICH, Kimberly, SHAVER, Donna, JR, Landry et GORGA, CC, 2016. Ontogenetic shifts in diet and habitat of juvenile green sea turtles in the northwestern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*. 9 novembre 2016. Vol. 559. DOI 10.3354/meps11897.

HUAT, Joël, AUBERT, Magali et PARROT, Laurent, 2021. *La réduction des pesticides en maraîchage à Mayotte*. avril 2021.

INSEE, 2023. L'essentiel sur... Mayotte. [en ligne]. 31 janvier 2023. [Consulté le 26 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4632225#titre-bloc-1>

IUCN, 2022. The IUCN Red List of Threatened Species. *IUCN Red List of Threatened Species* [en ligne]. 2022. [Consulté le 10 octobre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.iucnredlist.org/en>

JERDY, Hassan, WERNECK, Max Rondon, DA SILVA, Maria Aparecida, RIBEIRO, Rachel Bittencourt, BIANCHI, Mariah, SHIMODA, Eduardo et DE CARVALHO, Eulógio Carlos Queiróz, 2017. Pathologies of the digestive system caused by marine debris in *Chelonia mydas*. *Marine Pollution Bulletin*. 15 mars 2017. Vol. 116, n° 1, pp. 192-195. DOI 10.1016/j.marpolbul.2017.01.009.

JÉRÔME, Weiss, JULIE, Duchêne, SAMUEL, Le Blond, MOHAMED, Madi, SÉBASTIEN, Demanèche, PATRICK, Berthou, EMILIE, Le Roy et EMILIE, Leblond, 2019. Situation de la pêche à Mayotte en 2018. *Ifremer-sih-2019.04*. 2019. pp. 19.

JIMENEZ, Astrid, PINGO, Sergio, ALFARO-SHIGUETO, Joanna, MANGEL, Jeffrey C. et HOOKER, Yuri, 2017. Feeding ecology of the green turtle *Chelonia mydas* in northern Peru. *Latin american journal of aquatic research*. 2017. Vol. 45, n° 3, pp. 585-596. DOI 10.3856/vol45-issue3-fulltext-8.

JUALAONG, Suthep, KANGHAE, Hirun, THONGPRAJUKAEW, Karun, SAEKHOW, Suktianchai, AMARTIRATANA, Natthida et SOTONG, Piyanan, 2021. Optimal Feeding Frequency for Captive Hawksbill Sea Turtle (*Eretmochelys imbricata*). *Animals (Basel)*. 2021. Vol. 11, n° 5, pp. 1252-. DOI 10.3390/ani11051252.

KANGHAE, H., THONGPRAJUKAEW, K., PHROMKUNTHONG, W., PLANGSRI, S., JATUPORNPIUKCHAT, S. et KITTIWATTANAWONG, K., 2017. Pre-soaking of the feed pellets: a trick for successful feed utilization in juvenile green turtles (*Chelonia mydas* Linnaeus, 1758). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2017. Vol. 101, n° 2, pp. 329-338. DOI 10.1111/jpn.12444.

KANGHAE, H., THONGPRAJUKAEW, K., YEETAM, P., JARIT-NGAM, T., HWAN-AIR, W., RUEANGJEEN, S. et KITTIWATTANAWONG, K., 2017. Optimal feeding frequency of captive head-started green turtles (*Chelonia mydas*). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2017. Vol. 101, n° 4, pp. 667-675. DOI 10.1111/jpn.12583.

KANGHAE, Hirun, NINWAT, Santi, THONGPRAJUKAEW, Karun, INTONGCOME, Atichat et KITTIWATTANAWONG, Kongkiat, 2014. Performance of Head-Started Green Turtle, *Chelonia mydas* (Linnaeus 1758) fed a commercial diet. *Asian Fisheries Science* [en ligne]. 30 septembre 2014. Vol. 27, n° 3. [Consulté le 16 novembre 2022]. DOI 10.33997/j.afs.2014.27.3.001. Disponible à l'adresse : <https://www.asianfisheriessociety.org/publication/downloadfile.php?id=1011&file=Y0dSbUx6QTFNVEkzTmZd01ERTBNVEI3TIRJNU5EY3VJR1Jt>

KANGHAE, Hirun, THONGPRAJUKAEW, Karun, INPHROM, Surasak, MALAWA, Saowalak, SANDOS, Patchawadee, SOTONG, Piyanan et BOONSUK, Kullanat, 2021. Enrichment devices for green turtles (*Chelonia mydas*) reared in captivity programs. *Zoo Biology*. septembre 2021. Vol. 40, n° 5, pp. 407-416. DOI 10.1002/zoo.21613.

KAWAZU, Isao, SUZUKI, Miwa et MAEDA, Konomi, 2022. Rock Installation Reduces Aggressive Behavior in Captive Hawksbill Turtles. *Current Herpetology*. février 2022. Vol. 41, n° 1, pp. 1-7. DOI 10.5358/hsj.41.1.

KELKAR, Nachiket, ARTHUR, Rohan, MARBA, Nuria et ALCOVERRO, Teresa, 2013. Green turtle herbivory dominates the fate of seagrass primary production in the Lakshadweep islands (Indian Ocean). *Marine Ecology Progress Series*. 27 juin 2013. Vol. 485, pp. 235-243. DOI 10.3354/meps10406.

KERNINON, Fanny, 2020. *Développement d'outils méthodologiques pour le suivi et l'évaluation de l'état de santé des herbiers d'outre-mer français et de leur environnement, dans*

un contexte de perturbations multiples [en ligne]. phdthesis. Université de Bretagne occidentale - Brest. [Consulté le 1 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://theses.hal.science/tel-03336530>

KITAYAMA, Chiyo, UEDA, Keiichi, OMATA, Mariko, TOMITA, Taketeru, FUKADA, Shingo, MURAKAMI, Shogo, TANAKA, Yoshiaki, KAJI, Akihiro, KONDO, Satomi, SUGANUMA, Hiroyuki, AIKO, Yuki, FUJIMOTO, Atsuru, KAWAI, Yusuke K., YANAGAWA, Masashi et KONDOH, Daisuke, 2021. Morphological features of the nasal cavities of hawksbill, olive ridley, and black sea turtles: Comparative studies with green, loggerhead and leatherback sea turtles. *PLOS ONE*. 29 avril 2021. Vol. 16, n° 4, pp. e0250873. DOI 10.1371/journal.pone.0250873.

La pénurie d'eau à Mayotte, une conséquence de la déforestation massive de l'île [Planète Outre-mer], 2022. *Outre-mer la 1ère* [en ligne]. [Consulté le 31 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://la1ere.francetvinfo.fr/la-penurie-d-eau-a-mayotte-une-consequence-de-la-deforestation-massive-de-l-ile-planete-outre-mer-1233292.html>

LANCASTER, P. A. et BROOKS, J. E., 1983. Cassava leaves as human food. *Economic Botany*. 1 juillet 1983. Vol. 37, n° 3, pp. 331-348. DOI 10.1007/BF02858890.

LATIF, Sajid et MÜLLER, Joachim, 2015. Potential of cassava leaves in human nutrition: A review. *Trends in Food Science & Technology*. août 2015. Vol. 44, n° 2, pp. 147-158. DOI 10.1016/j.tifs.2015.04.006.

LUKE, K., HORROCKS, J. A., LEROUX, R. A. et DUTTON, P. H., 2004. Origins of green turtle (*Chelonia mydas*) feeding aggregations around Barbados, West Indies. *Marine Biology*. 1 avril 2004. Vol. 144, n° 4, pp. 799-805. DOI 10.1007/s00227-003-1241-2.

LUTZ, Peter L., LUTCAVAGE, Molly E., SALMON, Michael, MUSICK, John A., BJORNDAL, Karen A., ACKERMAN, Ralph A., BOWEN, Brian, WITHERINGTON, Blair, SPOTILA, James R., MILLER, Jeffrey Dean, GEORGE, Robert H., PRITCHARD, Peter C. H., KARL, Stephen A., PALADINO, Frank V., CHALOUPKA, Milani Y., LIMPUS, Colin J., PLOTKIN, Pamela, LOHMANN, Kenneth J., LOHMANN, Catherine M. F., WYNEKEN, Jeanette et OWENS, David Wm, 1996. *The Biology of Sea Turtles, Volume I*. Boca Raton : CRC Press. ISBN 978-0-203-73708-8.

LUTZ, Peter L., MUSICK, John A. et WYNEKEN, Jeanette (éd.), 1996. *The biology of sea turtles Volume II*. Boca Raton, Fla : CRC Press. Marine science series. ISBN 978-0-8493-8422-6. QL666.C536 B56 1997

LUTZ, Peter L., MUSICK, John A. et WYNEKEN, Jeanette (éd.), 2002. *The Biology of Sea Turtles, Volume II*. Boca Raton : CRC Press. ISBN 978-0-429-11829-6.

MAGALHÃES, Marcela dos S., SANTOS, Armando J. Barsante, SILVA, Naisandra B. da et MOURA, Carlos E. B. de, 2012. Anatomy of the digestive tube of sea turtles (Reptilia: Testudines). *Zoologia (Curitiba)*. février 2012. Vol. 29, n° 1, pp. 70-76. DOI 10.1590/S1984-46702012000100008.

MCARTHUR, Stuart, WILKINSON, Roger et MEYER, Jean (éd.), 2004. *Medicine and Surgery of Tortoises and Turtles* [en ligne]. Oxford, UK : Blackwell Publishing Ltd.

[Consulté le 12 mars 2023]. ISBN 978-0-470-69887-7. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470698877>

MCCUTCHEON, S. M., MCDERMID, K. J. et BALAZS, G. H., 2003. A Nutritional Analysis of the Turf Algal Diet and Fecal Pellets of The Green Turtle, *Chelonia Mydas L.* *Journal of Phycology*. 2003. Vol. 39, n° s1, pp. 41-41. DOI 10.1111/j.0022-3646.2003.03906001_118.x.

MCDERMID, Karla J, STUERCKE, Brooke et BALAZS, George H, 2007. Nutritional composition of marine plants in the diet of the green sea turtle (*Chelonia mydas*) in the Hawaiian Islands. *BULLETIN OF MARINE SCIENCE*. 2007. Vol. 81, n° 1.

MCWILLIAMS, D. A., 2005. Nutrition research on calcium homeostasis. II. Freshwater turtles (with recommendations). *International Zoo Yearbook*. janvier 2005. Vol. 39, n° 1, pp. 77-85. DOI 10.1111/j.1748-1090.2005.tb00007.x.

MELVIN, Steven D., MARCH, Duane T., MARSHALL, Kieren, CARROLL, Anthony R. et VAN DE MERWE, Jason P., 2021. Improving rehabilitation outcomes using metabolomics: Health, recovery and biomarkers of mortality in sick and injured green turtles (*Chelonia mydas*). *Biological Conservation*. 1 février 2021. Vol. 254, pp. 108943. DOI 10.1016/j.biocon.2020.108943.

MENDONÇA, Mary T. et MENDONCA, Mary T., 1983. Movements and Feeding Ecology of Immature Green Turtles (*Chelonia mydas*) in a Florida Lagoon. *Copeia*. 14 décembre 1983. Vol. 1983, n° 4, pp. 1013. DOI 10.2307/1445104.

MEYLAN, Anne, 1985. The Role of Sponge Collagens in the Diet of the Hawksbill Turtle (*Eretmochelys Imbricata*). In : BAIRATI, A. et GARRONE, R. (éd.), *Biology of Invertebrate and Lower Vertebrate Collagens* [en ligne]. Boston, MA : Springer US. pp. 191-196. NATO ASI Series. [Consulté le 16 novembre 2022]. ISBN 978-1-4684-7636-1. Disponible à l'adresse : https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7636-1_15

MEYLAN, Anne, 1988. Spongivory in Hawksbill Turtles: A Diet of Glass. *Science*. 1988. Vol. 239, n° 4838, pp. 393-395.

MILTON, Sarah et LUTZ, Peter, 2002. Physiological and Genetic Responses to Environmental Stress. In : LUTZ, Peter, MUSICK, John et WYNEKEN, Jeanette (éd.) [en ligne]. CRC Press. 17 décembre 2002. pp. 163-197. [Consulté le 24 septembre 2023]. Marine Biology. ISBN 978-0-8493-1123-9. Disponible à l'adresse : <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9781420040807.ch6>

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES, 2022. *Arrêté du 10 novembre 2022 fixant la liste des tortues marines protégées sur le territoire national et les modalités de leur protection* [en ligne]. 6 décembre 2022. [Consulté le 1 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000046683396>

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRE, 2016. Les enjeux et défis de l'agriculture à Mayotte. *Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire*

[en ligne]. 20 juin 2016. [Consulté le 31 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://agriculture.gouv.fr/les-enjeux-et-defis-de-lagriculture-mayotte>

MOLLION, Jean, 2020. The seaweed resources of Madagascar. *Botanica Marina*. 9 janvier 2020. Vol. 63. DOI 10.1515/bot-2018-0040.

MONTAGNAC, Julie A., DAVIS, Christopher R. et TANUMIHARDJO, Sherry A., 2009. Nutritional Value of Cassava for Use as a Staple Food and Recent Advances for Improvement. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2009. Vol. 8, n° 3, pp. 181-194. DOI 10.1111/j.1541-4337.2009.00077.x.

MULOCHAU, Thierry, JEAN, Claire, GOGENDEAU, Pierre et CICCIONE, Stéphane, 2021. Green sea turtle, *Chelonia mydas*, feeding on *Synapta maculata* (Holothuroidea: Synaptidae) on a seagrass bed (*Syringodium isoetifolium*) at Reunion Island, western Indian Ocean. *SPC Beche-de-mer Information*. mars 2021. N° 41.

MUSICK, John A., 2002. *Living marine resources of the Western Central Atlantic*. Rome : Food and agriculture organization of the United Nations. FAO Species Identification Guides for fishery purposes, N°5. ISBN 978-92-5-104825-2. 591.770 12

MYERS, Norman, MITTERMEIER, Russell A., MITTERMEIER, Cristina G., DA FONSECA, Gustavo A. B. et KENT, Jennifer, 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. février 2000. Vol. 403, n° 6772, pp. 853-858. DOI 10.1038/35002501.

NAGAOKA, Shany Mayumi, MARTINS, Agnaldo Silva, DOS SANTOS, Robson Guimarães, TOGNELLA, Mônica Maria Pereira, DE OLIVEIRA FILHO, Eurico Cabral et SEMINOFF, Jeffrey A., 2012. Diet of juvenile green turtles (*Chelonia mydas*) associating with artisanal fishing traps in a subtropical estuary in Brazil. *Marine Biology*. 1 mars 2012. Vol. 159, n° 3, pp. 573-581. DOI 10.1007/s00227-011-1836-y.

NUITJA, I Nyoman S. et WIJAYA, Silvia, 2017. STUDIES ON DIGESTIVE ORGANS OF TWO SEA TURTLES, *Chelonia mydas* L. and *Eretmochelys imbricata* L. *Indonesian Fisheries Research Journal*. 31 mai 2017. Vol. 11, n° 1, pp. 47. DOI 10.15578/ifrj.11.1.2005.47-52.

OLIVER, Lisa J., SALMON, Michael, WYNEKEN, Jeanette, HUETER, Robert et CRONIN, Thomas W., 2000. Retinal Anatomy of hatchling sea turtles: Anatomical specializations and behavioral correlates. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*. 1 novembre 2000. Vol. 33, n° 4, pp. 233-248. DOI 10.1080/10236240009387095.

OULANGA NA NYAMBA, 2020. *Les enjeux du braconnage de tortues marines à Mayotte* [en ligne]. 2020. Disponible à l'adresse : <https://gtmf.mnhn.fr/wp-content/uploads/sites/13/2020/12/Dossier-braconnage-2020.pdf>

OULANGA NA NYAMBA, 2022a. Les tortues marines à Mayotte. [en ligne]. 21 juin 2022. [Consulté le 9 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://oulangananyamba.com/les-tortues/les-tortues-marines-a-mayotte/>

OULANGA NA NYAMBA, 2022b. Kaz'a Nyamba. [en ligne]. 21 décembre 2022. [Consulté le 29 septembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://oulangananyamba.com/kaza-nyamba/>

PARC NATUREL MARIN MAYOTTE, 2009. La mer, les hommes et les femmes. [en ligne]. septembre 2009. [Consulté le 29 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://parc-marin-mayotte.fr/editorial/la-mer-les-hommes-et-les-femmes>

PARC NATUREL MARIN MAYOTTE, 2020. La biodiversité du Parc. *Parc Naturel Marin Mayotte* [en ligne]. juillet 2020. [Consulté le 1 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://parc-marin-mayotte.fr/editorial/la-biodiversite-du-parc>

PARC NATUREL MARIN MAYOTTE, 2020. L'herbier : qu'est ce que c'est ? [en ligne]. 2020. [Consulté le 1 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://parc-marin-mayotte.fr/editorial/lherbier-quest-ce-que-cest>

PARC NATUREL MARIN MAYOTTE, 2021. *Bilan 10 ans du Parc naturel marin de Mayotte* [en ligne]. [Consulté le 11 novembre 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.calameo.com/ofbiodiversite/read/003502948692e52bea4d9>

PATEL, Esha, KOTERA, Manya et PHILLOTT, Andrea D, 2022. The roles of sea turtles in ecosystem processes and services. . 2022. N° 36.

PHILIPPE, J.-S., BOURJEA J., CICCIONE S., BALLORAIN K., MARINESQUE S., et GLENARD Z., 2014. Plan national d'actions en faveur des tortues marines des territoires français de l'océan Indien : La Réunion, Mayotte et Îles Éparses (2015-2020). . 2014. Vol. 1.

PINIAK, Wendy E. D., MANN, David A., HARMS, Craig A., JONES, T. Todd et ECKERT, Scott A., 2016. Hearing in the Juvenile Green Sea Turtle (*Chelonia mydas*): A Comparison of Underwater and Aerial Hearing Using Auditory Evoked Potentials. *PLOS ONE*. 14 octobre 2016. Vol. 11, n° 10, pp. e0159711. DOI 10.1371/journal.pone.0159711.

PNMM, 2013. *Plan de gestion du Parc naturel marin de Mayotte*. 2013.

PNMM, 2023. *Conseil de gestion du 24 août 2023 - Demande de soutien à la lutte anti-braconnages de tortues à Mayotte*. Parc Naturel Marin Mayotte.

PRÉFECTURE DE MAYOTTE, s.d. Découvrir Mayotte. [en ligne]. s.d. Disponible à l'adresse : <https://www.mayotte.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Culture-Tourisme-et-Patrimoine/Decouvrir-Mayotte/Population>

PRÉFECTURE DE MAYOTTE, s.d. Histoire et Géographie - Découvrir Mayotte - Culture, Tourisme et Patrimoine - Actions de l'État - Les services de l'État à Mayotte. [en ligne]. s.d. [Consulté le 31 juillet 2023 b]. Disponible à l'adresse : <https://www.mayotte.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Culture-Tourisme-et-Patrimoine/Decouvrir-Mayotte/Histoire-et-Geographie>

PRÉFECTURE DE MAYOTTE, 2023. COMMUNIQUÉ DE PRESSE - Préservation de la ressource en eau : limitation de certains usages de l'eau. [en ligne]. 17 juillet 2023. Disponible à

l'adresse : <https://www.mayotte.gouv.fr/Actualites/EAU/Communiqués-de-presse/Preservation-de-la-ressource-en-eau-limitation-de-certains-usages-de-l-eau>

PURGLEY, Hugh, JEWELL, Jack, DEACON, James E., WINOKUR, Robert M. et TRIPOLI, Vicki M., 2009. Vitamin D3 in Captive Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*). *Chelonian Conservation and Biology*. 1 décembre 2009. Vol. 8, n° 2, pp. 161-167. DOI 10.2744/CCB-0765.1.

QUILLARD, Mireille, 2012. Les tortues marines à Mayotte : Bilan des actions de protection et perspectives. . 2012.

RABIA, Laurence, 2017. *Valorisation des légumes-feuilles et introduction de Moringa oleifera chez les maraîchers de Toliara*.

RAINEY, William E., 1981. *Guide to Sea Turtle Visceral Anatomy*. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Southeast Fisheries Center, Panama City Laboratory.

REISSER, Julia, PROIETTI, Maíra, SAZIMA, Ivan, KINAS, Paul, HORTA, Paulo et SECCHI, Eduardo, 2013. Feeding ecology of the green turtle (*Chelonia mydas*) at rocky reefs in western South Atlantic. *Marine Biology*. 1 août 2013. DOI 10.1007/s00227-013-2304-7.

ROARK, Alison M., BJORN DAL, Karen A. et BOLTEN, Alan B., 2009. Compensatory Responses to Food Restriction in Juvenile Green Turtles (*Chelonia mydas*). *Ecology*. 2009. Vol. 90, n° 9, pp. 2524-2534.

ROBINSON, N.J. et PALADINO, F.V., 2013. Sea Turtles. In : *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* [en ligne]. Elsevier. pp. B9780124095489043529. [Consulté le 17 novembre 2022]. ISBN 978-0-12-409548-9. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124095489043529>

RUSSELL, Dennis, HARGROVE, Stacy et BALAZS, George, 2011. Marine Sponges, Other Animal Food, and Nonfood Items Found in Digestive Tracts of the Herbivorous Marine Turtle *Chelonia mydas* in Hawai'i. *Pacific Science*. 1 juillet 2011. Vol. 65, pp. 375-381. DOI 10.2984/65.3.375.

RUSSELL, Dennis J. et BALAZS, George H., 2009. Dietary Shifts by Green Turtles (*Chelonia mydas*) in the Kāne'ohe Bay Region of the Hawaiian Islands: A 28-Year Study. *Pacific Science*. avril 2009. Vol. 63, n° 2, pp. 181-192. DOI 10.2984/049.063.0202.

SARMIENTO-RAMÍREZ, Jullie M., ABELLA-PÉREZ, Elena, PHILLOTT, Andrea D., SIM, Jolene, WEST, Pieter van, MARTÍN, María P., MARCO, Adolfo et DIÉGUEZ-URIBEONDO, Javier, 2014. Global Distribution of Two Fungal Pathogens Threatening Endangered Sea Turtles. *PLOS ONE*. 21 janvier 2014. Vol. 9, n° 1, pp. e85853. DOI 10.1371/journal.pone.0085853.

SCHOLTEN, Naomi, DUFFAUD, Marc-Henri et GIANNASI, Paul, 2020. *Ebauche de relevés standardisés des herbiers intertidaux de Mayotte : premier bilan et perspectives pour un suivi diachronique et pour le développement d'un indicateur pérenne*. PNMM/OFB.

SCOTT, Abigail L., YORK, Paul H. et RASHEED, Michael A., 2020. Green turtle (*Chelonia mydas*) grazing plot formation creates structural changes in a multi-species Great Barrier Reef seagrass meadow. *Marine Environmental Research*. 1 décembre 2020. Vol. 162, pp. 105183. DOI 10.1016/j.marenvres.2020.105183.

SEMINOFF, Jeffrey, ALFARO SHIGUETO, Joanna, AMOROCHO, Diego, ARAUZ, Randall, GALLEGOS, ANDRES, CHACON, Didiher, GAOS, Alexander, KELEZ, Shaleyla, MANGEL, Jeffrey, URTEAGA, Jose et WALLACE, Bryan, 2012. Biology and Conservation of Sea Turtles in the Eastern Pacific Ocean:: A General Overview. In : . pp. 11-39. ISBN 978-0-8165-1158-7.

SIEGWALT, Flora, JEANTET, Lorène, LELONG, Pierre, MARTIN, Jordan, GIRONDOT, Marc, BUSTAMANTE, Paco, BENHALILOU, Abdelwahab, MURGALE, Céline, ANDREANI, Lucas, JACARIA, François, CAMPISTRON, Guilhem, LATHIÈRE, Anthony, BAROTIN, Charlène, BURET-ROCHAS, Gaëlle, BARRE, Philippe, HIELARD, Gaëlle, ARQUÉ, Alexandre, RÉGIS, Sidney, LECERF, Nicolas, FROUIN, Cédric, LEFEBVRE, Fabien, AUBERT, Nathalie, ARTHUS, Mosiah, ETIENNE, Denis, ALLENOU, Jean-Pierre, DELNATTE, César, LAFOLLE, Rachelle, THOBOR, Florence, CHEVALLIER, Pascale, CHEVALLIER, Tao, LEPORI, Muriel, ASSIO, Cindy, GRAND, Clément, BONOLA, Marc, TURSI, Yannick, VARKALA, Pierre-Walter, MESLIER, Stéphane, LANDREAU, Anthony, LE MAHO, Yvon, HABOLD, Caroline, ROBIN, Jean-Patrice et CHEVALLIER, Damien, 2022. Food selection and habitat use patterns of immature green turtles (*Chelonia mydas*) on Caribbean seagrass beds dominated by the alien species *Halophila stipulacea*. *Global Ecology and Conservation*. septembre 2022. Vol. 37, pp. e02169. DOI 10.1016/j.gecco.2022.e02169.

SISE 976, 2021. *Recensement agricole 2020*. SISE -DAAF.

SONGNUI, Anida, THONGPRAJUKAEW, Karun, KANGHAE, Hirun, SATJARAK, Jirapan et KITTIWATTANAWONG, Kongkiat, 2017. Water depth and feed pellet type effects on growth and feed utilization in the rearing of green turtle (*Chelonia mydas* Linnaeus, 1758). *Aquatic Living Resources*. 2017. Vol. 30, pp. 18. DOI 10.1051/alr/2017017.

STEVENS, B., 2019. Assessment of Sea Turtle Rehabilitation in North Carolina. [en ligne]. 26 avril 2019. [Consulté le 31 mars 2023]. Disponible à l'adresse : <https://dukespace.lib.duke.edu/dspace/handle/10161/18433>

STOKES, Holly, MORTIMER, Jeanne, HAYS, Graeme, UNSWORTH, Richard, LALOË, Jacques-Olivier et ESTEBAN, Nicole, 2019. Green turtle diet is dominated by seagrass in the Western Indian Ocean except amongst gravid females. *Marine Biology*. 30 septembre 2019. Vol. 166. DOI 10.1007/s00227-019-3584-3.

STRINGER, Elizabeth, HARMS, Craig, ANDERSON, Eric et BEASLEY, Jean, 2010. Comparison of Ionized Calcium, Parathyroid Hormone, and 25-Hydroxyvitamin D in Rehabilitating and Healthy Wild Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*). *Journal of Herpetological Medicine and Surgery*. 1 décembre 2010. Vol. 20, pp. 122-127. DOI 10.5818/1529-9651-20.4.122.

TURQUET, Jean, PANNETIER, Stéphane, QUOD, Jean-Pascal et RAMIALIHARISOA, A., 1999. *Les intoxications par tortues marines dans le Sud-Ouest de l'océan Indien. Etat des connaissances*.

VANHUFFEL, Luc et HUAT, Joël, 2019. *Le guide des productions maraichères à Mayotte*. décembre 2019.

WICKEL, Julien, JAMON, Alban, PINAULT, Mathieu, DURVILLE, Patrick et CHABANET, Pascale, 2014. Composition et structure des peuplements ichtyologiques marins de l'île de Mayotte (sud-ouest de l'océan Indien). [en ligne]. septembre 2014. [Consulté le 29 août 2023]. DOI 10.26028/CYBIUM/2014-383-003. Disponible à l'adresse : <http://sfi-cybiium.fr/fr/composition-et-structure-des-peuplements-ichtyologiques-marins-de-l%E2%80%99C3%AEle-de-mayotte-sud-ouest-de-l>

WOOD, James R. et WOOD, Fern E., 1980. Reproductive Biology of Captive Green Sea Turtles *Chelonia mydas*. *American Zoologist*. 1980. Vol. 20, n° 3, pp. 499-505.

WOOD, James R. et WOOD, Fern E., 1981. Growth and digestibility for the green turtle (*Chelonia mydas*) fed diets containing varying protein levels. *Aquaculture*. 1 août 1981. Vol. 25, n° 2, pp. 269-274. DOI 10.1016/0044-8486(81)90188-5.

WOOD, L. D., 2022. Managing long-term wellness in captive sea turtles. *Animal Welfare*. novembre 2022. Vol. 31, n° 4, pp. 423-432. DOI 10.7120/09627286.31.4.007.

WYNEKEN, Jeanette, 2001. The Anatomy of Sea Turtles. *Vet eBooks* [en ligne]. 2001. [Consulté le 17 novembre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.vet-ebooks.com/the-anatomy-of-sea-turtles/>

WYNEKEN, Jeanette, LOHMANN, Kenneth J. et MUSICK, John A. (éd.), 2013. *The Biology of Sea Turtles, Volume III*. Boca Raton : CRC Press. ISBN 978-0-429-10501-2.

VARAIS Anaëlle

TITRE : ÉTUDE DE L'ALIMENTATION DES TORTUES VERTES (*CHELONIA MYDAS*) ET IMBRIQUÉES (*ERETMOCHELYS IMBRICATA*) POUR LA PROPOSITION DE RATIONS POUR LE CENTRE DE SOIN DE MAYOTTE

RÉSUMÉ : Cette thèse vise à approfondir les connaissances concernant l'alimentation des tortues vertes (*Chelonia mydas*) et imbriquées (*Eretmochelys imbricata*) de manière à fournir les données nécessaires à l'association Oulanga Na Nyamba pour l'élaboration des rations pour les tortues qui seront accueillies dans le futur centre de soin de Mayotte. Elle inclut une revue détaillée de l'alimentation de ces espèces en milieu naturel et analyse les recommandations nutritionnelles en milieu captif issues d'autres centres de soins. Après une analyse approfondie du territoire de Mayotte, une liste de fournisseurs potentiels de ressources a été établie, répondant aux contraintes et besoins de l'association. Une investigation des contenus stomacaux de tortues décédées révèle l'abondance de phanérogames marines, de rhodophytes, phéophytes, et éponges. Cette analyse permet de comparer les valeurs nutritionnelles des aliments naturels avec les ressources locales envisagées pour le centre, formant ainsi une base solide pour des recommandations nutritionnelles adaptées à Mayotte. Ces conclusions contribuent ainsi à la conservation des tortues marines dans la région.

MOTS CLÉS : Tortues marines, alimentation, nutrition, *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, Mayotte, captivité, centre de soin, conservation

ENGLISH TITLE: STUDY OF THE FEEDING HABITS OF GREEN TURTLES (*CHELONIA MYDAS*) AND HAWKSBILL TURTLES (*ERETMOCHELYS IMBRICATA*) FOR THE DEVELOPMENT OF FEEDING PLANS FOR THE CARE CENTER IN MAYOTTE

ABSTRACT: This thesis aims to deepen our understanding of the diet of green turtles (*Chelonia mydas*) and hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) in order to provide the necessary data for the Oulanga Na Nyamba organization to develop feeding plans for turtles that will be housed in the future care center in Mayotte. It includes a detailed review of the natural diet of these species and analyzes the nutritional recommendations in captive environments from other care centers. Following a thorough analysis of the Mayotte territory, a list of potential suppliers of resources has been established, meeting the constraints and needs of the association. An investigation of the stomach contents of deceased turtles reveals the abundance of marine phanerogams, red and brown algae, and sponges. This analysis allows for a comparison of the nutritional values of natural foods with the local resources considered for the center, forming a solid foundation for tailored nutritional recommendations for Mayotte. These findings contribute to the conservation of marine turtles in the region.

KEYWORDS : Sea turtles, diet, nutrition, *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, Mayotte, captivity, care center, conservation