



HAL
open science

Utilisation de l'hématologie comme outil d'évaluation de la santé d'une population de tortue verte (*chelonina mydas*) : application à la fibropapillomatose

Margot Allaire

► To cite this version:

Margot Allaire. Utilisation de l'hématologie comme outil d'évaluation de la santé d'une population de tortue verte (*chelonina mydas*) : application à la fibropapillomatose. Médecine vétérinaire et santé animale. 2024. dumas-04811286

HAL Id: dumas-04811286

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04811286v1>

Submitted on 29 Nov 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.

UTILISATION DE L'HÉMATOLOGIE COMME OUTIL D'ÉVALUATION DE LA SANTÉ D'UNE POPULATION DE TORTUE VERTE (*CHELONIA MYDAS*) : APPLICATION À LA FIBROPAPILLOMATOSE

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*

ALLAIRE Margot, Cindy, Christine

Directeur de thèse : **M. Guillaume LE LOC'H**

JURY

PRESIDENT :

M. Stéphane BERTAGNOLI

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSEESSEURS :

M. Guillaume LE LOC'H

Mme Catherine TRUMEL

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRES INVITEES :

Mme Aurélie LE LOC'H

Mme Sophie DUPONT

Directrice du laboratoire d'analyses vétérinaires LABO NAC&CO

Ancienne chercheuse post-doctorale pour le laboratoire BOREA

UTILISATION DE L'HÉMATOLOGIE COMME OUTIL D'ÉVALUATION DE LA SANTÉ D'UNE POPULATION DE TORTUE VERTE (*CHELONIA MYDAS*) : APPLICATION À LA FIBROPAPILLOMATOSE

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*

ALLAIRE Margot, Cindy, Christine

Née le 30/08/1998 à LA FLECHE (72)

Directeur de thèse : M. Guillaume LE LOC'H

JURY

PRESIDENT :

M. Stéphane BERTAGNOLI

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :

M. Guillaume LE LOC'H

Mme Catherine TRUMEL

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRES INVITEES :

Mme Aurélie LE LOC'H

Mme Sophie DUPONT

Directrice du laboratoire d'analyses vétérinaires LABO NAC&CO

Ancienne chercheuse post-doctorale pour le laboratoire BOREA

**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*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- 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*
- 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. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- 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*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie-Thérapeutique*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- 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*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
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 et gestion des entreprises vétérinaires agricoles*
M. **FUSADE-BOYER**, *Microbiologie et infectiologie*
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LE GRAVERAND Quentin**, *Alimentation animale*
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
M. **OTAVIANO DO REGO Renato**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme **PIERRON Alix**, *Pharmacie-Toxicologie*
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales réglementées*
Mme **WARET-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

À Monsieur le Professeur Stéphane Bertagnoli

Professeur de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Pathologie infectieuse

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

Veillez trouver ici le témoignage de mon profond respect.

À Monsieur le Docteur Guillaume Le Loc'h

Maître de Conférences à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Médecine zoologique et santé de la faune sauvage

Pour avoir accepté de diriger ces travaux,

Sincères remerciements pour votre accompagnement tout au long de cette réalisation, votre gentillesse, votre disponibilité et vos conseils.

Toute ma gratitude et mon estime.

À Madame la Professeure Catherine Trumel

Professeure de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Biologie médicale animale et comparée

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'être assesseur de cette thèse.

Hommages respectueux.

À Madame la Docteure Aurélie Le Loc'h

Directrice du laboratoire d'analyses vétérinaires LABO NAC&CO.

Sincères remerciements pour m'avoir épaulée, soutenue et encadrée pour la partie pratique de ce projet.

Toute ma reconnaissance et mon respect.

À Madame la Chercheuse Post - Doctorale Sophie Dupont

Ancienne chercheuse post-doctorale pour le laboratoire BOREA

Pour m'avoir accompagnée et aidée à chaque étape de cette thèse.

Sincères remerciements pour sa réactivité, son aide et son soutien.

Toute ma gratitude et mon amitié.

Au reste de l'équipe du laboratoire LABO NAC&CO (A. Thomas, O. Bertin)

Pour votre aide dans la réalisation des colorations des frottis sanguins.

Merci pour votre soutien et votre efficacité.

Aux équipes de chercheurs des laboratoire BOREA (D. Chevallier, P. Lelong) et LIENSs (M. Giraudeau)

Pour votre aide dans la récolte des données de terrain et leur traitement. Pour m'avoir permis de participer à l'un de vos projets.

Un immense merci pour votre confiance et votre aide.

Veillez trouver ici l'expression de ma gratitude et le témoignage de mon profond respect.

Table des matières

REMERCIEMENTS	4
TABLE DES MATIERES	6
TABLE DES ILLUSTRATIONS	10
TABLE DES TABLEAUX	13
LISTE DES ABREVIATIONS (PAR ORDRE D'APPARITION DANS LE TEXTE)	14
INTRODUCTION	17
PREMIERE PARTIE – ORIGINES, DIVERSITE ET EVOLUTION DES TORTUES MARINES : FOCUS SUR LA TORTUE VERTE.....	19
1.1 DEFINITION ET HISTOIRE EVOLUTIVE DES TORTUES	19
1.1.1 Définition	19
1.1.2 Les tortues, origine et évolution	19
1.2 LES TORTUES MARINES	21
1.2.1 Description	21
1.2.2 Distribution géographique	23
1.2.3 Menaces subies par ces espèces.....	24
1.2.3.a Généralités	24
1.2.3.b Pollution plastique des océans	26
1.2.3.c Captures accidentelles	28
1.2.3.d Altération et pression sur les sites de nutrition et de reproduction	30
1.2.3.e Surexploitation et braconnage.....	31
1.2.3.f Autres menaces et pistes de réflexion.....	32
1.3 LA TORTUE VERTE : <i>CHELONIA MYDAS</i>	34
1.3.1 Description morphologique	34
1.3.2 Distribution géographique et habitats de la Tortue verte	35
1.3.3 Reproduction et cycle de vie.....	36
1.3.4 Alimentation	37

DEUXIEME PARTIE - LA FIBROPAPILLOMATOSE DES TORTUES VERTES : EPIDEMIOLOGIE, CARACTERISTIQUES CLINIQUES ET STRATEGIES THERAPEUTIQUES 39

2.1 GENERALITES.....	39
2.1.1 <i>Le concept One Health : une seule santé</i>	39
2.1.1.a Définition du concept One Health.....	39
2.1.1.b Liens entre la santé des tortues vertes, de l'environnement et des humains	40
2.1.2 <i>Définition de la fibropapillomatose</i>	42
.....	42
2.1.3 <i>Spectre d'espèces</i>	42
2.2 EPIDEMIOLOGIE DE LA FIBROPAPILLOMATOSE.....	43
2.2.1 <i>Distribution géographique et prévalence de la maladie</i>	43
2.2.2 <i>Agent étiologique</i>	45
2.2.3 <i>Facteurs de risques</i>	46
2.3 ASPECT CLINIQUE ET LESIONNEL DE LA MALADIE, PERSPECTIVES D'EVOLUTIONS ET TRAITEMENTS ENVISAGEABLES	47
2.3.1 <i>Manifestations cliniques de la maladie</i>	47
2.3.1.a Lésions	47
2.3.1.b Répercussions systémiques.....	49
2.3.2 <i>Evolutions possibles : régression / stabilisation / aggravation</i>	50
2.3.3 <i>Options thérapeutiques envisageables</i>	54

TROISIEME PARTIE - ETUDE EXPERIMENTALE : LIENS ENTRE LA FIBROPAPILLOMATOSE ET LE PROFIL HEMATOLOGIQUE DES TORTUES VERTES DE MARTINIQUE..... 56

3.1 OBJECTIF DE L'ETUDE	56
3.2 MATERIELS ET METHODES	57
3.2.1 <i>Découverte du territoire d'étude : la Martinique</i>	57
3.2.1.a Particularités du territoire martiniquais	57
3.2.1.b Répartition géographique des tortues étudiées	58
3.2.2 <i>Description des animaux étudiés</i>	60
3.2.3 <i>Capture des animaux</i>	60

3.2.4	<i>Prélèvements sanguins</i>	61
3.2.5	<i>Mesures phénotypiques</i>	63
3.2.6	<i>Premières analyses effectuées sur place</i>	64
3.2.7	<i>Réalisation et lecture des frottis sanguins</i>	66
3.2.8	<i>Analyses statistiques</i>	67
3.3	L'HEMATOLOGIE DE LA TORTUE VERTE	69
3.3.1	<i>La lignée érythrocytaire</i>	69
3.3.2	<i>La lignée thrombocytaire</i>	70
3.3.3	<i>La lignée leucocytaire</i>	71
3.3.3.a	<i>Hétérophiles</i>	71
3.3.3.b	<i>Éosinophiles</i>	73
3.3.3.c	<i>Basophiles</i>	74
3.3.3.d	<i>Lymphocytes</i>	75
3.3.3.e	<i>Monocytes</i>	76
3.4	RESULTATS	77
3.4.1	<i>Paramètres étudiés</i>	77
3.4.2	<i>Analyse descriptive de l'échantillon</i>	78
3.4.3	<i>Effet du site d'études ABAC/GA</i>	80
3.4.3.a	<i>Sur les paramètres phénotypiques</i>	80
3.4.3.b	<i>Sur les paramètres hématologiques</i>	82
3.4.4	<i>Effet du statut sanitaire saine/atteinte de FP</i>	83
3.4.4.a	<i>Sur les paramètres phénotypiques</i>	83
3.4.4.b	<i>Sur les paramètres hématologiques</i>	84
3.4.5	<i>Relations entre le TTA et les paramètres phénotypiques et hématologiques</i>	85
3.4.5.a	<i>Relation entre le TTA et la taille</i>	85
3.4.5.b	<i>Relation entre le TTA et l'hématocrite</i>	86
3.4.5.c	<i>Relation entre le TTA et le taux d'hétérophiles</i>	87
3.4.5.d	<i>Relation entre le TTA et le taux de lymphocytes</i>	88
3.4.5.e	<i>Relation entre le TTA et le rapport H/L</i>	89

3.4.5.f Relation entre le TTA et le taux d'éosinophiles	90
3.4.5.g Relation entre le TTA et le taux de basophiles	91
3.4.5.h Relation entre le TTA et le taux de monocytes	92
3.5 DISCUSSION	93
3.5.1 <i>Résultats obtenus</i>	93
3.5.2 <i>Analyses des matériels et méthodes utilisées</i>	97
3.5.2.a Pertinence des sites et des animaux étudiés	97
3.5.2.b Récolte des données	98
3.5.2.c Méthodes de comptage des leucocytes	98
3.5.3 <i>Importance de ce type d'étude</i>	99
3.5.3.a Impact sur la santé des tortues vertes à l'échelle individuelle et collective	99
3.5.3.b Impact sur les écosystèmes marins	100
3.5.3.c Indicateur de la dégradation environnementale	100
3.5.3.d Importance pour la conservation et la gestion des espèces	101
3.5.3.e Enjeux économiques et sociaux	101
3.5.4 <i>Perspectives d'avenir</i>	101
CONCLUSION.....	103
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	105
ANNEXE 1 : TECHNIQUE DE COLORATION WRIGHT-GIEMSA SELON SAIMOUR.....	125
ANNEXE 2 : DISTRIBUTION DIFFERENTIELLE DES POURCENTAGES DE LEUCOCYTES CHEZ TOUTES LES TORTUES ETUDIEES (N = 99).....	126

Table des illustrations

Figure 1 : Dessins des ancêtres les plus connus des tortues (A) <i>Pappochelys rosinae</i> , (B) <i>Odontochelys semitestacea</i> , (C) <i>Proganochelys quenstedti</i> . Traduit de Schoch et al. 2019.	20
Figure 2 : Réplique d' <i>Archelon ischyros</i> exposée à l'Université de Manitoba, au Canada. Photographie de Mike Beauregard.	21
Figure 3 : Les sept espèces de tortues marines. Modifié de Divers For Turtle 2019	22
Figure 4 : Cartes représentant l'aire de distribution principale (en bleu) et les zones d'occurrence possible (en vert) des sept espèces de tortues marines : Tortue luth (A), Tortue verte (B), Tortue caouanne (C), Tortue à dos plat (D), Tortue imbriquée (E), Tortue olivâtre (F), Tortue de Kemp (G). Modifié de FAO 2013.....	23
Figure 5 : Catégories de la Liste Rouge de l'UICN. D'après UICN 2012.....	24
Figure 6 : Les techniques de pêche les plus souvent responsables de captures accidentelles de tortues marines. Modifié d'après www.pavillonfrance.fr	29
Figure 7 : Proportion d'experts interrogés considérant chacune des menaces potentielles pour la conservation des tortues marines comme une menace nulle, une menace faible, une menace modérée, une menace forte ou une menace majeure. Traduit d'après Whilde et al. 2024.	33
Figure 8 : Schéma descriptif de la morphologie de la Tortue verte. D'après Biodiversity Heritage Library	34
Figure 9 : Cycle de vie de la tortue verte. D'après Lutz et Musick 1997.	36
Figure 10 : Schéma descriptif du concept One Health. D'après INRAE, illustration de Michael Le Boulout 2020	40
Figure 11 : Principales localisations des tumeurs de fibropapillomatose. D'après Garcês et Pires, 2022.....	42
Figure 12 : Répartition globale des cas rapportés de fibropapillomatose dans le monde. Les cercles rouges représentent les zones où ont été répertoriés des cas de fibropapillomatose dans le monde et la zone grise est la zone de répartition globale des tortues marines. D'après Renvier, 2020.....	43
Figure 13 : Tortue verte prise dans un filet de pêche et présentant des tumeurs de différente taille, couleur et localisation. Crédit photo : The Turtle Hospital (Floride), 2016, www.turtlehospital.org	47
Figure 14 : Tortue verte atteinte d'imposantes tumeurs en région oculaire. Crédit photo : The Turtle Hospital (Floride), 2017, www.turtlehospital.org	48

Figure 15 : Tumeurs viscérales retrouvées chez une tortue verte sur les poumons (A) et les reins (B). D'après Rossi et al, 2021.	48
Figure 16 : Exemples de progression et de régression des fibropapillomes. (a) progression tumorale, (b) régression tumorale et (c) progression tumorale (flèches blanches) et régression tumorale (flèches noires) sur un même individu. D'après Tagliolato et al, 2016.	51
Figure 17 : Exemple de tumeur rugueuse et lisse sur une même tortue. D'après Manes et al, 2023.	52
Figure 18 : Répartition géographique des différents sites de capture utilisés pour l'étude. ...	58
Figure 19 : Répartition des tortues parmi les anses étudiées.....	59
Figure 20 : Exemple de détermination du TTA sur une tortue verte atteinte. Photographie personnelle.....	63
Figure 21 : Centrifugeuse dédiée aux tubes capillaires (à gauche) et constitution du tube capillaire après centrifugation. Traduit d'après LabTestsGuide, 2019.	64
Figure 22 : Aspect microscopique des granulocytes mis en évidence par la coloration LMR5004 sur cellule de Malassez. Le Loc'h et Zoller, AFVAC 2019.	65
Figure 23 : Formule du comptage estimé des globules blancs (GB). D'après Campbell, 2015.	67
Figure 24 : Réticulocyte (R) entouré de nombreux érythrocytes (Er), chez une tortue verte (<i>Chelonia mydas</i>). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographie personnelle.....	69
Figure 25 : Deux thrombocytes (T) entourés de nombreux érythrocytes (Er), chez une tortue verte (<i>Chelonia mydas</i>). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographie personnelle.....	70
Figure 26 : Hétérophile en position centrale, entouré de plusieurs érythrocytes (Er), de deux réticulocytes à deux stades de maturation différents (R) et d'un thrombocyte (T), chez une tortue verte (<i>Chelonia mydas</i>). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographie personnelle.....	72
Figure 27 : Deux éosinophiles (Eo) au milieu de nombreux érythrocytes (Er), chez une tortue verte (<i>Chelonia mydas</i>). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographie personnelle.....	73
Figure 28 : Deux basophiles à granules violets (à gauche) et rosés (à droite) chez deux tortues vertes (<i>Chelonia mydas</i>). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographies personnelles.....	74

Figure 29 : Petit (à droite) et grand (à gauche) lymphocyte entourés d'érythrocytes sur un frottis sanguin de tortue verte (<i>Chelonia mydas</i>). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographie personnelle.....	75
Figure 30 : Monocyte (à gauche), monocyte vacuolé (au centre) et monocyte contenant des granules cytoplasmiques (à droite), chez des tortues vertes (<i>Chelonia mydas</i>). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographies personnelles.	76
Figure 31 : Distribution de l'ensemble des tortues étudiées (n=99) selon leur taille (CCL) en cm.	78
Figure 32 : Distribution de l'ensemble des tortues étudiées selon leur hématoците en pourcentage.	79
Figure 33 : Distribution de l'ensemble des tortues étudiées selon leur rapport H/L.	79
Figure 34 : Pourcentage de tortues atteintes de la maladie sur le nombre de tortues échantillonnées à GA (à gauche) et ABAC (à droite).	81
Figure 35 : Relation entre le TTA et la CCL des tortues atteintes de fibropapillomatose.	85
Figure 36 : Evolution de l'hématoците en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.	86
Figure 37 : Evolution du pourcentage d'hétérophiles en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.	87
Figure 38 : Evolution du pourcentage de lymphocytes en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.	88
Figure 39 : Evolution du rapport H/L en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.	89
Figure 40 : Evolution du taux d'éosinophiles en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.	90
Figure 41 : Evolution du taux de basophiles en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.	91
Figure 42 : Evolution du taux de monocytes en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.	92

Table des tableaux

Tableau 1 : Détermination du score tumoral. D'après Work et Balazs, 1999.....	53
Tableau 2 : Distance approximative à vol d'oiseau entre les différentes baies de l'étude (en km).....	59
Tableau 3 : Analyse descriptive de l'échantillon	78
Tableau 4 : Comparaison des paramètres biologiques en fonction du site d'étude (moyenne ± écart-types).....	80
Tableau 5 : Comparaison des paramètres hématologiques en fonction du site d'étude (moyenne ± écart-types).....	82
Tableau 6 : Comparaison de la taille des individus en fonction du statut sanitaire (moyenne ± écart-types).....	83
Tableau 7 : Comparaison des paramètres hématologiques en fonction du statut sanitaire (moyenne ± écart-types).....	84

Liste des abréviations (par ordre d'apparition dans le texte)

FP : Fibropapillomatose

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

EX : Eteinte

EW : Eteinte à l'état sauvage

CR : En danger critique d'extinction

EN : En danger d'extinction

VU : Vulnérable

NT : Quasi menacée

LC : Préoccupation mineure

DD : Données insuffisantes

NE : Non évaluée

CITES : Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction

cm : centimètre

mm : millimètre

GCRMN : *Global Coral Reef Monitoring Network* - Réseau mondial de surveillance des récifs coralliens

kg : kilogramme

OFB : Office Français de la Biodiversité

TAAF : Terres Australes et Antarctiques Françaises

°C : degré Celsius

OMS : Organisation mondiale de la santé

OMSA : Organisation mondiale de la santé animale

FAO : *Food and Agriculture Organization of the United Nations* - Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation

km : kilomètre

ChHV5 : *Scutavirus chelonidalpha5*

PCR : *Polymerase Chain Reaction* - Réaction en Chaîne par Polymérase

CCL : *Curved Carapace Length* - Longueur Courbe de la Carapace

Ht : Hématocrite

Hb : Hémoglobémie

BOREA : Laboratoire de biologie des organismes et des écosystèmes aquatiques

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

UMR : Unité Mixte de Recherche

LIENS : Littoral Environnement et Sociétés

IHAP : Interactions Hôtes-Agents Pathogènes

ENVT : Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

LP : Le Prêcheur

AN : Anse Noire

AD : Anse Dufour

GA : Grande Anse

ABAC : Anse du Bourg d'Arlet / Anse Chaudière

PA : Petite Anse

LD : Le rocher du Diamant

NS : *No Site* - Site non défini

CMR : Capture Marquage Recapture

TPI : Transpondeur Passif Intégré

EDTA : acide éthylènediaminetétraacétique

TTA : *Total Tumoral Area* – Aire totale de tumeur

PCV : *Packed Cell Volume* – Hématocrite

µL : microlitre

H : Hétérophiles

L : Lymphocytes

Eo : Eosinophiles

B : Basophiles

M : Monocytes

GB : Globules blancs

µm : micromètre

Introduction

Les maladies émergentes de la faune sauvage représentent une menace croissante pour la biodiversité, les écosystèmes, et la santé humaine. Ces maladies, souvent causées par des agents pathogènes nouveaux ou réémergents, touchent de nombreuses espèces animales et sont en grande partie favorisées par l'anthropisation des milieux naturels, le changement climatique et la mondialisation. La perte d'habitat, la pollution, et les interactions accrues entre les animaux sauvages et domestiques facilitent la transmission de ces maladies et la propagation de pathogènes dans de nouveaux environnements (Daszak, Cunningham, Hyatt 2000). Certaines d'entre elles ont engendré de fortes épidémies, avec des conséquences dévastatrices pour la conservation des espèces. Par exemple, la chytridiomycose a entraîné le déclin de 501 espèces d'amphibiens dans le monde et est soupçonnée d'être impliquée dans l'extinction de 90 espèces (Fisher, Garner 2020).

Ces maladies de la faune sauvage affectent non seulement les espèces animales elles-mêmes, mais aussi les écosystèmes dans lesquels elles évoluent, ainsi que les activités humaines dépendantes de ces systèmes naturels. Les perspectives écologiques et évolutives de ces maladies, ainsi que leurs impacts sur la résilience des écosystèmes et des espèces, nécessitent une attention accrue. En effet, l'étude des maladies infectieuses dans les populations animales sauvages offre une opportunité unique de mieux appréhender les mécanismes de propagation des pathogènes, les dynamiques des populations, et l'impact des interventions humaines sur la santé de la faune et des écosystèmes.

Ainsi, il devient impératif de renforcer la surveillance sanitaire des animaux sauvages, d'étudier les mécanismes écologiques sous-jacents à l'émergence des maladies, et de promouvoir des stratégies de conservation qui tiennent compte des interactions entre les espèces et les agents pathogènes. La compréhension de ces processus est cruciale pour protéger la faune, préserver la biodiversité, et prévenir les risques de pandémie à l'échelle mondiale.

Dans ce contexte, cette thèse se focalise sur l'une de ces maladies émergentes ; la fibropapillomatose (FP). Cette maladie touche les tortues marines et principalement les tortues vertes. Premièrement, une analyse des menaces pesant sur les populations de tortues marines est proposée. Elle est suivie d'une présentation de l'espèce cible principale, la Tortue verte (*Chelonia mydas*) et de la maladie. Enfin, une étude visant à comparer les paramètres phénotypiques et hématologiques de tortues saines et atteintes provenant de différents sites de Martinique est décrite.

L'étude des impacts hématologiques de la fibropapillomatose est cruciale pour mieux comprendre comment cette maladie affecte la physiologie des tortues vertes et pour établir des protocoles de suivi de leur état de santé. Une connaissance approfondie de ces altérations permettra d'améliorer les méthodes de diagnostic, de gestion sanitaire, et de conservation des populations de tortues vertes, tout en fournissant des indications précieuses pour l'évaluation de la santé des populations dans leur ensemble. Comprendre ces mécanismes pourrait également offrir des pistes pour développer des stratégies thérapeutiques afin de limiter la progression de la maladie et d'augmenter les taux de survie des individus infectés.

Première partie – Origines, diversité et évolution des tortues marines : focus sur la Tortue verte

1.1 Définition et histoire évolutive des tortues

1.1.1 Définition

Les tortues (*Testudines*) forment un ordre de reptiles dont les caractéristiques morpho-anatomiques sont la présence d'un crâne sans fosses temporales ainsi que la présence d'une carapace. Cette dernière est formée de deux éléments unis latéralement par deux ponts osseux : la dossière qui protège la partie dorsale de l'animal, et le plastron qui préserve la partie ventrale.

On recense aujourd'hui plus de 350 espèces de tortues réparties en trois groupes selon leur mode de vie. Une soixantaine de ces espèces sont terrestres, environ 250 sont des espèces dulçaquicoles, de milieux humides ou de palustres, et enfin 7 espèces de tortues occupent le milieu marin (Bentivegna 2013). À noter que l'existence d'une huitième espèce de tortue marine est controversée. *Chelonia agassizii* est considérée par certains chercheurs (Bocourt 1868; Pritchard 1983) comme une espèce à part entière et par d'autres (Carr 1952; Ernst, Barbour 1989) comme une sous-espèce de la Tortue verte (*Chelonia mydas*).

1.1.2 Les tortues, origine et évolution

Il y a 250 millions d'années, la plus grande des extinctions massives met fin à l'ère du Paléozoïque : environ 70% des espèces terrestres et plus de 90% de la vie marine sont détruites et tout ou presque est à reconstruire durant l'ère suivante du Mésozoïque (Benton 2015). La première période du Mésozoïque, le Trias, voit apparaître les premiers dinosaures mais également les premiers ancêtres des tortues telles que nous les connaissons aujourd'hui.

L'ancêtre le plus ancien connu à ce jour est *Pappochelys Rosinae* (Figure 1, A), une espèce de tortue dont le fossile datant de 240 millions d'années a été décrit en 2015 par l'Allemand Rainer Schoch et l'Américain Hans-Dieter Sues (Schoch, Sues 2015). Dépourvu de carapace, cet ancêtre possédait des côtes élargies et épaisses pouvant fusionner par endroit (Schoch et al. 2019). Il y a 220 millions d'années, un ancêtre plus récent marque le début de la transition vers les espèces de tortues actuelles : *Odontochelys semitestacea* (Figure 1, B) possédait une carapace incomplète (présence d'un plastron mais pas d'une dossière). C'est également la première tortue à bec bien que ses mâchoires étaient aussi ornées de dents (Li et al. 2008). Il faudra attendre dix millions d'années supplémentaires pour voir apparaître la première tortue avec carapace complète : *Proganochelys quenstedti* (Figure 1, C). On observe peu de différences avec les tortues de l'Anthropocène, à part que sa queue se terminait par une sorte de massue, son cou était protégé par de petites épines l'empêchant de rentrer sa tête dans sa carapace et on note également des différences au niveau des mâchoires comme une rangée de dents vomériennes et palatines (Joyce 2009).

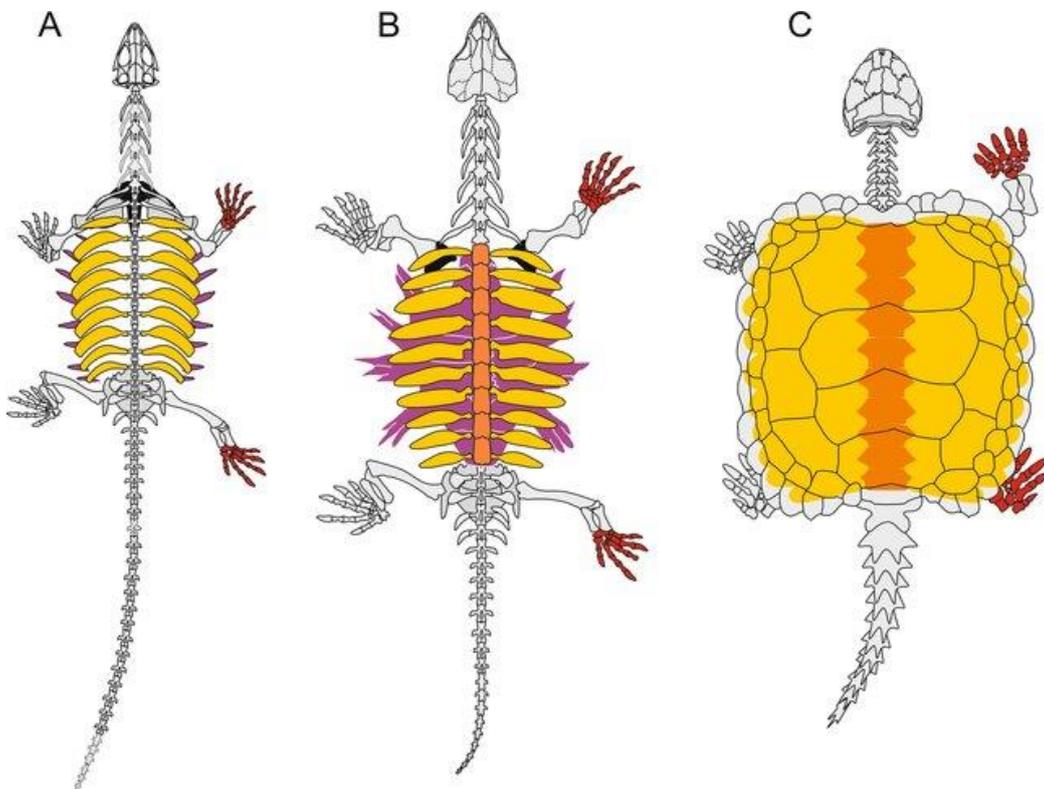


Figure 1 : Dessins des ancêtres les plus connus des tortues (A) *Pappochelys rosinae*, (B) *Odontochelys semitestacea*, (C) *Proganochelys quenstedti*. Traduit de Schoch et al. 2019.

1.2 Les tortues marines

1.2.1 Description

Les tortues marines sont des reptiles semi-aquatiques apparus sur Terre au Crétacé inférieur, il y a 110 millions d'années. La super famille des Chelonioidea est composée de cinq familles, trois se sont éteintes, les Toxochelyidés, les Ctenochelyidés ainsi que les Protostégidés avec notamment la gigantesque *Archelon ischyros* dont la carapace seule mesurait 2,2 mètres de long (Castillo-Visa et al. 2022) (Figure 2). Seules deux familles ont subsisté jusqu'à notre époque : les Cheloniidés et les Dermochélyidés.

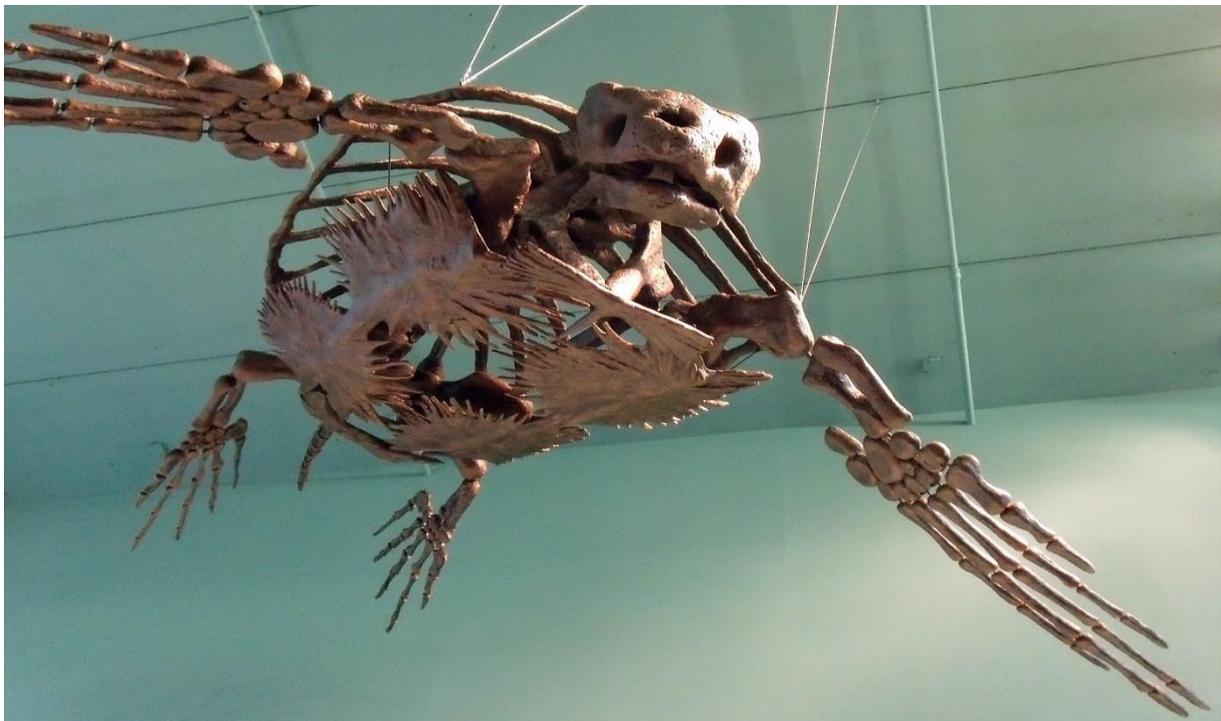


Figure 2 : Réplique d'*Archelon ischyros* exposée à l'Université de Manitoba, au Canada. Photographie de Mike Beauregard.

Ces animaux se sont peu à peu adaptés à un mode de vie marin avec notamment la modification des autopodes : les pattes devenant de véritables palettes natatoires (Cadena, Parham 2015) ainsi qu'une modification de la boîte crânienne pour l'élimination de l'excès de sel (Hirayama 1998) et la réduction de l'ossification de la carapace (Castillo-Visa et al. 2022), rendant cette dernière plus plate et plus légère pour améliorer l'hydrodynamisme de ces reptiles. Elles partagent toutefois toujours avec les tortues terrestres leur respiration pulmonaire, les rendant dépendantes de l'air atmosphérique.

Les sept espèces de tortues marines recensées actuellement sont : la Tortue luth (*Dermochelys coriacea*), la Tortue verte (*Chelonia mydas*), la Tortue caouanne (*Caretta caretta*), la Tortue à dos plat (*Natator depressa*), la Tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*), la Tortue olivâtre (*Lepidochelys olivacea*) et la Tortue de Kemp (*Lepidochelys kempii*) (Figure 3).



Figure 3 : Les sept espèces de tortues marines. Modifié de Divers For Turtle 2019

A noter que la Tortue luth est la seule espèce de la famille des Dermochélyidés. C'est aussi la plus massive des tortues marines et la seule qui possède une carapace, non pas couverte d'écailles, mais d'une peau coriace. Les six autres espèces de tortues appartiennent à la famille des Cheloniidés, des tortues à la carapace recouverte d'écailles (Bentivegna 2013).

1.2.2 Distribution géographique

Les tortues marines peuplent tous nos océans, excepté l'Océan arctique, mais sont principalement retrouvées dans les zones tempérées (IUCN 2024) (Figure 4).

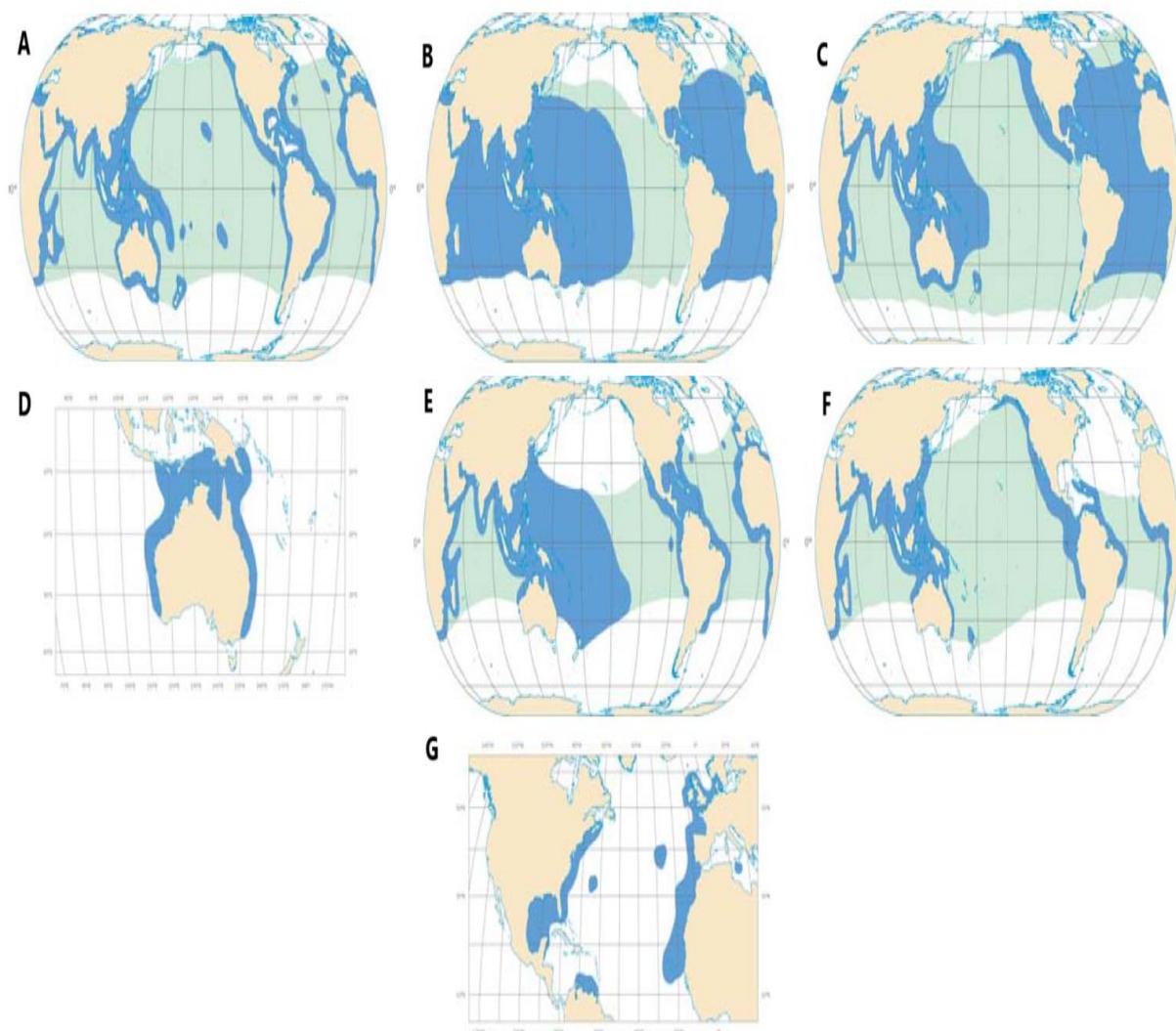


Figure 4 : Cartes représentant l'aire de distribution principale (en bleu) et les zones d'occurrence possible (en vert) des sept espèces de tortues marines : Tortue luth (A), Tortue verte (B), Tortue caouanne (C), Tortue à dos plat (D), Tortue imbriquée (E), Tortue olivâtre (F), Tortue de Kemp (G). Modifié de FAO 2013.

Cinq des sept espèces citées précédemment (c'est-à-dire toutes sauf la Tortue à dos plat et la Tortue de Kemp) vivent et se reproduisent sur les territoires d'Outre-Mer français (Ballorain et al. 2018). A l'échelle métropolitaine, la Tortue verte, la Tortue caouanne et la Tortue luth sont observées sur les côtes méditerranéennes mais seules les deux premières espèces citées s'y reproduisent (Bentivegna 2013).

1.2.3 Menaces subies par ces espèces

1.2.3.a Généralités

Au cours de leur histoire, les tortues marines ont survécu à des crises climatiques menant à des extinctions de masse mais également à la disparition des dinosaures. Pourtant, elles n'ont jamais été aussi menacées qu'aujourd'hui.

En effet, six espèces, la Tortue luth, la Tortue olivâtre, la Tortue de Kemp, la Tortue caouanne, la Tortue imbriquée et la Tortue verte, sont aujourd'hui inscrites sur la Liste Rouge de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) (IUCN 2024).

Avec le système de la Liste rouge de l'UICN, chaque espèce ou sous-espèce peut être classée dans l'une des neuf catégories suivantes : Éteinte (EX), Éteinte à l'état sauvage (EW), En danger critique (CR), En danger (EN), Vulnérable (VU), Quasi menacée (NT), Préoccupation mineure (LC), Données insuffisantes (DD), Non évaluée (NE) (Figure 5) (UICN 2012).

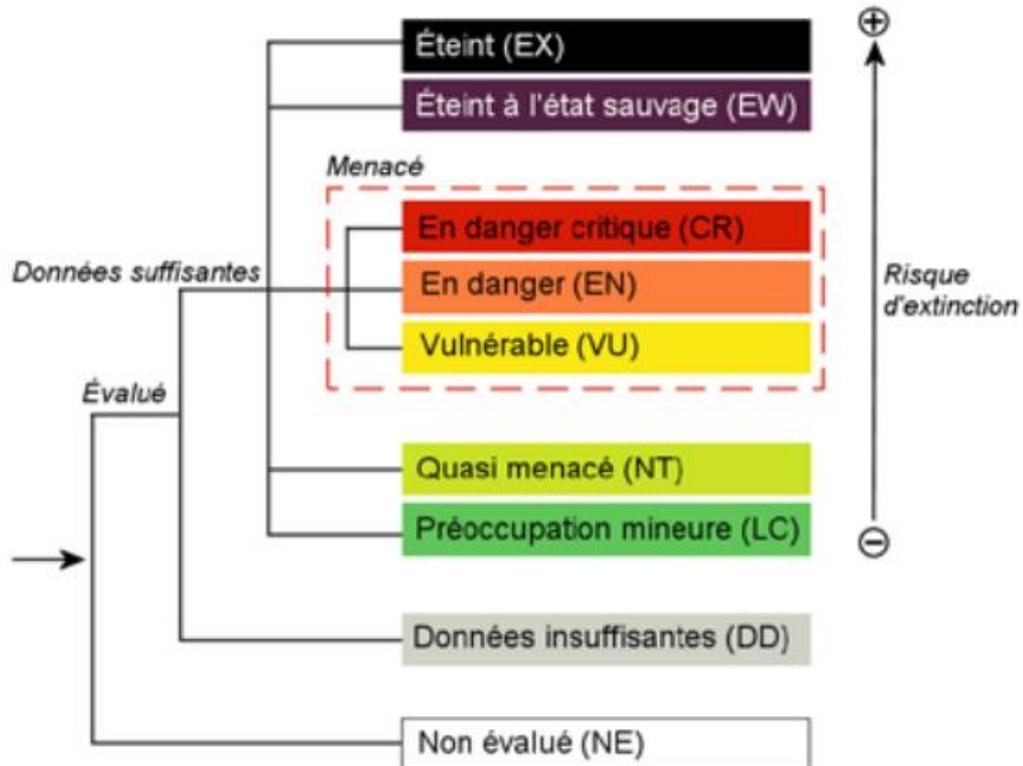


Figure 5 : Catégories de la Liste Rouge de l'UICN. D'après UICN 2012.

La classification d'une espèce ou d'une sous-espèce dans l'une des trois catégories d'espèces menacées d'extinction (CR, EN ou VU) s'effectue par le biais d'une série de cinq critères quantitatifs qui forment le cœur du système. Ces critères sont basés sur différents facteurs biologiques associés au risque d'extinction : taille de population, taux de déclin, aire de répartition géographique, degré de peuplement et de fragmentation de la répartition (UICN 2012). D'après les données disponibles à l'échelle mondiale, la Tortue olivâtre ainsi que la Tortue luth et la Tortue caouanne sont vulnérables, la Tortue verte est en danger et les tortues de Kemp et imbriquée sont en danger critique. Le statut de la Tortue à dos plat n'est pas établi à ce jour faute de données suffisantes.

Des mesures de protection sont mises en place pour ces six mêmes espèces. Notamment, elles sont inscrites sur l'Annexe I de la CITES (convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction). Cette convention est un accord international entre Etats. Elle a pour but de veiller à ce que le commerce international des spécimens d'animaux et de plantes sauvages ne menace pas la survie des espèces auxquelles ils appartiennent (CITES 1973). Aujourd'hui, 6 610 espèces animales et 34 310 espèces végétales sont protégées de la surexploitation par cette convention. Elles sont réparties en trois annexes. L'Annexe I, dont font partie les six espèces de tortues marines, concerne toutes les espèces menacées d'extinction. Leur commerce n'est autorisé que dans des conditions exceptionnelles. A titre informatif, l'Annexe II concerne les espèces dont un surcommerce irresponsable serait incompatible à leur survie. Enfin, l'Annexe III concerne les espèces qui sont protégées dans un pays qui a demandé aux autres pays leur aide pour en contrôler le commerce (CITES 1973).

Malgré cette protection, dans certaines régions, les populations de tortues marines continuent d'être exposées à des pressions biologiques (maladies notamment) mais surtout à des pressions anthropiques. Les résultats d'une étude menée sur cinq ans montrent que, entre 2008 et 2013, 66% des océans mondiaux faisaient face à une augmentation de la pression des activités anthropiques comme la pêche, la pollution, les transports maritimes mondiaux et l'augmentation des températures de la mer (Halpern et al. 2015).

Parmi ces activités anthropiques maritimes, les tortues marines sont notamment menacées par :

- La pollution croissante des océans, dont par les déchets plastiques
- Les captures accidentelles par la pêche crevettière notamment
- Le commerce illégal (viandes, œufs, écailles)
- La destruction des habitats et l'urbanisation des plages de ponte.

1.2.3.b Pollution plastique des océans

Depuis la nuit des temps, l'espèce humaine s'efforce de développer des matériaux de plus en plus développés et robustes. En ce sens, une avancée historique s'est produite lorsque Leo Baekeland, un chimiste belgo-américain, a créé la bakélite, le premier véritable plastique entièrement synthétique produit en série (Thompson et al. 2009). Depuis lors, une énorme quantité de nouveaux plastiques a été produite, envahissant nos maisons et nos villes.

La production de plastique a augmenté de façon exponentielle au cours des 15 dernières années, passant de 1,5 million de tonnes en 1950 à 395 millions de tonnes en 2018 (Plastics Europe 2020). Les contenants et emballages plastiques étant souvent destinés à un usage domestique et industriel unique, ils sont donc rapidement jetés, transformés en déchets et finissent tragiquement dans la Nature, faisant de la pollution plastique l'un des problèmes environnementaux les plus sérieux au monde. En raison de ses propriétés non biodégradables (Bian 2024), ils peuvent malheureusement persister dans l'environnement pendant de nombreuses années : 20 ans pour un sac plastique, 450 ans pour une bouteille en plastique ou encore 600 ans pour les lignes de pêche (Kibria et al. 2023).

L'océan se trouvant en aval de presque tous les sites terrestres, il est le récepteur d'une immense partie des déchets plastiques générés sur terre. La contamination des océans par les débris marins est considérée comme l'une des menaces anthropiques les plus largement répandues et les plus durables (Barnes et al. 2009). Ces débris marins sont définis comme tout matériau solide rejeté, éliminé

ou abandonné dans l'environnement marin et côtier (Coe, Rogers 1997 ; Galgani et al. 2010). Cela comprend les objets fabriqués ou perdus par des personnes, ainsi que ceux délibérément jetés ou involontairement perdus dans le milieu marin, notamment les objets en plastique, bois, métal, verre, caoutchouc, tissu et papier (Galgani et al. 2010).

Plusieurs millions de tonnes de ces débris finissent chaque année dans les océans du monde. On estime d'ailleurs que le poids des déchets plastiques dans l'océan sera supérieur à celui des poissons d'ici 2050 (Rocha-Santos 2018). Le déversement de plastique dans les océans a un impact important sur la flore et la faune marine et affecte sévèrement l'écosystème et la biodiversité marine de diverses façons : suffocation, étranglement, ingestion, transport d'espèces invasives et de toxiques, entrave à la photosynthèse (WWF 2023). Une étude reprenant plus de 340 publications a mis en évidence qu'au moins 690 espèces marines différentes ont été touchées par les débris marins, dont 92 % sont du plastique (Gall, Thompson 2015).

Les tortues marines ne font pas exception et font d'ailleurs partie des espèces les plus touchées par la pollution plastique des océans. Très récemment, un groupe de chercheurs a fourni la première estimation d'un réservoir mondial de pollution plastique par les animaux marins. Pour cela, ils ont quantifié le poids de débris plastiques trouvés dans les études d'autopsie des tortues marines dans la littérature scientifique jusqu'au 1er janvier 2020. Ils estiment que les tortues vertes transportent entre 7,5 et 8,2 tonnes de plastique dans leur tractus gastro-intestinal (Zhu, Rochman, Mazloff 2024). A noter que d'autres études utilisant l'autopsie et s'intéressant aux localisations préférentielles du plastique dans le tractus digestif de tortues ont démontré que l'estomac était l'organe avec la masse moyenne (4,24 grammes) et la surface (146,74 cm²) la plus importante de plastique, tandis que le rectum avait le plus grand nombre d'obstructions (Colferai et al. 2017). Les tortues marines sont aussi fréquemment victimes d'étouffement par des sacs plastiques qu'elles confondent avec leurs proies, notamment avec les méduses (Mrosofsky, Ryan, James 2009; Schuyler et al. 2014).

Si le plastique que l'on voit est la forme de plastique la plus connue, le plastique que l'on ne voit pas semble tout aussi redoutable. En effet, après un certain temps, le plastique se fragmente en microplastiques et lorsque ceux-ci pénètrent dans l'organisme des espèces marines, ils peuvent nuire en accumulant des toxines et en provoquant des changements physiologiques (Bian 2024). La dichotomie entre microplastique et macroplastique se fait par comparaison de leur taille. Un macroplastique a une taille supérieure à 5mm et un microplastique a une taille inférieure à 5mm. (Zhu, Rochman, Mazloff 2024) Plus la particule est petite, plus la disponibilité pour les animaux à la base de la chaîne alimentaire est élevée. Les effets délétères potentiels de l'ingestion ont accru l'urgence d'évaluer l'impact des plastiques sur l'ensemble de la chaîne alimentaire marine et, en fin de compte, les conséquences pour les humains en tant que consommateurs finaux (Bergmann, Gutow, Klages 2015).

1.2.3.c Captures accidentelles

De toutes les menaces qui pèsent sur les populations de tortues marines, la capture accidentelle par les engins de pêche est considérée comme étant la plus sérieuse (Wallace et al. 2013). En effet, certaines tortues meurent par étranglement ou par noyade en restant coincées plusieurs heures dans un filet sans pouvoir remonter à la surface. De même, bien que certaines s'échappent ou soient relâchées indemnes ou avec de légères blessures (et donc que la mort de la tortue n'est pas observée au moment où elle est retrouvée par les pêcheurs), la mort peut survenir de manière différée. Cette inconnue rend l'estimation de la mortalité due aux captures accidentelles difficile à réaliser (Lewison et al. 2013). Néanmoins, on estimait en 2011, un minimum de 132 000 captures accidentelles par an, dont plus de 44 000 morts associées juste pour la région méditerranéenne (Casale, 2011).

Les captures accidentelles surviennent à la fois avec des bateaux de pêche de petite et grande échelle, et pour différents types d'engins de pêche dont des sennes, des chaluts (Lewison, Crowder, Shaver 2003), des filets maillants (Murray 2009), des filets de pêche (Gilman et al. 2010), des palangres (Kot, Boustany, Halpin 2010; Caracappa et al. 2018) (*Figure 6*).

Carte TECHNIQUES DE PÊCHE

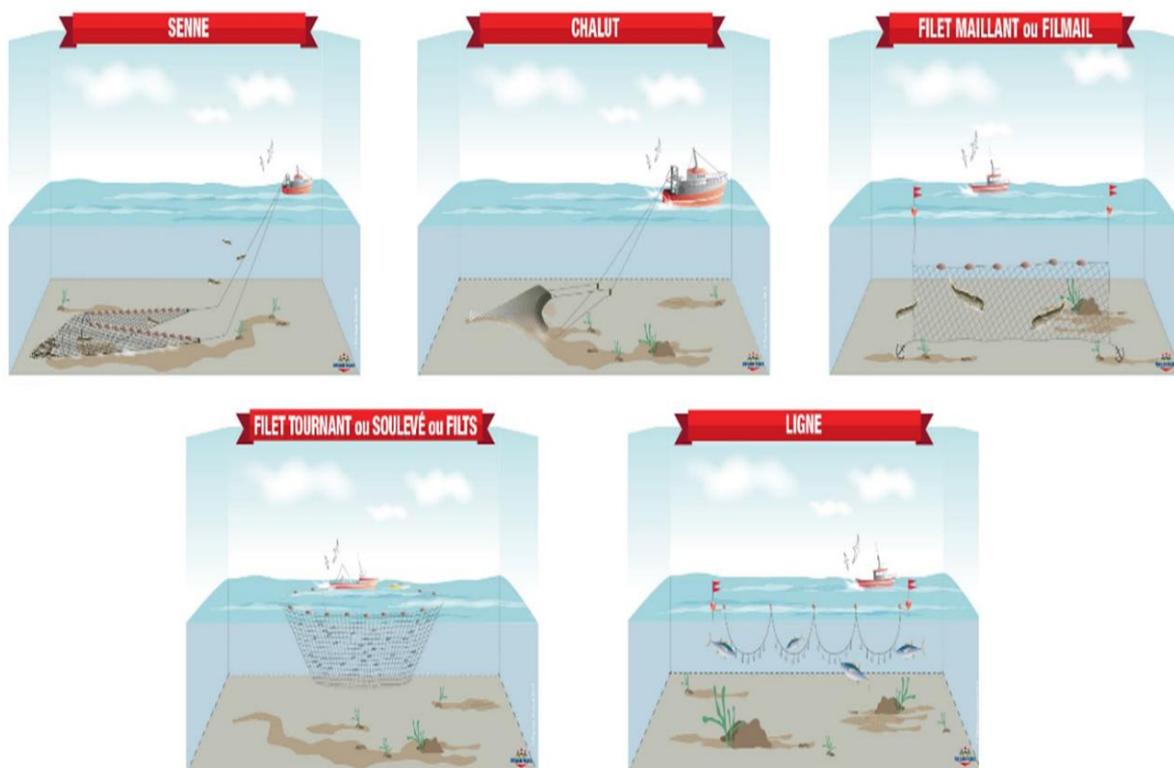


Figure 6 : Les techniques de pêche les plus souvent responsables de captures accidentelles de tortues marines. Modifié d'après www.pavillonfrance.fr

Les taux de capture sont très variables en fonction des régions et du type d'engin de pêche (Lewison et al. 2013). Une étude regroupant pas moins de 1 800 enregistrements provenant de plus de 230 sources de signalement de captures accidentelles de tortues marines à la palangre, au filet et au chalut dans le monde, entre 1990 et 2011, a montré que la mortalité est plus importante avec les deux derniers outils qu'avec le premier (Wallace et al. 2013). D'après cette même étude, les régions les plus touchées par ces captures sont l'est du Pacifique, le nord-ouest et le sud-ouest de l'Atlantique et la Méditerranée. Dans cette dernière région, en 2011, on estimait que la majorité des captures accidentelles était occasionnée par des pêcheries de petite échelle (Casale 2011).

1.2.3.d Altération et pression sur les sites de nutrition et de reproduction

Une des principales menaces anthropiques est la perturbation des comportements de recherche de nourriture et de reproduction (Ashford, Watling, Hart 2022).

Les principales zones d'alimentation des tortues marines sont les herbiers et les récifs coralliens. Ces deux sources d'alimentation sont, au même titre que les tortues marines, gravement menacées.

D'une part, les herbiers marins, véritables prairies aquatiques composées de plantes à fleurs et présentes dans les eaux peu profondes dans de nombreuses régions du globe, sont en déclin depuis les années 1930. Le recensement le plus récent estime que 7% de cet habitat marin clé disparaît chaque année dans le monde, ce qui équivaut à un terrain de football d'herbiers marins perdu toutes les trente minutes (Cullen-Unsworth et al. 2018). La diminution des herbiers est souvent liée au développement côtier, à la pollution des rivières et autres cours d'eau se déversant dans la mer et à la surpêche (Cullen-Unsworth et al. 2018) mais aussi au changement climatique et à la hausse des températures.

D'autre part, les récifs coralliens sont eux-aussi en déclin. Le rapport du Réseau mondial de surveillance continue des récifs coralliens (GCRMN) de 2020 montre qu'entre 2009 et 2018, une perte progressive d'environ 14 % des coraux dans les récifs coralliens du monde a été enregistrée. Au total, environ 11 700 kilomètres carrés de coraux durs ont été perdus, ce qui représente plus de la totalité des coraux vivant actuellement dans les récifs coralliens de l'Australie (Souter et al. 2021). Le développement côtier, la pollution, la surpêche et les pratiques de pêche destructrices sont également les principaux responsables de cette diminution (Hughes, Huang, Young 2013). Les activités de tourisme, comme celles proposant de nager avec les tortues ou autres mammifères marins, sont aussi responsables de dégradations des coraux.

Les zones de ponte des tortues marines sont principalement des plages. Une étude de 2016 visant à étudier le potentiel impact de l'Homme sur le succès de nidification de tortues vertes et de tortues caouannes sur une plage du Mexique a

montré que la pression anthropique avait lieu principalement lors de la sélection du site de nidification (14,19%), plutôt que lors de l'incubation (0,77%) ou de l'éclosion (4,7%) (Esperanza et al. 2017). Cette même étude a permis de mettre en évidence trois impacts particulièrement importants : la présence de mobilier de plage qui bloque le mouvement des nouveau-nés vers la mer ou des femelles vers les sites de ponte, la pression directe des touristes ou encore l'éclairage artificiel en bord de plage qui peut désorienter les nouveau-nés ou les femelles venues pondre (Esperanza et al. 2017; Truscott, Booth, Limpus 2017). A noter que d'autres pressions biotiques non-anthropiques ont aussi été relevées comme significatives, tel que la présence de prédateurs (Lavelle 2023), des évènements naturels défavorables comme les inondations, les cyclones, les tempêtes (Cassill, Watkins 2022) ou encore les marées (Carpio Camargo et al. 2020). Tous ces risques ont des conséquences néfastes pour les tortues : mortalité juvénile accrue, réduction du succès de reproduction et donc, à terme, perturbation de la dynamique de la population.

1.2.3.e Surexploitation et braconnage

Aux captures accidentelles évoquées précédemment s'ajoutent les captures intentionnelles pour le commerce et la consommation humaine depuis plusieurs siècles. Au XVII^{ème} siècle, le Père du Tertre (1667-1671) décrit l'arrivée des colons comme élément déclencheur de la surexploitation des tortues vertes dans les Antilles françaises : *« Comme la mer est extrêmement paisible dans les deux Cul-de-Sac, et que la mer n'y est pas profonde, on ne saurait croire combien de lamantins, de tortues et tous les autres poissons se plaisent autour des îlets. Il semble que la grande mer s'en épuise pour les remplir [les colons]; car je suis très certain que pendant les dix premières années que l'isle a été habitée, on a tiré chaque année plus de trois à quatre mille tortues, un très grand nombre de lamantins, et que l'on en tire encore tous les jours quantités, et il s'en tirera jusques à la fin du monde sans les épuiser »*. Plus récemment, Kermarrec (1976) témoignait que *« les chéloniens, ou tortues, subissent dans la zone Caraïbe et sous nos yeux un véritable génocide. (...) Le danger de voir disparaître ces animaux est réel et proche à moins que des mesures conservatrices soient prises d'urgence »*.

Les chercheurs estiment que plus d'un million de tortues marines auraient été tuées illégalement ou victimes de trafic entre 1990 et 2020 (Senko et al. 2022). Les tortues les plus exploitées sont la Tortue verte et la Tortue imbriquée (Senko et al. 2022). L'exploitation illégale de la faune sauvage pour l'alimentation, la médecine, la décoration, la confection d'objets spirituels ou aphrodisiaques est considérée comme l'un des marchés illicites les plus rentables au monde ; il est estimé à plus de vingt milliards de dollars par an (Challender, MacMillan 2014).

De nos jours, cette surexploitation, bien que faisant l'objet de mesures de contrôle, est toujours d'actualité dans certaines régions du globe. C'est le cas notamment en Afrique de l'Ouest où en juin 2021, les douaniers burkinabés ont saisi 555 tortues marines qui avaient été acheminées illégalement depuis Bamako au Mali, et depuis Lomé au Togo. De plus, on estime que la moitié des œufs de tortues marines au Togo sont écoulés de manière illicite par les pêcheurs locaux (Abderrahmane 2023). Également dans les Caraïbes ainsi qu'en Asie, les tortues sont exploitées pour leur viande, leur carapace ou leurs œufs, considérés comme une source de protéines à bas prix (Yifan 2018). La Chine est particulièrement au cœur du trafic asiatique de tortues marines et de leurs produits. On estime que le pays compte 98% des tortues déclarées commercialisées dans l'Asie de l'Est entre 2000 et 2008 (Yifan 2018). La demande de produits à base de tortues marines en Chine, combinée aux faibles revenus des pêcheurs près du Triangle de corail, fait de la contrebande de tortues marines une activité lucrative. A titre indicatif, le prix d'une Tortue imbriquée aux Philippines et au Vietnam peut-être aussi bas que 70 dollars américains, mais un produit fini de taxidermie peut se vendre à plus de 1000 dollars américains en Chine (Yifan 2018).

1.2.3.f Autres menaces et pistes de réflexion

Les tortues marines étant en danger d'extinction, l'identification des menaces qui pèsent sur elles est primordiale. Les principales menaces énoncées dans cette partie ont été identifiées et des moyens sont peu à peu recherchés et mis en place pour les contrer (Gilman et al. 2010; Chevallier et al. 2024).

Depuis quelques années, un dialogue rapproché entre experts du monde entier est en cours et des initiatives de type questionnaires sont réalisés. Notamment, une étude publiée récemment comprenant 47 questions demandait à 44 experts (chercheurs, vétérinaires, conservateurs, gestionnaires de programmes ou de centres de sauvetage de tortues, responsables de sensibilisation du grand public), répartis aux quatre coins du monde, leur perception des menaces subies par ces espèces et l'importance qu'ils donnent à chacune d'entre elle (Whilde et al. 2024). Les résultats de ce sondage sont présentés en *Figure 7*.

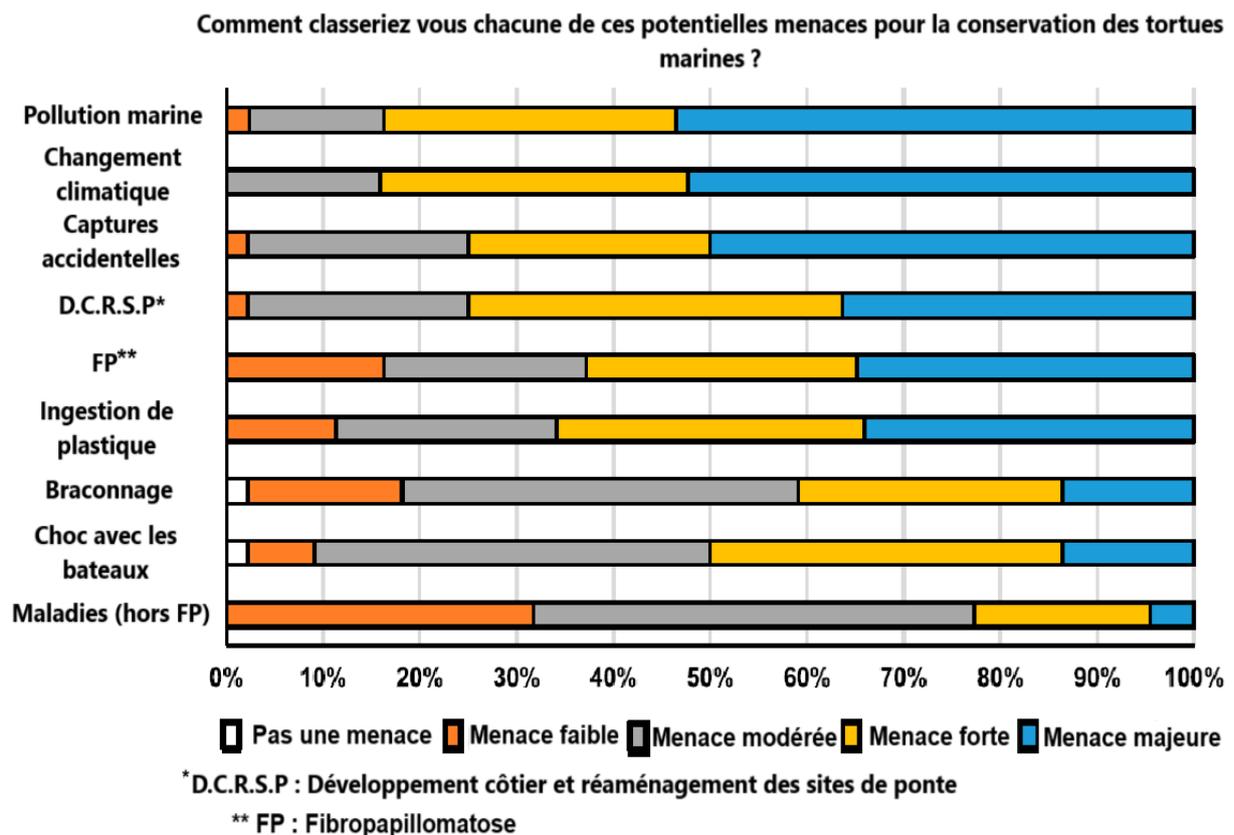


Figure 7 : Proportion d'experts interrogés considérant chacune des menaces potentielles pour la conservation des tortues marines comme une menace nulle, une menace faible, une menace modérée, une menace forte ou une menace majeure. Traduit d'après Whilde et al. 2024.

D'après les résultats de cette enquête, d'autres menaces, par exemple sanitaires, affectent parfois sévèrement les tortues marines. C'est le cas de la fibropapillomatose (voir la deuxième partie).

1.3 La Tortue verte : *Chelonia mydas*

1.3.1 Description morphologique

La Tortue verte est la plus connue et la plus emblématique des tortues marines. Elle est la seule représentante du genre *Chelonia* et la plus grande des tortues de la famille des Cheloniidés. Adulte, elle peut mesurer de 80 à 120 cm pour 130 à 300 kg. Elle possède une dossière colorée (vert, noir, gris, marron et jaune) et un plastron blanc jaunâtre (matières graisseuses de couleur verte, d'où le nom de l'espèce). Sa carapace est bombée avec généralement quatre paires de plaques latérales se superposant et cinq plaques vertébrales, tandis que son plastron est composé de quatre paires de plaques. Sa tête est petite, ronde et lisse avec deux écailles préfrontales et une grande écaille fronto-pariétale (*Figure 8*) (Office français de la biodiversité (OFB) 2020)

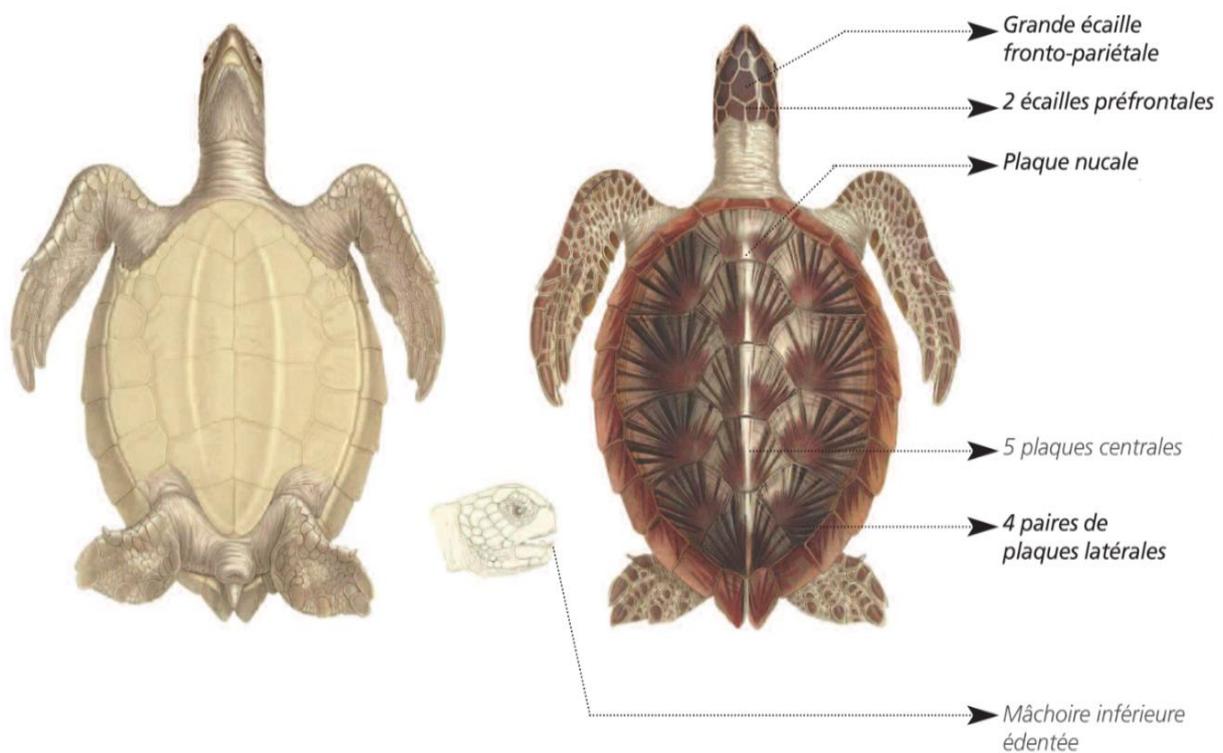


Figure 8 : Schéma descriptif de la morphologie de la Tortue verte. D'après Biodiversity Heritage Library

Facile à confondre avec la Tortue imbriquée, la Tortue verte est généralement plus grande et possède un bec arrondi, contrairement au bec pointu des tortues imbriquées.

1.3.2 Distribution géographique et habitats de la Tortue verte

La Tortue verte est présente dans l'ensemble des océans tropicaux et subtropicaux. En France, on peut la trouver dans tous les espaces maritimes de Métropole (principalement en Méditerranée) et d'Outre-mer, sauf dans les Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF) (Office Français de la Biodiversité, 2020).

Bien que désignée comme tortue marine, cette espèce occupe en réalité deux types d'habitats : d'une part le milieu marin, où les tortues passent la majeure partie de leur vie entre croissance, maturation sexuelle et accouplement ; d'autre part le milieu terrestre, à proximité du milieu marin, qui constitue leur habitat pendant la ponte et le développement embryonnaire.

Leur vie dans le milieu marin ne se résume pas à un lieu précis. Les tortues, au cours de leur vie, migrent fréquemment de leurs aires d'alimentation à des zones spécifiques d'accouplement et de nidification (Lohmann, Luschi, Hays 2008). Pour retrouver leur chemin, elles utilisent le champ magnétique terrestre comme source d'information de navigation. Les tortues vertes juvéniles apprennent la topographie magnétique de leurs aires d'alimentation et acquièrent une « carte magnétique » qui facilite leur navigation (Lohmann, Luschi, Hays 2008).

Les distances migratoires entre les zones d'alimentation et de reproduction peuvent atteindre plusieurs milliers de kilomètres (Hays et al. 2020). Une étude comparant les distances de migration moyennes des tortues marines et des oiseaux, poissons et mammifères a montré que les Cheloniidés adultes parcourent en moyenne entre 1050 et 2850 kilomètres entre leur site de reproduction et leur site d'alimentation, ce qui est comparable aux déplacements de mammifères et poissons de taille équivalente (Hays, Scott 2013).

1.3.3 Reproduction et cycle de vie

Lorsqu'elles atteignent leur maturité sexuelle (entre 18 et 30 ans), les femelles rejoignent leur zone de reproduction en moyenne tous les 2 à 4 ans. Là, elles s'accouplent avec plusieurs mâles, avant de monter quelques semaines plus tard sur une plage pour creuser un nid avec leurs nageoires postérieures et y déposer une centaine d'œufs entourés d'une membrane souple, de la taille d'une balle de golf. Si le nid n'est pas détruit, le développement des œufs va se poursuivre durant 60 jours environ (45 à 90 jours), avant l'éclosion (*Figure 9*).

Après l'incubation des œufs, les jeunes tortues percent la coquille avec leur diamant, une excroissance temporaire sur le bec. Elles émergent du nid ensemble, généralement de nuit, rejoignent instinctivement la mer et nagent frénétiquement vers le large en utilisant la direction de propagation des vagues comme repère d'orientation (Lohmann, Fittinghoff Lohmann 1992).

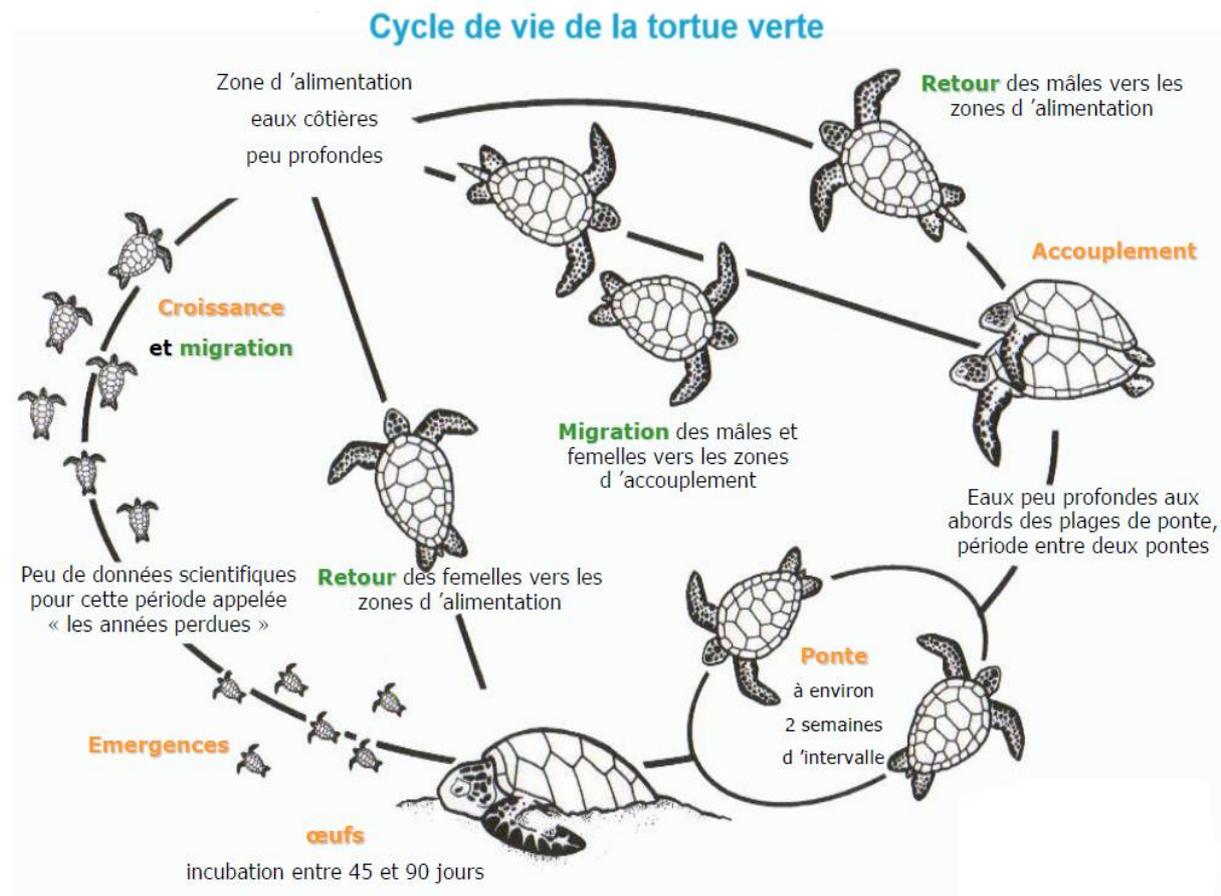


Figure 9 : Cycle de vie de la tortue verte. D'après Lutz et Musick 1997.

De tous les stades de vie des tortues vertes, les stades de post-éclosion et les premiers stades juvéniles sont les moins bien compris et sont même couramment appelés « années perdues » (Lutz, Musick, Wyneken 2002; Putman et al. 2019). Il semblerait que les nouveau-nés nagent vers le large pour intégrer les grands courants océaniques (Lutz, Musick, Wyneken 2002). Ils passent leurs premières années à dériver avec les courants parmi les radeaux de sargasses (de longues algues brunes flottantes couramment retrouvées libres à la surface de la mer) qui leur fournissent de la nourriture. Les juvéniles quittent ensuite cet habitat pélagique et se sédentarisent alors sur des zones benthiques, près des côtes, propices à leur développement (zones d'alimentation) et auxquelles elles resteront fidèles pendant plusieurs années (Lutz, Musick 1997).

1.3.4 Alimentation

Au cours de leur vie, les tortues vertes changent de régime alimentaire. Elles sont d'abord omnivores au stade juvénile avant d'être majoritairement herbivores à l'âge adulte (Wyneken, Lohmann, Musick 2013; Burgett 2018). La transition alimentaire a lieu durant la phase immature lorsqu'elles arrivent sur leur nouveau site d'alimentation. Les herbiers sont la source de nourriture principale des tortues vertes adultes dans la majorité des localisations mondiales (Esteban 2020). Ce sont des prairies sous-marines qui poussent dans la plupart des mers du globe, en environnement strictement salin. Ils sont composés de plantes à fleurs et non d'algues. Les tortues vertes sont très fidèles à leur site d'alimentation malgré les migrations successives. Des chercheurs ont notamment démontré que leur fidélité pouvait se perpétuer sur plusieurs dizaines d'années (Shimada et al. 2014).

Dans les lieux où les herbiers sont absents ou en faible quantité, les tortues complètent leur ration avec des macroalgues, notamment au Japon (Shimada et al. 2014) ou encore avec des plantes terrestres (Arthur et al. 2009). Bien que les tortues vertes adultes soient principalement herbivores, des études rapportent un régime alimentaire varié composé d'herbes marines, d'algues marines mais aussi d'invertébrés (Wyneken, Lohmann, Musick 2013), de méduses, d'éponges, de mollusques et de poissons (Burkholder et al. 2011; Piovano et al. 2020).

Une étude a permis de déterminer l'influence de la température de l'eau sur le régime alimentaire des tortues vertes. Les données ont montré que dans les lieux où la température était plus élevée ($>25^{\circ}\text{C}$ pendant au moins 6 mois), le régime des tortues était essentiellement herbivore. À l'inverse, dans les eaux plus froides ($<20^{\circ}\text{C}$ pendant au moins 6 mois), le régime prédominant contient de la matière animale. Un impact significatif de la température a été observé sur les herbiers et la nourriture animale, mais pas sur la consommation de plantes terrestres ou de macroalgues (Esteban 2020).

Deuxième partie - La Fibropapillomatose des tortues vertes : épidémiologie, caractéristiques cliniques et stratégies thérapeutiques

2.1 Généralités

2.1.1 Le concept One Health : une seule santé

2.1.1.a Définition du concept One Health

Si la conservation des tortues vertes est importante, ce n'est pas uniquement parce que ce sont des animaux emblématiques, mais aussi parce que leur santé, comme celle de tous les êtres vivants, est étroitement liée à la santé humaine et environnementale. Une prise de conscience collective de ces liens étroits et de la nécessité de décloisonner les approches sanitaires a permis la naissance du concept « *One Health* ».

Ce concept, né au début des années 2000, est une approche unifiée de la santé publique, animale et environnementale, aux échelles locales, nationales et planétaire. Il a notamment fait l'objet d'un accord tripartite signé en 2010 entre l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'Organisation Mondiale de la Santé Animale (OMSA) et l'Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation (FAO). La nécessité de ce concept fait suite à la recrudescence et à l'émergence de maladies infectieuses, en raison notamment de la mondialisation des échanges.

L'INRAE a illustré le concept de *One Health* ainsi que quelques chiffres clés dans un schéma présenté en Figure 11.

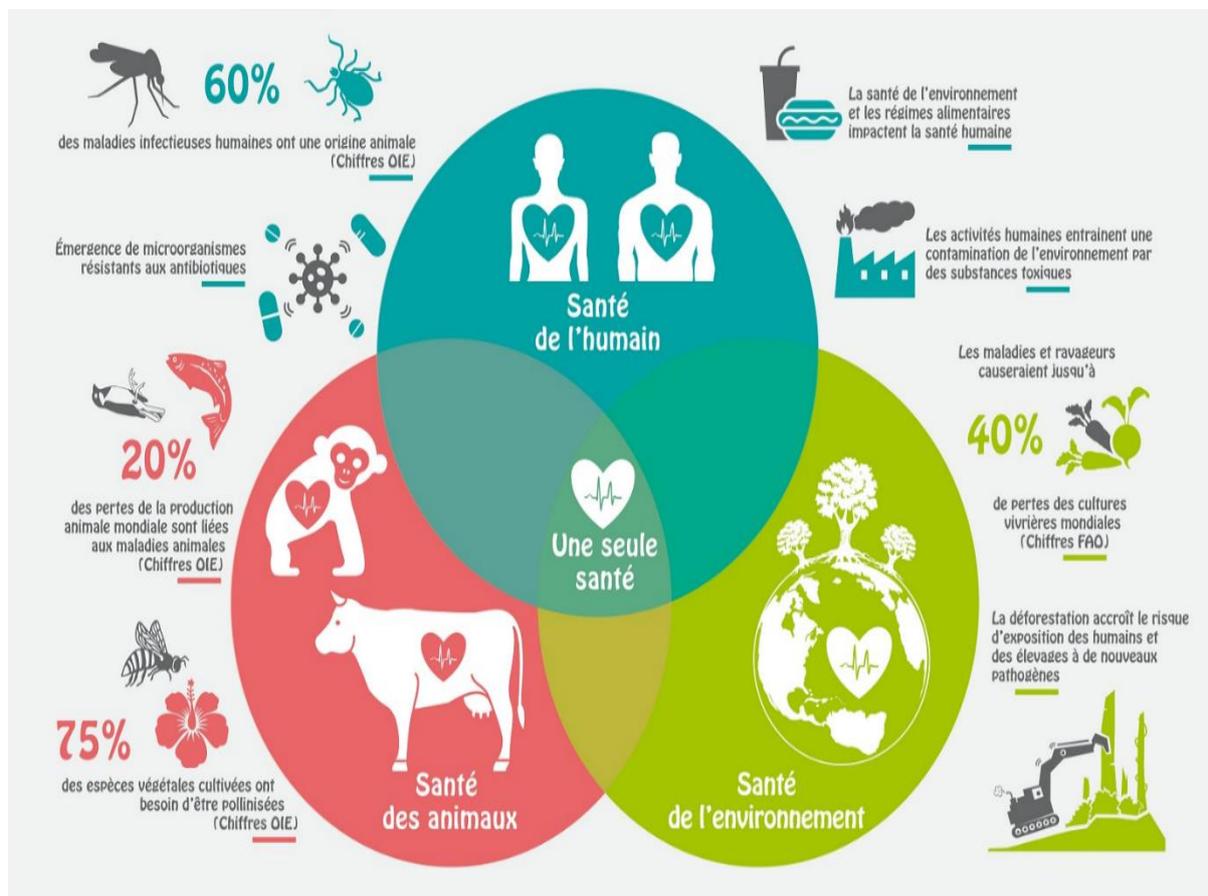


Figure 10 : Schéma descriptif du concept One Health. D'après INRAE, illustration de Michael Le Boulout 2020

2.1.1.b Liens entre la santé des tortues vertes, de l'environnement et des humains

Au-delà du symbole que les tortues marines représentent pour certaines populations (Patel, Kotera, Phillott 2022), elles sont également essentielles à l'équilibre de la biodiversité. Si les tortues luth et imbriquées régulent respectivement les populations de méduses et d'éponges, les tortues vertes, elles, jouent un rôle primordial dans l'entretien des herbiers (Patel, Kotera, Phillott 2022). Ces herbiers, sont un abri et une source de nourriture pour plusieurs milliers d'espèces dont des poissons, des mollusques et les tortues (United Nations Environment Programme 2020).

De plus, les herbiers améliorent la qualité de l'eau en filtrant et en stockant des nutriments et des polluants et en réduisant la prévalence de bactéries marines pathogènes. Bien qu'elles ne couvrent que 0,1% des fonds marins, les prairies sous-marines d'herbiers sont des puits de carbone incroyablement efficaces et stockent jusqu'à 18% du carbone océanique mondial (United Nations Environment Programme 2020). *In fine*, les herbiers protègent ainsi la santé humaine mais aussi celles des récifs coralliens.

En entretenant la variété des habitats au sein de l'herbier, les tortues favorisent la biodiversité générale de cet écosystème, empêchent la formation de sédiment anoxique et jouent un rôle primordial sur la bonne santé de cet herbier (Heithaus et al. 2014). Lorsque la population locale de tortues diminue, cela provoque un déséquilibre au sein de l'écosystème avec eutrophisation et croissance des algues, pouvant aller jusqu'à la disparition des herbiers. A l'inverse, dans certains lieux, l'accroissement des populations de tortues (notamment à cause de la surpêche de leurs principaux prédateurs : les grands requins) peut tout autant avoir un impact négatif sur les prairies d'herbiers, et conduire, dans des cas extrêmes de sur-bROUTAGE, à l'effondrement de l'écosystème (Heithaus et al. 2014).

Ces exemples montrent que chaque population dépend d'un écosystème, lui-même dépendant d'autres populations. Il est primordial de maintenir ce cercle vertueux indispensable à la bonne santé humaine, animale et environnementale.

La fibropapillomatose, en pouvant sévèrement affecter les fonctions vitales des tortues comme la vision ou la locomotion (et donc leur capacité à échapper aux prédateurs et aux bateaux), peut être un réel frein à leur reproduction, mais aussi à leur nutrition et donc à leur rôle de régulateur.

2.1.2 Définition de la fibropapillomatose

La fibropapillomatose est une maladie complexe, souvent débilissante voire mortelle, qui affecte les sept espèces de tortues marines, dans le monde entier. Elle se caractérise par l'apparition de tumeurs cutanées, appelées papillomes, sur différentes parties du corps des tortues, en particulier sur les yeux, le cou et les nageoires, mais qui peut également affecter les organes internes (Rossi et al. 2016; Roost et al. 2022; Garcês, Pires 2022) (*Figure 11*). Selon leur localisation et leur taille, elles peuvent entraîner des difficultés à nager, à se nourrir ou à voir.

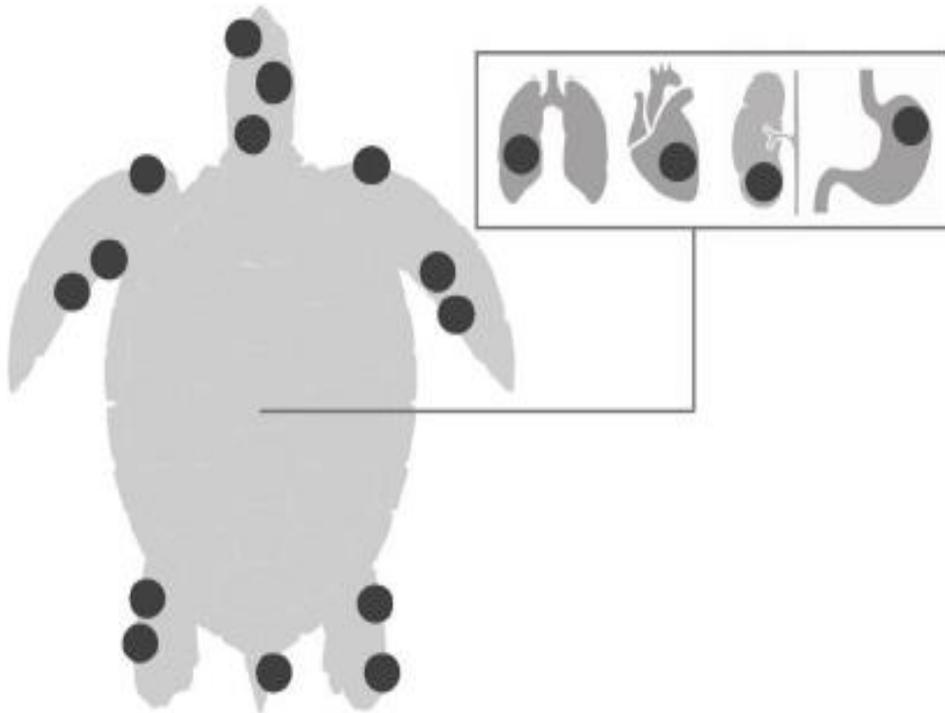


Figure 11 : Principales localisations des tumeurs de fibropapillomatose. D'après Garcês et Pires, 2022.

2.1.3 Spectre d'espèces

La fibropapillomatose a été décrite pour la première fois sur une tortue verte captive, en Floride, en 1938 (Smith, Coates 1938). Cette maladie a depuis été répertoriée chez toutes les espèces de tortues marines mais elle n'a atteint un statut panzootique que chez les tortues vertes (Jones et al. 2016 ; Roost et al. 2022). Parmi les sept espèces de tortues marines, les tortues vertes présentent la prévalence globale de fibropapillomatose la plus élevée, la couverture littéraire la plus importante sur ce sujet, et quelques études épidémiologiques s'étalant sur des décennies (Herbst 1994; Work et al. 2004; Aguirre, Lutz 2004; Foley et al. 2005; Chaloupka, Balazs, Work 2009).

2.2 Epidémiologie de la fibropapillomatose

2.2.1 Distribution géographique et prévalence de la maladie

La fibropapillomatose est présente dans le monde entier, mais elle est à ce jour principalement signalée dans les eaux chaudes des zones tropicales et subtropicales (Jones et al. 2016) (*Figure 12*). Les régions les plus affectées par la fibropapillomatose sont la Floride, les Caraïbes et Hawaï (Adnyana, Ladds, Blair 1997).



Figure 12 : Répartition globale des cas rapportés de fibropapillomatose dans le monde. Les cercles rouges représentent les zones où ont été répertoriés des cas de fibropapillomatose dans le monde et la zone grise est la zone de répartition globale des tortues marines. D'après Renvier, 2020.

Cette affection a été retrouvée avec une prévalence très variable, comprise entre 1% et 92% selon les régions du monde (Adnyana, Ladds, Blair 1997). La prévalence de la maladie connaît des variations importantes selon la localité et la temporalité.

Concernant la temporalité, on observe des variations annuelles de prévalence au sein d'une population donnée. Par exemple, dans la baie d'Akumal (Caraïbes mexicaines), la fibropapillomatose a été détectée pour la première fois en 2008 avec une prévalence de 1,6 %, et la prévalence annuelle a augmenté sensiblement de 17,9% en 2015 à 54% en 2018 (Muñoz Tenería et al. 2022). Une autre étude au Texas a montré que la maladie a été documentée chez moins de 4,0 % des tortues vertes examinées de 2010 à 2015, puis chez 21,6 % d'elles en 2016, 27,3 % en 2017 et 35,2 % en 2018 (Shaver, Walker, Backof 2019). Si la tendance est à l'augmentation de la prévalence au fil des années, dans certaines populations, une stabilisation voire une régression de la progression de la maladie ont été rapportées.

La prévalence peut aussi évoluer selon la spatialité. Chez la Tortue verte, la prévalence diffère d'une population à l'autre à travers le globe, avec des prévalences enregistrées de 1 à 90%. De grandes différences de prévalences sont rapportées entre des sites parfois très proches spatialement. C'est le cas de la Floride où la fibropapillomatose était plus répandue chez les tortues trouvées le long de la côte ouest (Golfe) de la Floride (51,9 %) que chez les tortues trouvées le long de la côte est (Atlantique) de la Floride (11,9 %) entre 1980 et 1998 (Foley et al. 2005). Dans ce même Etat, une prévalence d'environ 50 % a été observée chez des tortues vertes de la région d'Indian River bien que, à moins de 1 km de ce site, la fibropapillomatose n'a pas été observée du tout (Herbst 1994). Les mêmes observations ont été relevées en Martinique où la maladie a une prévalence et une évolution temporelle différente entre des sites très proches (Roost et al. 2022).

2.2.2 Agent étiologique

Si la fibropapillomatose a été décrite pour la première fois en 1938 (Smith, Coates 1938), l'identification de son agent causal n'en reste pas moins compliquée. De nombreux travaux ont été réalisés depuis la découverte de la maladie mais le mystère reste aujourd'hui incomplètement élucidé (Renvier 2020).

Parmi toutes les théories avancées concernant l'agent causal de la maladie, la principale concerne un virus appartenant à la famille des *Orthoherpesviridae*, à la sous-famille des *Alphaherpesvirinae* et au genre *Scutavirus* : le *Scutavirus chelonidalpha5* (ChHV5) (Herbst et al. 2004; Page-Karjian et al. 2015; Whitmore et al. 2021). Trois des quatre postulats de Koch (critères destinés à établir la relation de cause à effet liant un agent infectieux et une maladie) ont aujourd'hui été prouvés, mais cet alphaherpesvirus suspecté d'être responsable de la maladie n'a jamais pu être isolé par culture. Comme la plupart des herpèsvirus, le ChHV5 a la faculté de rentrer en latence après une première phase lytique (Farrell et al. 2021). La principale méthode de détection du virus est la réaction en chaîne par polymérase (PCR) (Page-Karjian 2019) mais la microscopie est aussi régulièrement utilisée. A ce jour, quatre variants du ChHV5, qui diffèrent plus par leur origine géographique que par leur spectre d'hôte, ont été identifiés : Pacifique Est, Atlantique Ouest/Est des Caraïbes, Midwest Pacifique et Atlantique (Patrício et al. 2012).

Le ChHV5 est fréquemment retrouvé dans les tissus atteints des tortues cliniquement malades (Ene et al. 2005; Work et al. 2009; Page-Karjian et al. 2015) mais a aussi été retrouvé chez des tortues sans tumeur (Page et al. 2012 ; Farrell et al. 2022). Le fait de retrouver le virus à la fois dans les tissus atteints et les tissus sains rend la conclusion quant à un possible lien de cause à effet difficile. La prévalence d'individus positifs au ChHV5 est donc généralement plus élevée que celle des individus présentant des lésions (Page-Karjian et al. 2015).

2.2.3 Facteurs de risques

D'après les différentes études, la maladie semble plus fréquemment observée chez les juvéniles après qu'ils aient migré vers une zone néritique (Ene et al. 2005; Shaver, Walker, Backof 2019), bien qu'elle ait été également retrouvée chez les sub-adultes, et chez quelques adultes (Patrício et al. 2012). Par ailleurs, une étude reposant sur plus de 3900 tortues vertes échouées à Hawaï pendant 28 ans suggère que la prévalence de la maladie évolue selon la taille (souvent liée à l'âge) des tortues vertes (Van Houtan, Hargrove, Balazs 2010). La taille est estimée dans cette étude via la Longueur Courbe de la Carapace (CCL), exprimée en centimètre. Cette évolution suit un schéma systématique avec une augmentation de la prévalence de la maladie qui suit l'augmentation de la taille jusqu'à un pic précédant une diminution de la prévalence à mesure que la taille de la tortue continue d'augmenter (Van Houtan, Hargrove, Balazs 2010). Si l'âge et la taille semblent être des facteurs de risque, aucune différence n'a en revanche été observée selon le sexe des tortues (Work et al. 2004).

En ce qui concerne les facteurs environnementaux, la présence de tortues atteintes de fibropapillomatose a été associée à des zones côtières où les eaux sont peu profondes, en particulier les habitats affectés par des activités anthropiques telles que le développement agricole, urbain et industriel (Van Houtan, Hargrove, Balazs 2010; Page-Karjian 2019). Dans une étude publiée en 2021 comparant une trentaine de publications pour déterminer les facteurs environnementaux de risques de développer la fibropapillomatose, Dujon et al. 2021 concluent que la prévalence de la maladie est la plus élevée dans les zones où les concentrations de nutriments facilitent l'émergence de proliférations toxiques de phytoplancton.

Certaines espèces comme les labres ou les sangsues ont été évoquées comme vecteurs mécaniques potentiels pouvant contribuer à la transmission du virus à l'échelle locale (Lu et al. 2000; Greenblatt et al. 2004; Rittenburg et al. 2021). Cependant, l'étude menée par Dujon et al. 2021 suggère qu'il n'existe aucune preuve, à l'échelle mondiale, que l'un ou l'autre de ces deux vecteurs soit associé à la prévalence de la fibropapillomatose.

Les lésions externes que présentent les tortues semblent se manifester à la suite de leur arrivée dans leur habitat néritique. Cela correspond également au moment où les tortues changent leur régime alimentaire, ce qui peut affaiblir temporairement leur système immunitaire et les rendre plus sensibles à la fibropapillomatose.

2.3 Aspect clinique et lésionnel de la maladie, perspectives d'évolutions et traitements envisageables

2.3.1 Manifestations cliniques de la maladie

2.3.1.a Lésions

Les lésions typiques de la fibropapillomatose sont histologiquement décrites comme des papillomes, des fibropapillomes et des myxofibromes (Work et al. 2004). Elles ont la plupart du temps une forme typique de « chou-fleur ». Ces masses sont de taille, de couleur (rose, blanc, noir) et de localisation variable (*Figure 13*). Elles peuvent mesurer entre 0,1 et 30 centimètres de diamètre (Herbst 1994).



Figure 13 : Tortue verte prise dans un filet de pêche et présentant des tumeurs de différente taille, couleur et localisation. Crédit photo : The Turtle Hospital (Floride), 2016, www.turtlehospital.org.

Les tumeurs oculaires font partie de celles ayant le plus mauvais pronostic. Une étude a estimé qu'une tortue présentant de telles lésions avait huit fois moins de chances de survivre qu'une tortue sans ces tumeurs oculaires (Page-Karjian et al. 2014) (Figure 14).



Figure 14 : Tortue verte atteinte d'imposantes tumeurs en région oculaire. Crédit photo : The Turtle Hospital (Floride), 2017, www.turtlehospital.org

Des atteintes internes ont aussi été décrites sur les viscères comme les poumons, le cœur, les intestins, l'œsophage, l'estomac, le foie, la rate, les reins ou encore les muscles squelettiques (Rossi et al. 2021) (Figure 15).



Figure 15 : Tumeurs viscérales retrouvées chez une tortue verte sur les poumons (A) et les reins (B). D'après Rossi et al. 2021.

On estime qu'entre 25 et 30% des tortues qui présentent des tumeurs externes présentent aussi des tumeurs internes (Aguirre, Lutz 2004). Toutefois, le diagnostic des lésions internes n'est pas systématique car il nécessite une autopsie ou du matériel vétérinaire de pointe (notamment d'imagerie comme un scanner) pas toujours disponible lors de la prise en charge de la tortue.

2.3.1.b Répercussions systémiques

Les tumeurs viscérales peuvent elles aussi provoquer des atteintes aux organes qu'elles envahissent, menant à des répercussions systémiques souvent visibles à travers des analyses sanguines. La fibropapillomatose peut être associée à des modifications des paramètres hématologiques, biochimiques, immunologiques et sérologiques des tortues atteintes. Plusieurs études ont permis de mettre en évidence certaines modifications régulièrement retrouvées (Aguirre et al. 1995; Adnyana, Ladds, Blair 1997; Work, Balazs 1999; Aguirre, Balazs 2000; Lutz, Cray, Sposato 2001; Work et al. 2001; Jones et al. 2016) :

- Une anémie arégénérative modérée (hématocrite (Ht), hémoglobine (Hb) et nombre de globules rouges inférieurs à ceux des tortues saines) ;
- Une immunosuppression liée à un stress chronique (hétérophilie, éosinopénie, lymphopénie) ;
- Une hypoprotéinémie (hypoalbuminémie et hypoglobulinémie associées) ;
- Une azotémie ;
- Une hypotriglycéridémie et une hypocholestérolémie ;
- Des désordres électrolytiques et notamment une hypocalcémie ainsi qu'une hyposidérémie.

Une étude a tenté de déterminer si la sévérité de la maladie (évaluée par un score tumoral prenant en compte conjointement la taille et le nombre des tumeurs) était corrélée aux valeurs biologiques obtenues. Les auteurs ont noté une augmentation progressive du nombre de monocytes et une diminution de tous les autres paramètres hématologiques, à l'exception des hétérophiles et du nombre total de globules blancs, à mesure que le score tumoral augmentait (Work, Balazs 1999).

Souvent, les tortues sévèrement atteintes présentent un certain nombre de comorbidités associées, notamment des co-infections bactériennes, fongiques et/ou parasitaires, un iléus, des problèmes de flottabilité ou des traumatismes dus à un choc avec un bateau (Page-Karjian et al. 2014). Toutes ces comorbidités rendent difficile la détermination de la cause de la mort.

2.3.2 Evolutions possibles : régression / stabilisation / aggravation

Si dans la majorité des cas la taille et le nombre des tumeurs augmentent d'année en année, ce n'est pas l'unique évolution possible de la maladie.

En effet, plusieurs cas de régression des tumeurs (diminution de taille voire disparition complète) ont été rapportés depuis plus d'une vingtaine d'années, dans plusieurs endroits du monde, notamment à Hawaï, au Brésil ou en Floride (Bennett, Keuper-Bennett, Balazs 1999 ; Machado Guimarães et al. 2013 ; Tagliolatto et al. 2016 ; Manes et al. 2023).

En 1990 déjà, une tortue verte du nom de Tutu présente une tumeur au niveau de l'œil. Lors d'une recapture en 1993, cette tumeur a quasiment disparue pour ensuite ne plus être visible à l'œil nu lors d'une nouvelle capture en 1997 (Bennett, Keuper-Bennett, George H Balazs 1999). Plus récemment, au Brésil, plusieurs tortues ont été capturées à plusieurs reprises entre 2008 et 2014 pour observer l'évolution de leurs tumeurs (Tagliolatto et al. 2016). La grande majorité d'entre elles ont présenté une aggravation de leurs lésions mais plus de 30% d'entre elles ont vu leurs tumeurs régresser au fil des années. Cette étude rapporte également pour la première fois plusieurs cas de progression et de régression sur une seule et même tortue au fil des années (*Figure 16*).

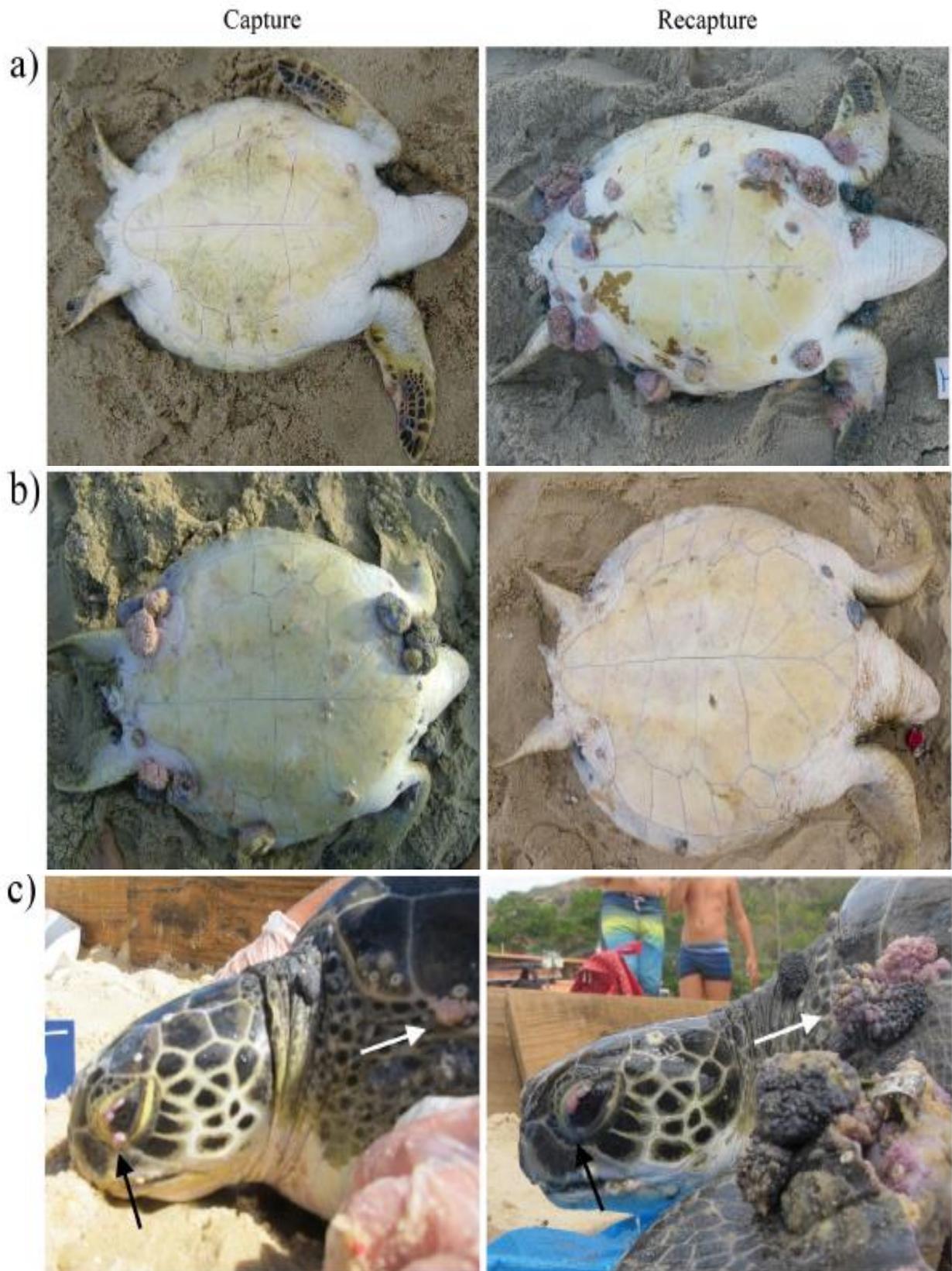


Figure 16 : Exemples de progression et de régression des fibropapillomes. (a) progression tumorale, (b) régression tumorale et (c) progression tumorale (flèches blanches) et régression tumorale (flèches noires) sur un même individu. D'après Tagliolatto et al, 2016.

Les mécanismes biologiques provoquant la progression ou la régression de la maladie sont toujours inconnus (Tagliolatto et al. 2016). Certaines études suggèrent que l'évolution positive ou négative des tumeurs pourrait être influencée par la morphologie des tumeurs, différenciant notamment le cas des tumeurs « rugueuses » et des tumeurs « lisses » (Manes et al. 2023). Les premières ont souvent une texture rugueuse, une morphologie polypoïde à papillomateuse et peuvent être pédiculées ou pas. Les secondes sont lisses, avec une texture superficielle semblable à celle de la peau et peu ou pas de structures papillomateuses (Manes et al. 2023). Les tumeurs rugueuses auraient un accroissement significativement plus rapide que les tumeurs lisses (*Figure 17*).

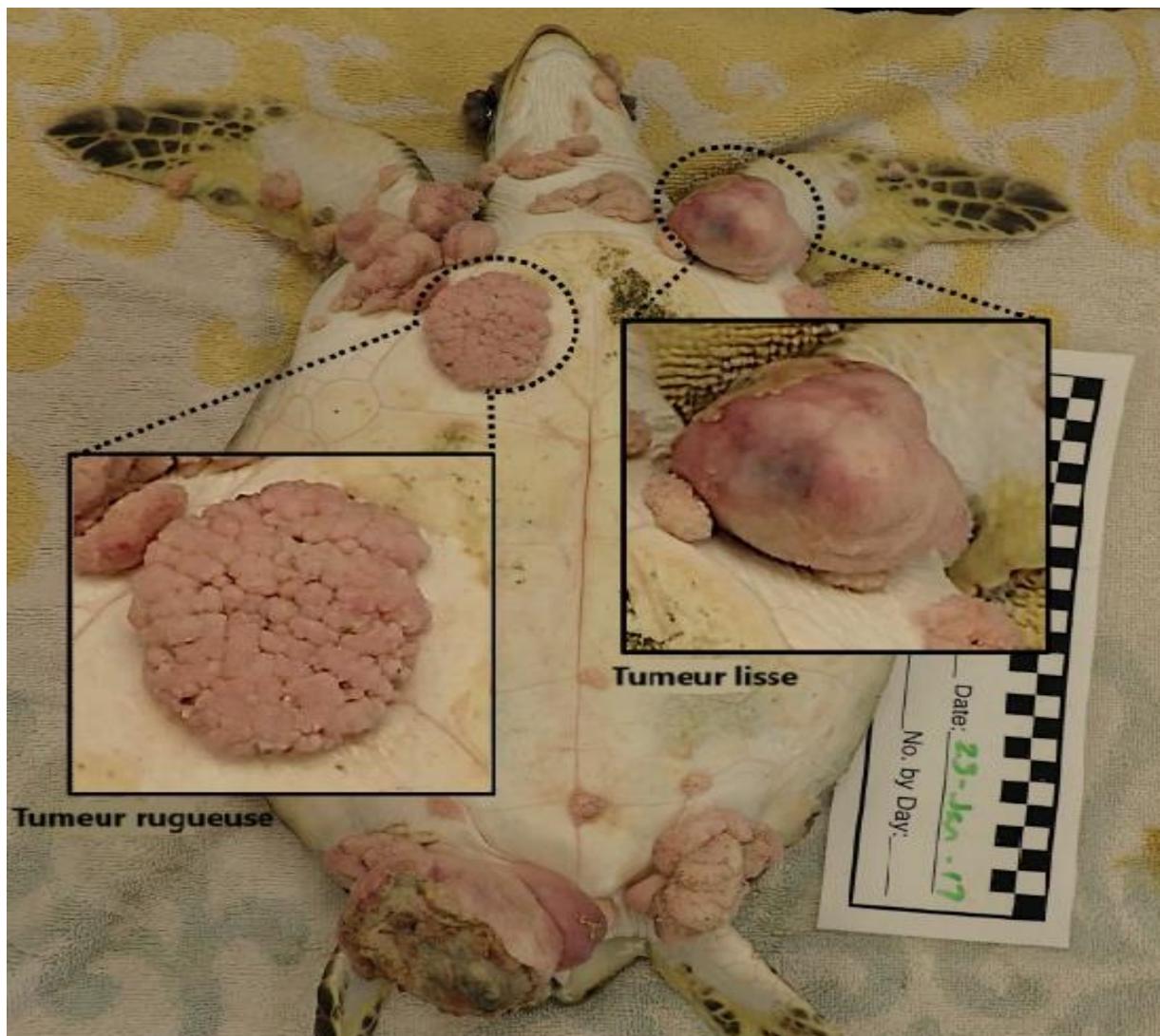


Figure 17 : Exemple de tumeur rugueuse et lisse sur une même tortue. D'après Manes et al, 2023.

Il existe actuellement un système de notation des tumeurs établi par Work et Balazs en 1999, basé à la fois sur le nombre et sur la taille des tumeurs (Work, Balazs 1999) (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Détermination du score tumoral. D'après Work et Balazs, 1999.

	Score tumoral			
	0	1	2	3
Taille des tumeurs				
A : < 1cm	0	1-5	>5	>5
B : 1-4cm	0	1-5	>5	>5
C : > 4-10cm	0	0	1-3	>4
D : > 10cm	0	0	0	>1

Cette méthode est aujourd'hui considérée comme un indicateur fiable de l'évolution de la maladie et peut être utile pour établir un pronostic. Bennett, comme plusieurs chercheurs après lui, s'est servi de ce score tumoral dans ses recherches. Il a notamment, lors d'une étude réalisée entre 1990 et 1997, remarqué que toutes les tumeurs ayant rétrogradé jusqu'à devenir invisibles à l'œil nu étaient initialement inférieures à 5 cm. Dans son étude, il remarque également que 72% des tortues présentant des lésions régressives étaient notées « 1 », 29% étaient notées « 2 ». Aucune tortue notée « 3 » n'a vu son état s'améliorer ou se stabiliser (Bennett, Keuper-Bennett, George H Balazs 1999).

2.3.3 Options thérapeutiques envisageables

Les tortues atteintes de fibropapillomatose ont souvent besoin de soins de soutien, y compris l'administration d'antibiotiques pour prévenir ou traiter les infections secondaires. Des soins intensifs, tels que l'alimentation assistée et l'hydratation, sont également courants dans les centres de réhabilitation (Page-Karjian et al. 2020). Le traitement de la maladie implique généralement l'association de ces traitements de soutien avec une ablation chirurgicale des tumeurs (Donnelly et al. 2019).

L'excision chirurgicale est actuellement le moyen le plus efficace de traiter les lésions cutanées, orales et oculaires de fibropapillomatose. Une anesthésie locale ou générale peut être utilisée, en fonction de la taille, du nombre et du degré d'invasion des tumeurs. Les excisions multiples de tumeurs nécessitent généralement une anesthésie générale (Page-Karjian 2019). L'ablation de la tumeur peut se faire par excision à la lame froide, laser au dioxyde de carbone, cryochirurgie ou encore par électrocautérisation (Page-Karjian 2019).

Cependant, aucune de ces méthodes n'est parfaite et elles comportent toutes des inconvénients. Par exemple, lors d'excision chirurgicale de grandes tumeurs, des difficultés sont fréquemment observées pour suturer chirurgicalement la plaie (Brunner et al. 2014). De plus, de telles chirurgies nécessitent souvent une anesthésie générale, ce qui ajoute un risque supplémentaire pour la récupération de l'animal. L'électrocautérisation et l'ablation au laser s'affranchissent de ce risque de ne pas pouvoir suturer car les plaies sont cautérisées et laissées comme telles pour une cicatrisation par seconde intention. Cela laisse en revanche une porte d'entrée pour les agents pathogènes, car le temps de cicatrisation des reptiles est très long. La cryochirurgie a aussi des limites car elle n'est pas efficace pour traiter les grosses tumeurs ou celles situées sur ou à proximité des yeux ou des organes génitaux (Brunner et al. 2014).

De plus, toutes ces méthodes ont un risque élevé de récurrence. Une étude a révélé que, sur 312 tortues ayant subi une ablation chirurgicale de tumeurs, 50 % des patients ont eu une repousse tumorale dans un délai moyen de 46 jours (Page-Karjian et al. 2019). Bien que les tumeurs ayant repoussé puissent être enlevées

chirurgicalement, il est préférable d'éviter des cycles répétés d'ablation et de repousse de tumeur.

Dans deux études différentes, l'électrochimiothérapie a été essayée comme moyen de traitement et a permis à chaque fois une régression des tumeurs sans récurrence à court terme (Brunner et al. 2014; Donnelly et al. 2019). Cette technique, déjà utilisée en médecine humaine et vétérinaire, est basée sur une combinaison entre la chimiothérapie, généralement avec de la bléomycine ou du cisplatine, et l'électroporation. Elle se compose d'une série de courtes impulsions électriques qui conduisent à une perméabilité accrue de la membrane et à un transport plus efficace des médicaments antinéoplasiques à travers la membrane cellulaire (Brunner et al. 2014). Cette procédure est cependant très douloureuse et nécessite, *a minima*, une bonne anesthésie locale. Certains chercheurs pensent que la médecine oncologique humaine pourrait être liée et utile à la médecine oncologique vétérinaire (Duffy, Martindale 2019). Des similitudes entre les cellules tumorales humaines et celles des tortues atteintes de fibropapillomatose ont d'ailleurs déjà été documentées et certains traitements ont porté leurs fruits (Duffy et al. 2018). Par exemple, le 5-Fluorouracile a déjà montré des résultats prometteurs avec une réduction significative de la repousse post-chirurgicale des tumeurs oculaires, de 67 % à 18 % (Duffy et al. 2018).

Très récemment une autre technique a été essayée avec succès. Une étude colombienne rapporte en effet le premier cas traité avec un autovaccin, administré à doses croissantes (Castro et al. 2024). La taille de la tumeur a diminué et elle a ensuite été retirée chirurgicalement. A la fin d'un suivi de six mois, aucune récurrence de la tumeur n'a été observée et la tortue était en état de santé optimale. Ce résultat, bien que limité et unique, suggère un possible traitement qui pourrait aider à contenir ce problème épizootique.

Toutes ces nouvelles avancées sont très prometteuses et feront sûrement l'objet de futures recherches. Cependant, le recul actuel n'est pas suffisant pour statuer sur le traitement idéal de cette affection. Les effets des agents de chimiothérapie ou des vaccins, ainsi que les taux de repousse des tumeurs à long terme sont encore méconnus pour cette espèce.

Troisième partie - Etude expérimentale : liens entre la fibropapillomatose et le profil hématologique des tortues vertes de Martinique

3.1 Objectif de l'étude

Dans un contexte global de danger d'extinction, les tortues vertes font partie des animaux dont la situation est préoccupante. L'émergence d'une nouvelle menace sanitaire particulièrement dangereuse pour cette espèce, la fibropapillomatose, est à prendre au sérieux.

A l'heure actuelle, les mécanismes de la maladie sont encore mal définis. De plus, aucun traitement curatif n'est actuellement efficace à cent pour cent pour soigner les tortues atteintes. Dans ce contexte, il semble que le meilleur moyen de protéger cette espèce contre cette menace soit d'en apprendre davantage sur cette maladie et ses conséquences sur l'organisme. C'est dans ce contexte d'amélioration des connaissances que s'inscrit l'étude menée ici.

Plus précisément, cette étude a pour but de déterminer les liens entre la fibropapillomatose et le profil hématologique et phénotypique des tortues vertes présentes sur les côtes de la Martinique. Ce travail est mené dans le cadre d'un projet plus global d'étude des populations de tortues vertes en Martinique, mené par le laboratoire BOREA MNHN CNRS, en collaboration avec l'UMR LIENS CNRS Université de La Rochelle, le laboratoire d'analyses vétérinaires LABO NAC & Co (Toulouse) et l'équipe VIRAL de l'UMR IHAP ENVT INRAE.

3.2 Matériels et méthodes

3.2.1 Découverte du territoire d'étude : la Martinique

3.2.1.a Particularités du territoire martiniquais

La Martinique, île des petites Antilles de l'Arc Antillais, est située entre La Dominique et Sainte Lucie. Elle est bordée à l'est par l'océan Atlantique et à l'ouest par la mer des Caraïbes. Le Nord de l'île est volcanique et humide tandis que le sud est moins accidenté et plus ensoleillé. Le climat est plutôt tropical humide et est divisé en deux saisons : la saison sèche de décembre à mai et la saison des pluies de juin à novembre (Sermage 2006).

La Martinique, considérée comme un *hotspot* de la biodiversité, est une région particulièrement attractive et sujette à un tourisme important. Cette activité touristique est majoritairement tournée vers la mer et les animaux marins avec, en tête, les cétacés et les tortues vertes. De plus en plus de prestations commerciales proposent l'observation de ces animaux sur leur site d'alimentation (*Turtle-watching*) (Safi et al. 2018). A cette pression anthropique s'ajoute une pollution importante à la fois agricole, industrielle et urbaine détériorant la qualité des eaux martiniquaises et consécutivement, la qualité de vie de la biodiversité environnante (Saffache, Moullet 2007).

C'est un territoire d'importance primordiale pour la Tortue verte car il constitue une aire d'alimentation et un lieu de croissance pour les tortues immatures. On y retrouve principalement des tortues juvéniles (d'environ 15 à 20 ans) nées sur plusieurs plages des Caraïbes et de l'Atlantique, majoritairement du Suriname, de la Guyane française et des plages du Sud du Brésil (Chambault et al. 2018). Ces jeunes tortues utilisent le territoire martiniquais comme aire d'alimentation transitoire, pendant sept à dix ans, le temps d'atteindre leur maturité sexuelle (Liebart 2019).

3.2.1.b Répartition géographique des tortues étudiées

Les tortues étudiées ont été capturées en février 2023 par l'équipe BOREA dans le cadre de leur projet de recherche sur la dynamique de population de l'espèce mené depuis plusieurs années. Elles ont été effectuées à sept endroits différents du littoral martiniquais. La face Caraïbienne de la Martinique a été privilégiée pour des raisons pratiques, les conditions météorologiques et les accès aux anses étant plus abordables sur la partie Ouest de l'île. Les tortues proviennent des anses suivantes, du Nord au Sud (*Figure 18*) : Le Prêcheur (LP), Anse Noire (AN), Anse Dufour (AD), Grande Anse (GA), Anse du Bourg d'Arlet / Anse Chaudière (ABAC), Petite Anse (PA), Le rocher du Diamant (LD) suivant la répartition représentée dans la *Figure 19*. Le site d'origine d'une des tortues n'est pas précisément défini (NS).

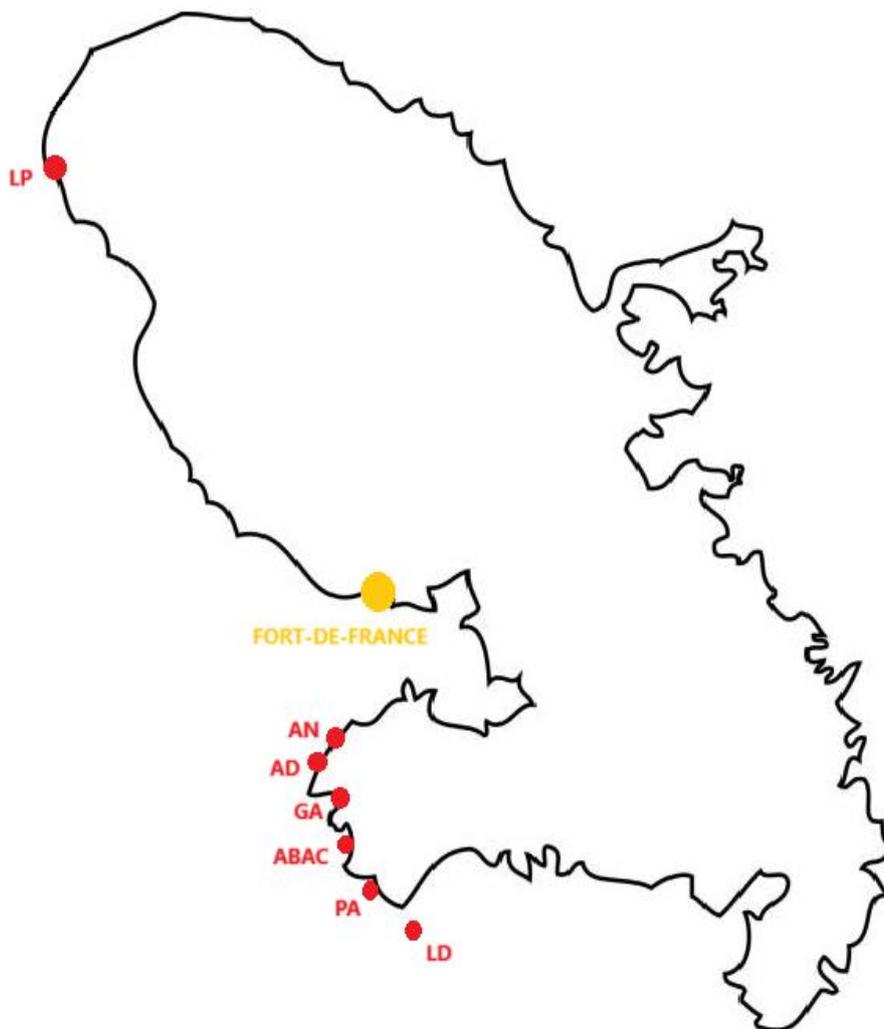


Figure 18 : Répartition géographique des différents sites de capture utilisés pour l'étude.

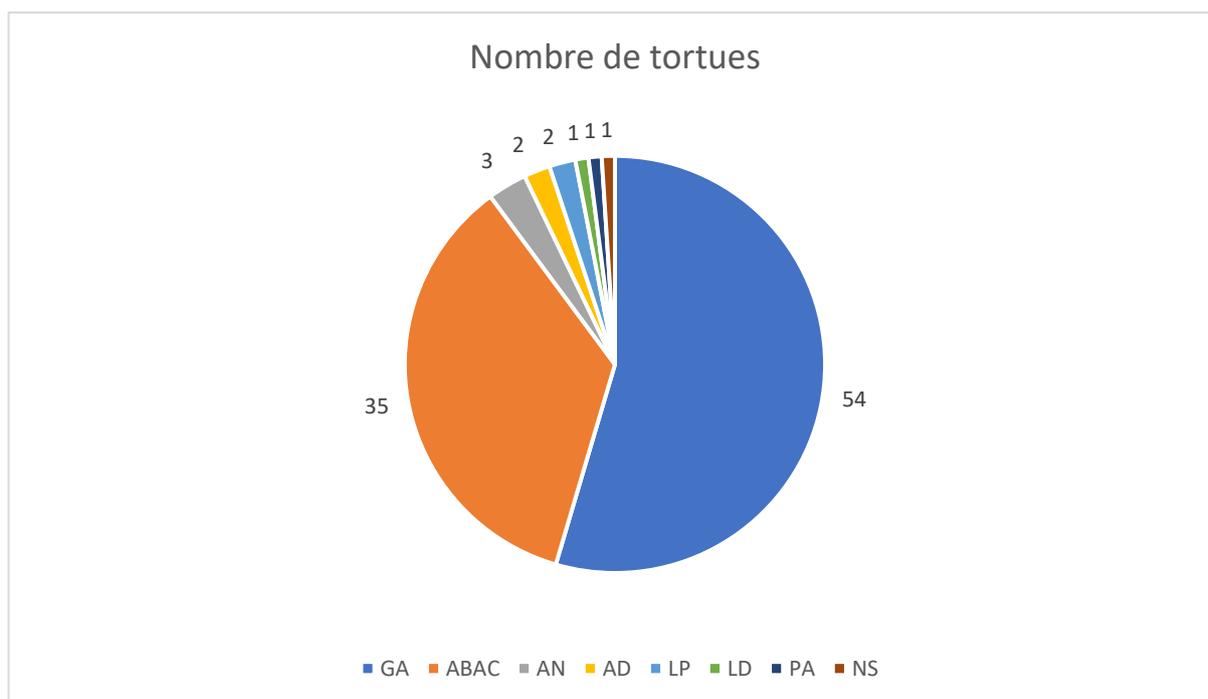


Figure 19 : Répartition des tortues parmi les anses étudiées.

L'Anse du Bourg d'Arlet et l'Anse Chaudière ont été considérées comme une seule entité nommée Anse du Bourg d'Arlet/Chaudière (ABAC), compte tenu de l'absence de barrières géographiques entre elles.

L'espacement géographique entre chacune des baies considérées pour l'étude est précisé dans le *tableau 2*.

Tableau 2 : Distance approximative à vol d'oiseau entre les différentes baies de l'étude (en km).

	A						
De	LD	PA	ABAC	GA	AD	AN	LP
LD	0	3,53	6,22	9,01	13,19	13,22	44,51
PA	3,53	0	2,87	4,56	6,99	7,11	40,78
ABAC	6,22	2,87	0	2,87	7,03	4,94	38,48
GA	9,01	4,56	2,87	0	2,67	2,91	35,78
AD	13,19	6,99	7,03	2,67	0	0,36	33,19
AN	13,22	7,11	4,94	2,91	0,36	0	33,04
LP	44,51	40,78	38,48	35,78	33,19	33,04	0

3.2.2 Description des animaux étudiés

Les données de 108 tortues vertes immatures ont été récoltées. Cependant, les informations nécessaires à l'étude (hématocrite, frottis sanguin, nombre et surface de tumeur) n'étaient complètes que pour 99 d'entre-elles. Les tortues pour lesquelles toutes les informations n'étaient pas réunies ont donc été écartées de l'étude. Ce manque d'information était dû à un mauvais acheminement (frottis non réceptionné ou cassé) ou une mauvaise qualité d'échantillon (lymphodilution) par exemple.

Par ailleurs, parmi ces 99 tortues, 60 sont estimées saines (les tortues sont estimées saines quand elles n'ont aucune tumeur externe visible) et 39 présentent au moins une tumeur et sont considérées atteintes de fibropapillomatose.

3.2.3 Capture des animaux

Une fois par an depuis 2013, dans le cadre d'un suivi de CMR (Capture-Marquage-Recapture), des plongeurs professionnels formés prospectent ces baies et capturent des tortues à la main lors de sessions de moins d'une semaine. Ces sessions permettent de suivre la dynamique des populations (notamment les paramètres démographiques) de tortues vertes (Lelong et al. 2024). Toutes les captures et les manipulations associées ont été approuvées dans le cadre de demandes d'autorisation de projet déposées et obtenues par le laboratoire BOREA.

Lorsqu'un plongeur repère une tortue en position quasi statique, ce qui est le cas lorsqu'elles s'alimentent ou se reposent, il l'attrape par le haut de sa carapace avant de la remonter vers le bateau, où il sera aidé des autres membres de l'équipage pour la hisser sur le pont. Après capture, les tortues doivent être sorties de l'eau par leur carapace et/ou avec un maintien ferme et sécurisé des régions axillaires. Les tortues ne doivent pas être soulevées par leurs seules nageoires car supporter tout le poids de leur corps sur ces zones peut entraîner des fractures osseuses des nageoires (Page-Karjian, Perrault 2021). Les tortues sont ensuite immobilisées par des opérateurs équipés de gants à usage unique. L'identification de chaque tortue est vérifiée grâce à la présence d'un transpondeur passif intégré (TPI, ©Trovan). Si aucun TPI n'est détecté, un TPI est injecté dans le triceps droit de l'animal.

Le temps de détention des tortues est limité pour minimiser autant que possible les manipulations et le stress. Les tortues sont ensuite relâchées, une fois les prélèvements et mesures effectués, à l'endroit où elles ont été attrapées. Plus de détails sur le protocole de capture et les mesures de la carapace sont fournis dans le manuscrit publié par Bonola et al. en 2019.

Cette étude concerne les tortues capturées sur la session 2023, réalisée du 20 au 25 février 2023.

3.2.4 Prélèvements sanguins

Une prise de sang n'est pas un acte anodin, surtout chez des espèces sauvages peu habituées aux manipulations de l'Homme, telle que la Tortue verte. Cet acte, comme tout acte réalisé chez ces espèces, doit être rapide, sécuritaire à la fois pour l'animal et pour le manipulateur et le moins invasif possible.

Le volume sanguin total des reptiles représente entre 5% et 8% de leur masse selon les espèces (CCAC guidelines: Reptiles 2022). Si, en règle générale, on estime que les reptiles peuvent tolérer jusqu'à 10% de perte de leur volume sanguin total ou 0,5% de leur poids (Redrobe, MacDonald 1999; Sykes, Klaphake 2015), ces chiffres doivent être revus à la baisse lorsque l'on prélève un animal malade ou stressé (Redrobe, MacDonald 1999).

Il est à noter que les prises de sang chez les reptiles s'accompagnent d'un risque de lymphodilution. En effet, les trajets des vaisseaux lymphatiques sont très proches des trajets veineux sanguins, rendant ainsi la contamination lymphatique lors de ponctions veineuses très fréquente (Vitt, Caldwell 2013). Cette contamination a des conséquences pour les analyses hématologiques, avec d'une part une sous-estimation de l'hématocrite, de la concentration en hémoglobine ainsi que du nombre d'érythrocytes et de leucocytes (Gottdenker, Jacobson 1995; López-Olvera et al. 2003) et d'autre part une lecture de frottis rendue difficile par une coloration bleutée (Nardini, Leopardi, Bielli 2013; Chitty, Raftery 2013). Plusieurs autres facteurs sont connus pour modifier les paramètres hématologiques des tortues marines : la localisation géographique, le sexe, le régime alimentaire, la captivité, la saison ou encore la façon de prélever et d'analyser (Drake et al. 2017 ; Harden et al. 2018 ; Sacchi et al. 2020).

Il existe de nombreux sites de prélèvement sanguin chez la tortue : le sinus sous-carapacial, le sinus veineux occipital, la veine jugulaire, la veine caudale, la veine brachiale et la veine fémorale.

Les veines jugulaires externes gauche et droite sont couramment utilisées pour les prélèvements sanguins car il y a moins de risques de contamination par le liquide lymphatique ou céphalo-rachidien que lors d'utilisation d'autres sites (CCAC guidelines: Reptiles 2022).

Pour cette étude, les échantillons de sang ont été prélevés sans anesthésie, dans le sinus veineux sous-carapacial à l'aide d'aiguilles stériles de calibre 21 à 23 Gauge et de seringues (de 2 à 5 ml). Le sang a ensuite été transféré dans un vacutainer hépariné puis stocké à +4°C avant traitement en laboratoire. Les échantillons sanguins ne peuvent pas être conservés dans des tubes EDTA (acide éthylènediaminetétraacétique) car cet anticoagulant lyse les érythrocytes chez les tortues.

3.2.5 Mesures phénotypiques

En plus de ces prélèvements sanguins, des mesures phénotypiques individuelles ont été effectuées. La morphométrie de la carapace, y compris la Longueur Courbe de la Carapace (CCL), a été évaluée à l'aide d'un ruban en fibre de verre de précision de 0,1 cm.

De plus, afin d'évaluer la gravité de la FP, chaque tumeur ou groupe de tumeurs des tortues vertes atteintes a été photographié à côté d'une règle métallique. La surface et le diamètre des tumeurs ont ensuite été mesurés à l'aide de Photoshop ©2020, et la couleur, la forme, la texture, l'emplacement sur le corps et la présence de parasites ont été notés. La surface totale des tumeurs (TTA) de chaque tortue a ensuite été calculée (en cm²) en additionnant la superficie de toutes les tumeurs signalées sur le corps de l'animal (*Figure 20*). Entre les captures, les opérateurs changent leurs gants à usage unique et désinfectaient le plancher du bateau et les outils de mesure pour éviter la propagation de la maladie aux individus non atteints. Ces captures ont aussi permis de réaliser plusieurs biopsies (tissu sain et atteint).



Figure 20 : Exemple de détermination du TTA sur une tortue verte atteinte. Photographie personnelle.

3.2.6 Premières analyses effectuées sur place

Les échantillons de sang récupérés sur place ont fait l'objet de premières analyses avant d'être acheminés en métropole.

Dans un premier temps, l'hématocrite de chaque tortue a été estimé le soir même de chaque prélèvement. L'hématocrite (Ht), ou *Packed Cell Volume* (PCV), correspond au volume occupé par les érythrocytes sur le volume sanguin total. Il peut être déterminé à l'aide d'un analyseur, sur sang total, ou grâce à une lecture manuelle après centrifugation pendant 5 minutes à 4000 tours par minute d'un capillaire de 10 μL pour séparer les érythrocytes des autres cellules sanguines et du plasma, comme décrit par la *Figure 21*.

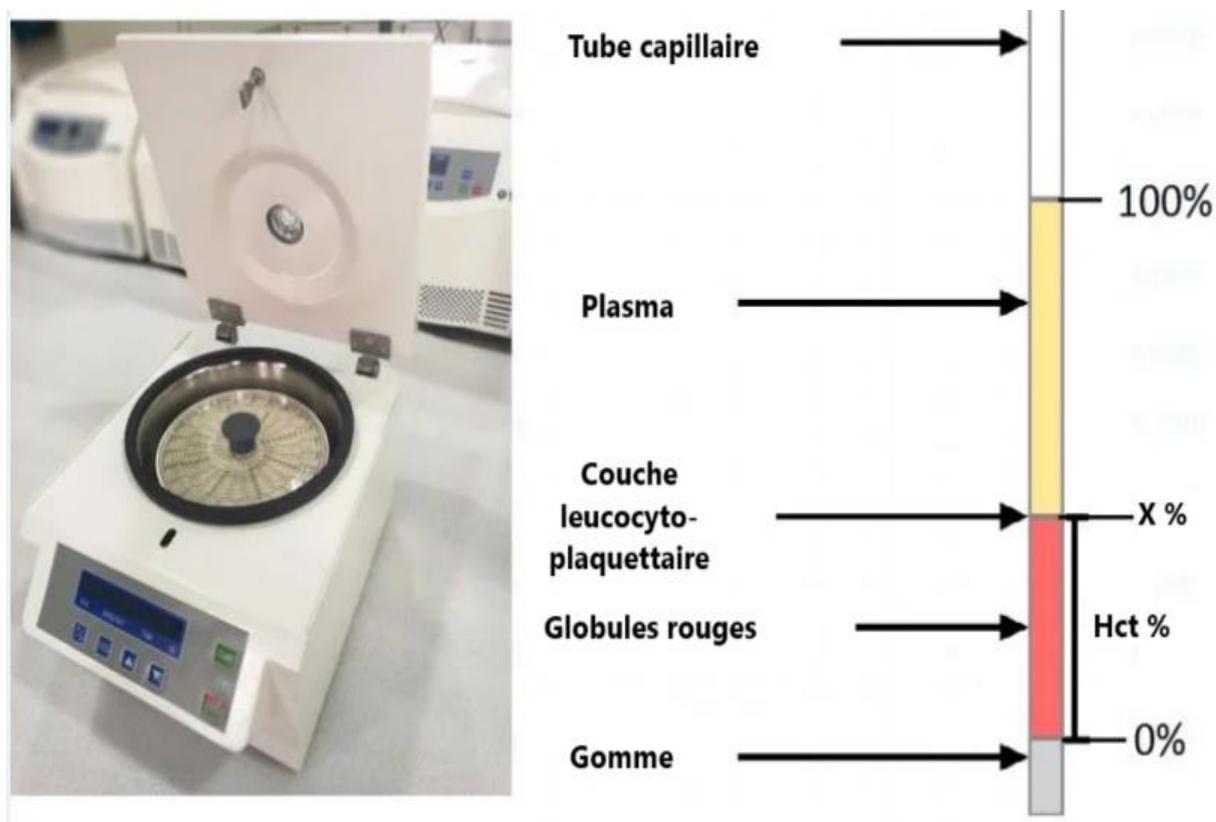


Figure 21 : Centrifugeuse dédiée aux tubes capillaires (à gauche) et constitution du tube capillaire après centrifugation. Traduit d'après LabTestsGuide, 2019.

Une étude récente de Kophamel et al. (2022) a déterminé des intervalles de référence hématologiques et biochimiques pour les tortues vertes sauvages. Leur étude, sur 24 tortues, a permis de définir l'intervalle suivant pour l'hématocrite : 25,1% [21,2 - 29] avec la technique présentée ci-dessus.

Dans un second temps, toujours en Martinique, à la suite de la session annuelle de CMR, les hétérophiles (H) et les éosinophiles (Eo) ont été comptés sans discernement à l'aide d'une cellule de Malassez au microscope, à un grossissement x400, après coloration avec une solution (LMR5004 ®) (Figure 22). C'est une méthode dite de comptage indirect. Elle consiste à compter les éosinophiles et les hétérophiles (seuls granulocytes mis en valeur par cette coloration) sur 100 carrés (1 µL). Le nombre obtenu correspond à H + Eo. Après multiplication par 200 (ce qui correspond à la dilution réalisée entre le sang et le colorant), on obtient la valeur absolue de cellules/µl. Ce total sera ensuite à confronter à la formule sanguine pour estimer le nombre total de leucocytes.

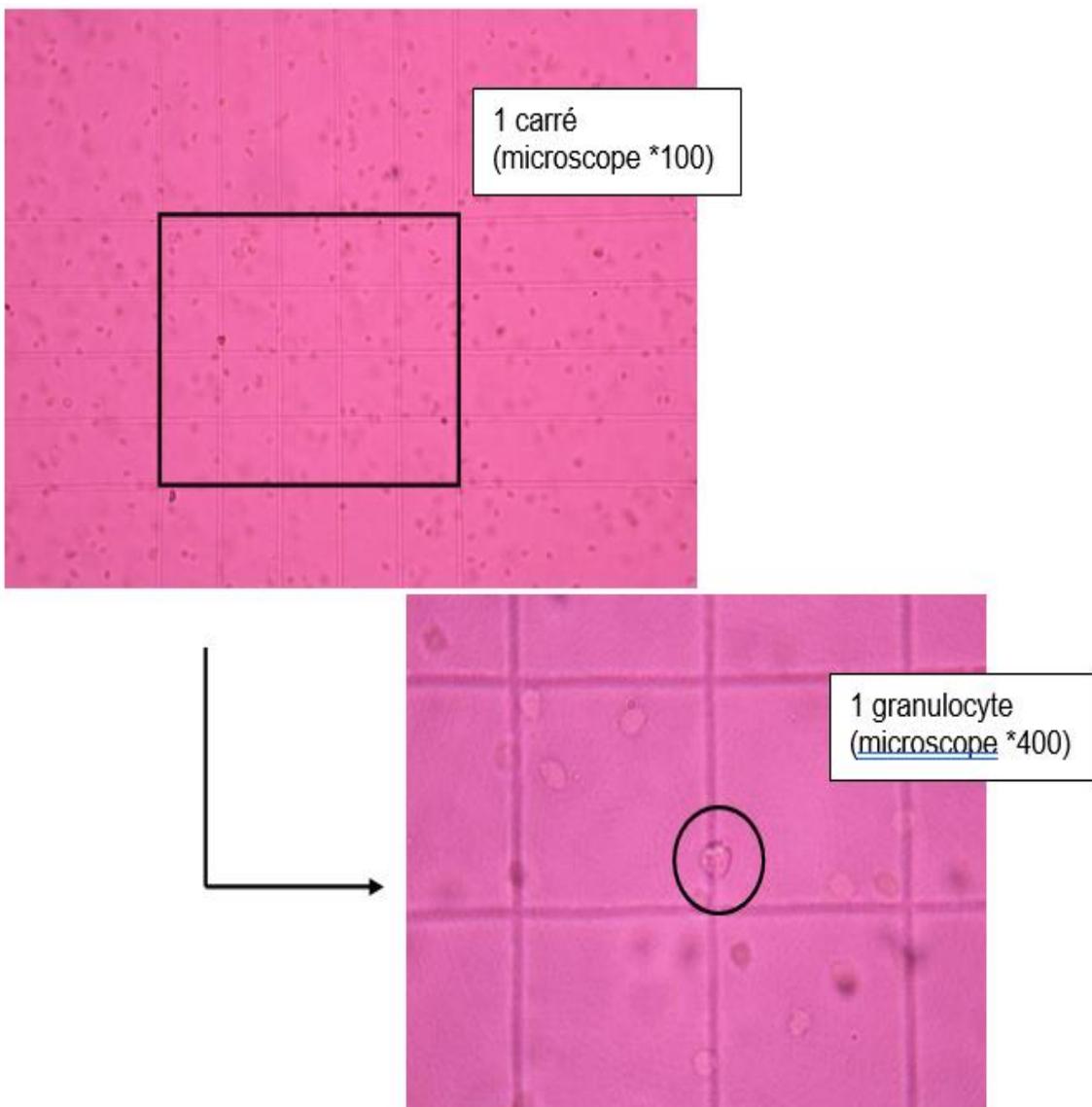


Figure 22 : Aspect microscopique des granulocytes mis en évidence par la coloration LMR5004 sur cellule de Malassez. Le Loc'h et Zoller, AFVAC 2019.

3.2.7 Réalisation et lecture des frottis sanguins

Des frottis sanguins ont été réalisés sur des lames de microscope directement après le prélèvement de sang sur le terrain lorsque cela était possible, ou au moins en laboratoire en parallèle de la mesure des hématocrites. Dans la mesure du possible, en fonction du sang disponible, chaque animal a bénéficié d'un frottis réalisé à partir de sang frais et d'un frottis à partir de sang hépariné.

Les frottis réalisés ont ensuite été envoyés vers la métropole par Damien Chevallier, biologiste marin, chercheur pilotant l'étude des tortues vertes au laboratoire BOREA.

A leur réception, les frottis sanguins ont été colorés, puis lus au laboratoire d'analyses vétérinaires LABO NAC & CO, à Toulouse. Leur coloration a été réalisée en utilisant la coloration de Wright-Giesma, dont le protocole est décrit en *Annexe 1*. Les lectures ont eu lieu entre le 29 août et le 30 septembre 2023. Chaque lame a été observée d'abord à faible grossissement pour en apprécier l'aspect et l'uniformité et trouver la zone idoine de lecture. Cette dernière a été effectuée à fort grossissement (x1000), à l'aide d'huile à immersion. Cent cellules ont été comptées, parmi lesquelles étaient répartis les **granulocytes hétérophiles (H)**, les **granulocytes éosinophiles (Eo)**, les **granulocytes basophiles (B)**, les **lymphocytes (L)** et enfin les **monocytes (M)**. La répartition, en pourcentage, de ces cellules correspond à la formule sanguine.

A l'aide du taux de lymphocytes et d'hétérophiles, le rapport H/L a également été calculé et a été intégré dans les paramètres hématologiques. Le rapport H/L est un indicateur hématologique couramment utilisé chez les reptiles, dont les tortues vertes, pour évaluer leur état de stress. Un rapport H/L augmente généralement en réponse à des situations de stress aigu comme les manipulations, les changements de température ou les infections (Campbell 2006). C'est également un marqueur de stress chronique, qui peut s'élever en cas de stress prolongé, de dysfonctionnement immunitaire ou de maladie chronique telle que la fibropapillomatose (Work et al. 2001).

Dans un deuxième temps, un comptage de tous les **leucocytes** confondus a été effectué sur vingt champs de lecture. A l'aide de la formule suivante (*Figure 23*), cette valeur de comptage obtenue sur 20 champs a permis d'obtenir le nombre de leucocytes total, en prenant en compte l'hématocrite de l'individu et l'hématocrite moyenne de l'espèce (25% pour la Tortue verte). C'est la méthode du comptage estimé.

$$\text{Nb de GB corrigé} = \text{Nb de GB comptés} \times \frac{\text{Hématocrite mesurée}}{\text{Hématocrite moyen de l'espèce}}$$

Figure 23 : Formule du comptage estimé des globules blancs (GB). D'après Campbell, 2015.

Cette méthode est une alternative au comptage indirect présenté précédemment et qui s'affranchit du besoin de faire un comptage sur cellule de Malassez, mais qui ne permet qu'une estimation.

3.2.8 Analyses statistiques

L'étude expérimentale a été séparée en deux parties, réalisées par deux équipes distinctes : d'un côté la récolte des échantillons sanguins, les premières analyses (hématocrite et comptage indirect), la récolte des données phénotypiques et le comptage des tumeurs, en Martinique par l'équipe du laboratoire BOREA ; de l'autre la lecture des frottis et la récolte des données hématologiques (comptage estimé et formules sanguines), en métropole par mes soins, avec l'aide du Docteur Le Loc'h Aurélie, directrice du laboratoire d'analyses vétérinaires LABO NAC & Co. Les résultats de chaque temps d'étude n'ont été mis en commun qu'à la fin de toutes les manipulations afin que l'étude soit réalisée à l'aveugle vis-à-vis du statut sanitaire des tortues quant à la fibropapillomatose.

Le but principal de cette étude est d'évaluer l'effet du statut sanitaire à partir des paramètres hématologiques. La réponse à cette question passe par une comparaison des deux populations (saines et atteintes) pour chaque paramètre hématologique étudié.

Par ailleurs, une comparaison a été effectuée entre les deux principaux sites de capture (GA et ABAC) en choisissant volontairement d'écarter les dix tortues des autres sites par manque de puissance statistique. Cette comparaison inter-sites correspond à une sous-question de la question principale, ayant pour but de voir si deux environnements géographiquement proches mais possédant des caractéristiques distinctes peuvent impacter les paramètres hématologiques.

Un test paramétrique de Z a été privilégié pour les comparaisons de moyennes. En effet, ce test ne nécessite pas que les valeurs suivent une loi Normale, ce qui est le cas pour nos données, malgré l'application de correction de type exponentielle ou logarithme. La seule condition à respecter pour utiliser ce test est que la taille des échantillons soit supérieure à 30, ce qui était le cas pour chaque groupe de tortues.

Enfin, au sein même des tortues atteintes, un impact de la sévérité de la maladie sur les paramètres hématologiques a aussi été évalué à l'aide du TTA. Des régressions linéaires ont été effectuées pour voir l'évolution de chaque population de leucocytes, ainsi que l'évolution de l'hématocrite, en fonction de l'évolution du TTA. La taille des tortues (CCL) est également comparée à l'évolution du TTA pour évaluer si ce dernier est plus élevé chez les tortues plus grandes, ayant donc plus de surface à coloniser pour les tumeurs.

3.3 L'hématologie de la Tortue verte

3.3.1 La lignée érythrocytaire

Les érythrocytes de la Tortue verte sont de forme elliptique et contiennent un noyau central, contrairement aux mammifères pour lesquels les globules rouges sont anucléés (Stacy, Alleman, Saylor 2011). Ces cellules sont responsables du transport de l'oxygène dans le sang via l'hémoglobine.

Taille : Les érythrocytes des tortues vertes sont généralement plus grands que ceux des mammifères, mesurant entre 15 et 20 μm de longueur.

Noyau : Le noyau est central et rond, et reste présent durant toute la vie de l'érythrocyte. Il participe au métabolisme cellulaire. A la coloration de Wright-Giemsa, il apparaît basophile avec de la chromatine très condensée.

Cytoplasme : Chez les tortues de mer, il peut présenter des inclusions basophiles. Ces inclusions ont été documentées chez d'autres espèces de chéloniens et de reptiles et ont été identifiées comme des organites dégénérées (Stacy, Boylan 2014).

Les derniers précurseurs avant l'obtention d'érythrocytes matures sont les réticulocytes. Ces cellules sont plus rondes que les érythrocytes, leur cytoplasme est plus basophile et elles possèdent un noyau plus grand contenant une chromatine moins dense (Nardini, Leopardi, Bielli 2013) (*Figure 24*).

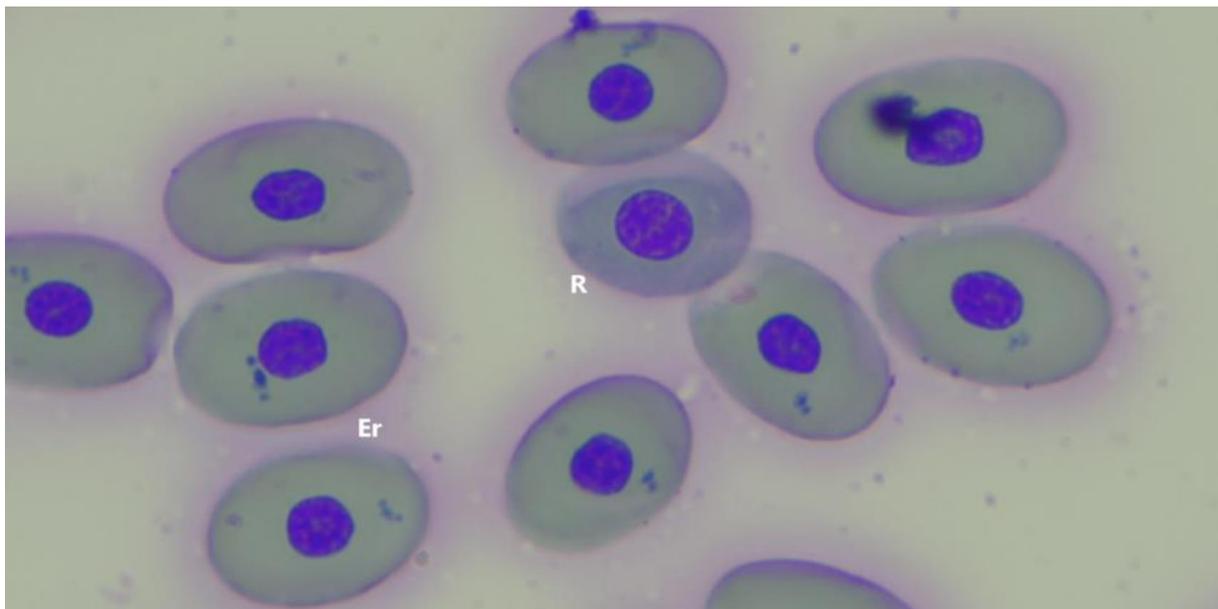


Figure 24 : Réticulocyte (R) entouré de nombreux érythrocytes (Er), chez une tortue verte (*Chelonia mydas*). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographie personnelle.

3.3.2 La lignée thrombocytaire

Les thrombocytes des tortues vertes sont des cellules de forme généralement ovale ou fusiforme, avec un noyau central proéminent (*Figure 25*). Ils jouent un rôle dans la coagulation sanguine (Campbell 2015).

Taille : Ils sont de taille modérée par rapport aux autres cellules sanguines, souvent légèrement plus petits que les érythrocytes. La taille moyenne des thrombocytes varie entre 10 et 15 μm de longueur.

Noyau : Le noyau est dense et occupe une grande partie de la cellule, souvent de forme ovale. Il est généralement plus compact que celui des érythrocytes.

Cytoplasme : Le cytoplasme des thrombocytes est clair ou légèrement granuleux, parfois avec de petites vacuoles visibles au microscope.

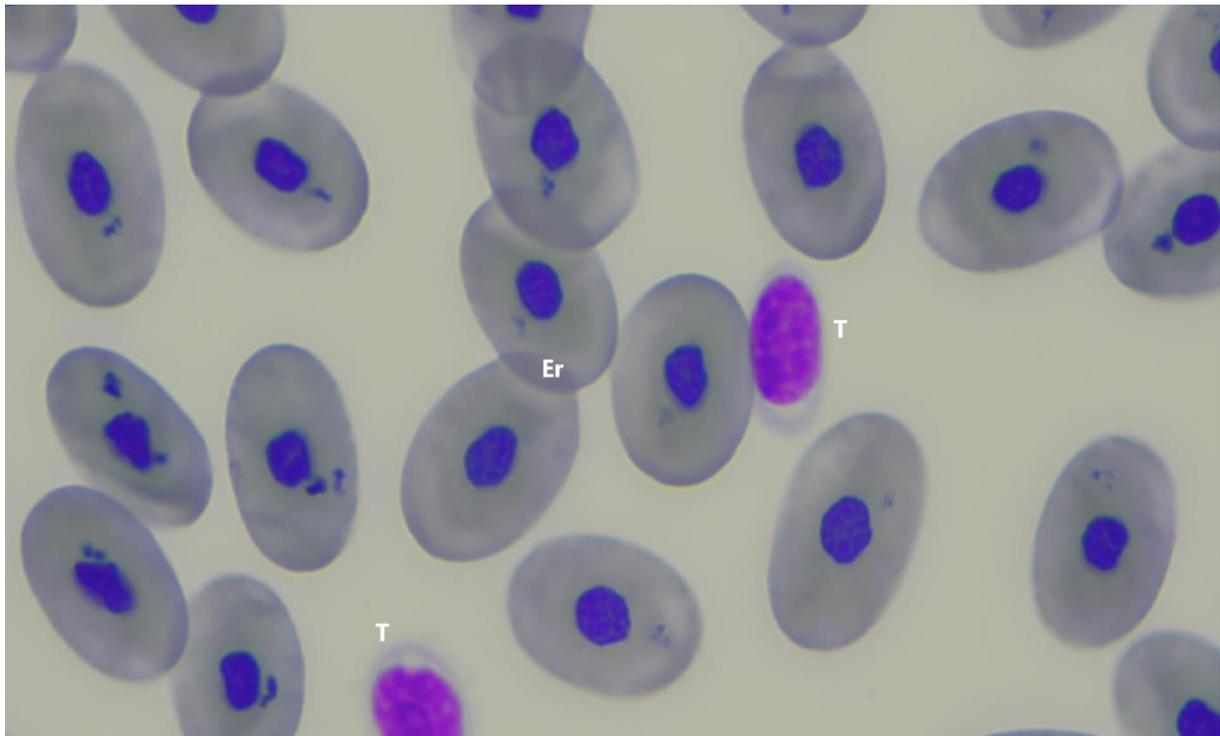


Figure 25 : Deux thrombocytes (T) entourés de nombreux érythrocytes (Er), chez une tortue verte (*Chelonia mydas*). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographie personnelle.

3.3.3 La lignée leucocytaire

La classification des leucocytes de la Tortue verte peut s'avérer compliquée car différentes nomenclatures sont disponibles dans la littérature (Campbell 2015). Certains auteurs parlent notamment de granulocytes neutrophiles (Saint-Girons 1970; Wood et al. 1984), comme pour les mammifères tandis que d'autres parlent de granulocytes hétérophiles. Même s'ils remplissent un rôle similaire à celui des neutrophiles chez les mammifères, on emploie bien le terme d'hétérophile chez les reptiles (Stacy, Alleman, Sayler 2011). Par ailleurs, ces deux cellules sont morphologiquement bien différentes.

3.3.3.a Hétérophiles

Les hétérophiles des tortues vertes sont des cellules nucléées de forme plutôt ronde (*Figure 26*). Ces cellules sont facilement reconnaissables grâce à leur granules cytoplasmiques éosinophiles. Ils jouent un rôle important dans l'immunité, en réponse à divers stimuli inflammatoires.

Taille : Les hétérophiles sont des cellules modérément grandes, mesurant environ 10-23 μm de diamètre (Stacy, Alleman, Sayler 2011).

Noyau : Le noyau est souvent en position excentrée, en périphérie de la cellule. Il est de forme ronde ou ovale chez les chéloniens (Stacy, Alleman, Sayler 2011). La chromatine du noyau est dense et fortement colorée.

Cytoplasme : L'un des traits les plus distinctifs des hétérophiles est la présence de granules cytoplasmiques éosinophiles (colorés en rose ou rouge). Ces granules sont bien visibles en coloration de Wright-Giemsa. On peut par ailleurs noter que la taille et la coloration des granules cytoplasmiques des hétérophiles sont très variables et que l'on trouve parfois des hétérophiles dégranulés dans le sang des reptiles sains (Campbell 2015). Le cytoplasme en fond est clair voire transparent.

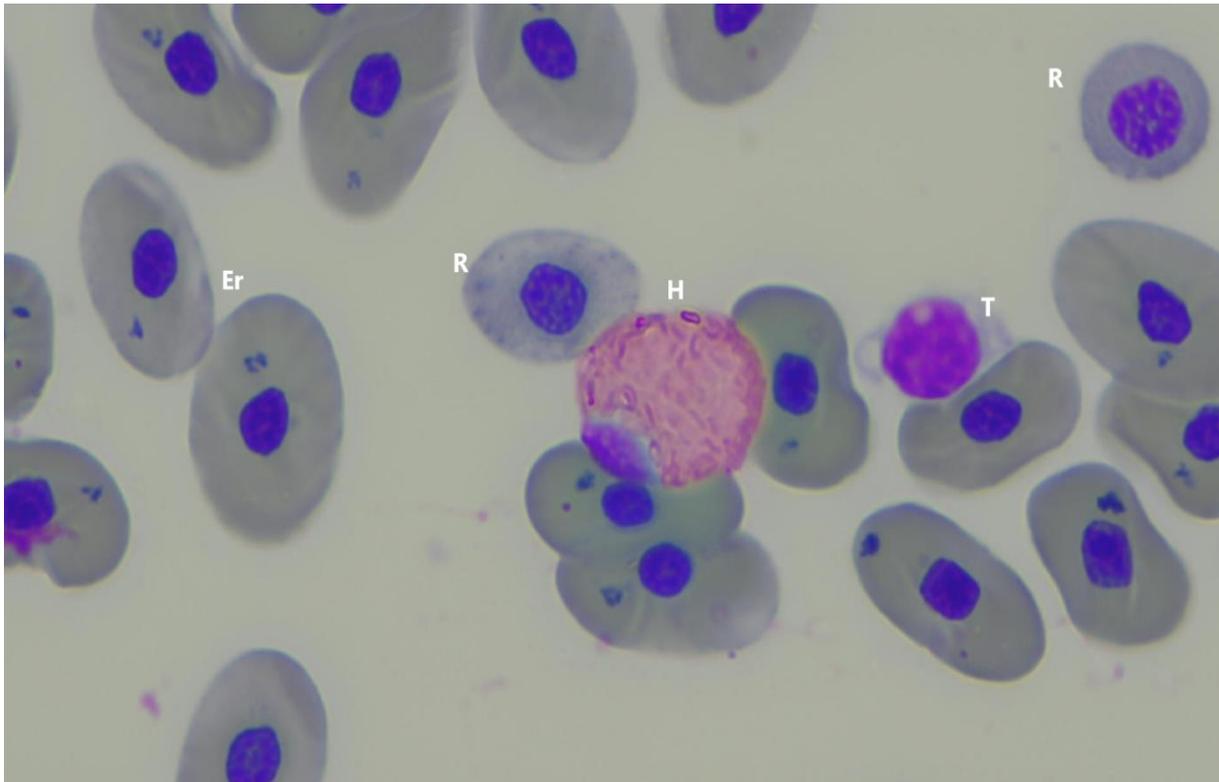


Figure 26 : Hétérophile en position centrale, entouré de plusieurs érythrocytes (Er), de deux réticulocytes à deux stades de maturation différents (R) et d'un thrombocyte (T), chez une tortue verte (*Chelonia mydas*). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographie personnelle.

Des hétérophiles dits « toxiques » peuvent être observés chez les reptiles présentant des infections bactériennes, une inflammation sévère ou une nécrose. Le degré de toxicité reflète la gravité de la maladie. Une toxicité induit des changements morphologiques. Une toxicité légère induit une basophilie cytoplasmique et une dégranulation tandis qu'une toxicité sévère se caractérise par une vacuolisation cytoplasmique, des granules cytoplasmiques aberrants (pléomorphes) et un excès de lobulation nucléaire (Stacy, Alleman, Sayler 2011).

3.3.3.b Éosinophiles

Les éosinophiles chez la Tortue verte, comme chez les mammifères, sont impliqués principalement dans les réactions inflammatoires, en particulier les réponses allergiques et les infections parasitaires. Ce sont des cellules nucléées, rondes et dont le cytoplasme contient un nombre variable de granules éosinophiliques (*Figure 27*).

Taille : Les éosinophiles ont une taille moyenne (11-17 μm), comparable à celle des autres granulocytes, notamment des hétérophiles (Carmel 2004).

Noyau : Le noyau des éosinophiles est rond à ovale et est souvent situé en périphérie de la cellule. La chromatine du noyau est dense, et le noyau peut être partiellement masqué par des granules cytoplasmiques (Samour et al. 1998).

Cytoplasme : Les éosinophiles sont caractérisés par la présence de granules cytoplasmiques de couleur rougeâtre ou orangée, bien visibles en coloration à l'éosine ou Giemsa. En fond, le cytoplasme est légèrement gris à bleu en coloration de Wright-Giemsa.

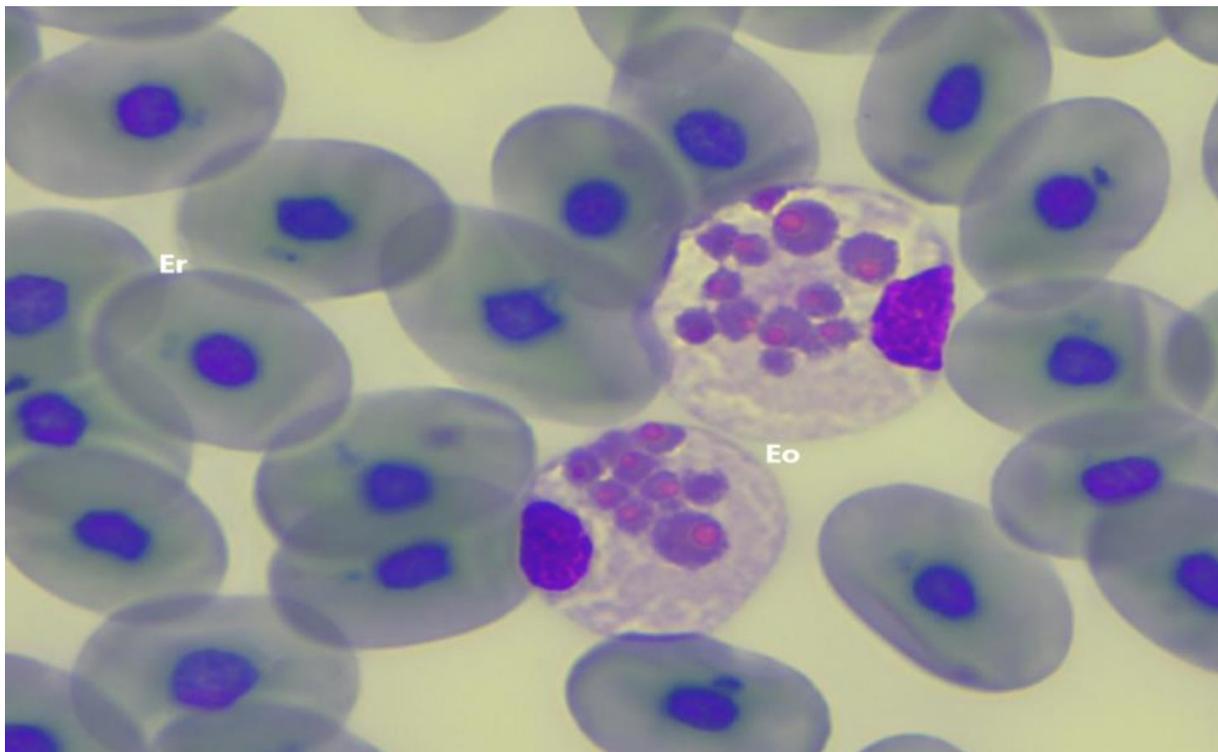


Figure 27 : Deux éosinophiles (Eo) au milieu de nombreux érythrocytes (Er), chez une tortue verte (Chelonia mydas). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographie personnelle.

3.3.3.c Basophiles

Les granulocytes basophiles sont des cellules rondes à ovales, nucléées et de morphologie variable chez la Tortue verte (Stacy, Boylan 2014) (*Figure 28*).

Taille : Les basophiles sont généralement de petite taille (7-12 μm). Ils sont donc généralement plus petits que les hétérophiles et les éosinophiles au sein du frottis sanguin.

Noyau : Le noyau des basophiles est généralement non segmenté, souvent rond ou ovale et est parfois difficile à distinguer en raison de la présence dense de granules dans le cytoplasme.

Cytoplasme : Le cytoplasme des basophiles est bleuté. Il contient de nombreux granules dont la couleur varie du violet foncé au rose clair chez la Tortue verte après une coloration de Wright-Giemsa (Stacy, Boylan 2014).

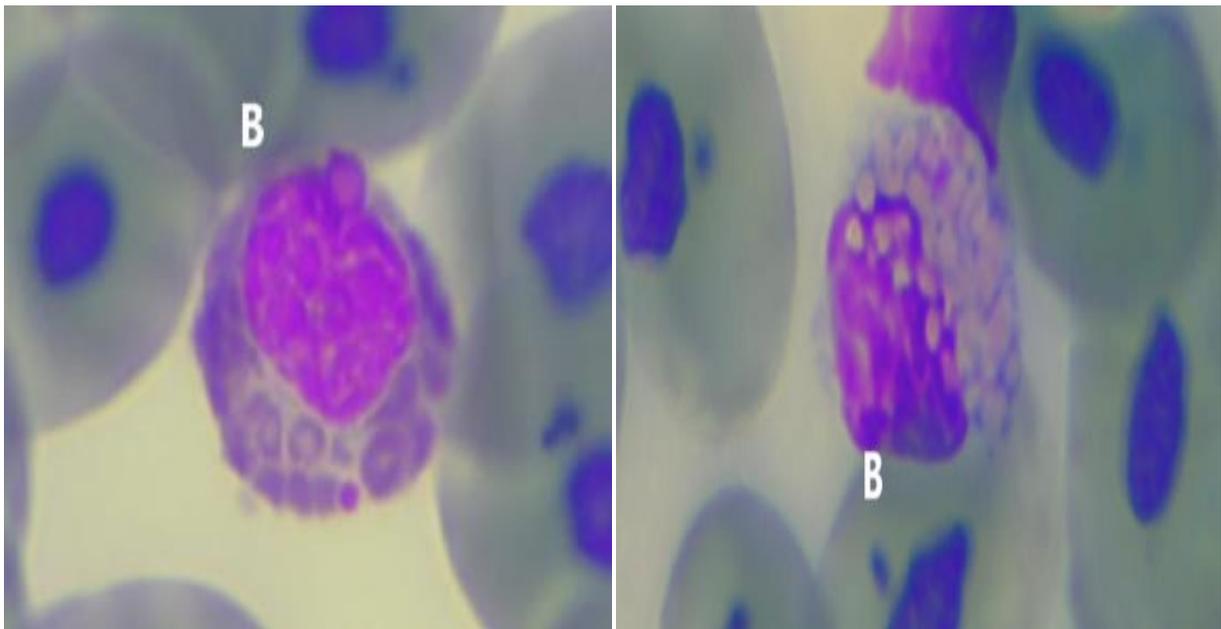


Figure 28 : Deux basophiles à granules violets (à gauche) et rosés (à droite) chez deux tortues vertes (Chelonia mydas). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographies personnelles

3.3.3.d Lymphocytes

Les lymphocytes sont essentiels pour la réponse immunitaire adaptative, et on les trouve en grande quantité dans le sang et les tissus lymphatiques des tortues vertes. Ce sont des cellules morphologiquement proches de celles des mammifères, rondes avec un noyau occupant la majeure partie de la cellule et un cytoplasme peu abondant et clair (*Figure 29*). Ils peuvent toutefois présenter des irrégularités lorsqu'ils sont entourés d'autres cellules dans le frottis sanguin (Saint-Girons 1970).

Taille : Les lymphocytes des tortues vertes varient généralement en taille, allant de petits (5-10 μm) à grands (> 15 μm) lymphocytes. Les petits lymphocytes sont presque aussi grands que les érythrocytes, tandis que les grands lymphocytes peuvent avoir un cytoplasme plus abondant.

Noyau : Le noyau des lymphocytes est le plus souvent rond et occupe une grande partie de la cellule. Le rapport nucléo-cytoplasmique des lymphocytes est très élevé (Nardini, Leopardi, Bielli 2013; Campbell 2015). Il est fortement coloré, avec une chromatine dense et condensée.

Cytoplasme : Le cytoplasme des petits lymphocytes est peu abondant et souvent basophile. Les grands lymphocytes, cependant, peuvent présenter un cytoplasme plus volumineux.

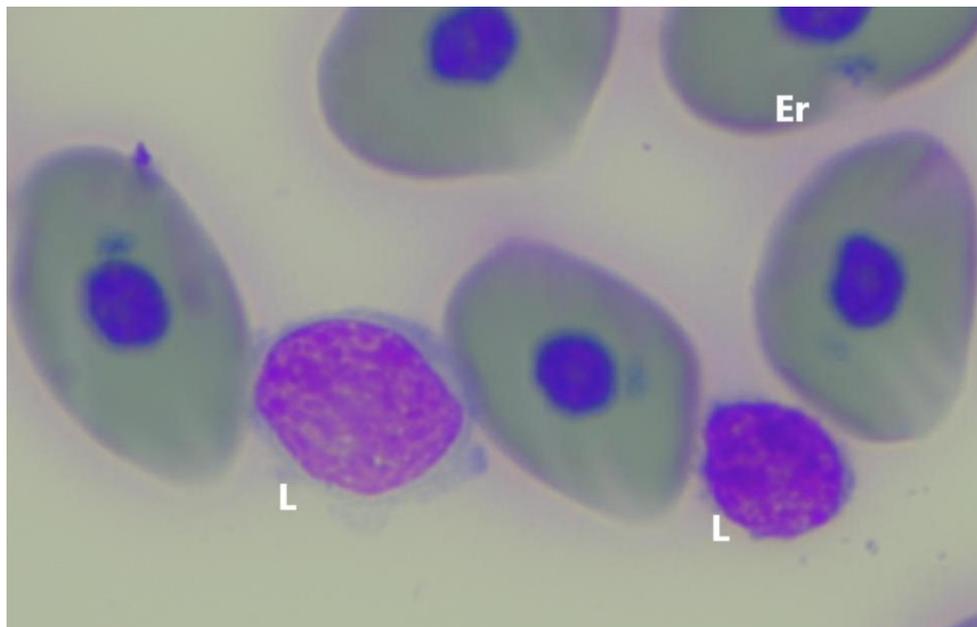


Figure 29 : Petit (à droite) et grand (à gauche) lymphocyte entourés d'érythrocytes sur un frottis sanguin de tortue verte (Chelonia mydas). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographie personnelle.

3.3.3.e Monocytes

Les monocytes sont les plus grandes cellules leucocytaires du sang périphérique des tortues vertes. Ils jouent un rôle crucial dans la phagocytose et l'élimination des agents pathogènes et des débris cellulaires. Les monocytes sont souvent de forme ronde ou ovale, voire irrégulière lorsqu'ils sont en contact avec d'autres cellules (*Figure 30*).

Taille : Leur taille est très variable (8 à 25 μm), les rendant plus grandes que les hétérophiles et les lymphocytes.

Noyau : Le noyau des monocytes est également de forme très variable : rond, ovale, en forme de haricot ou de fer à cheval. La chromatine est moins condensée que dans les autres leucocytes, donnant au noyau une apparence plus claire (Campbell 2015).

Cytoplasme : Le cytoplasme des monocytes est généralement abondant et bleu-gris en coloration Wright-Giemsa. Il peut contenir des vacuoles et des granules de différents types pouvant contenir de la mélanine, des débris cellulaire, des lipides ou encore de l'hémosidérine (Stacy, Alleman, Sayler 2011; Divers, Stahl 2019). Enfin, du matériel phagocyté et des granules azurophiles peuvent également être présents dans le cytoplasme de certains monocytes (Campbell 2015).

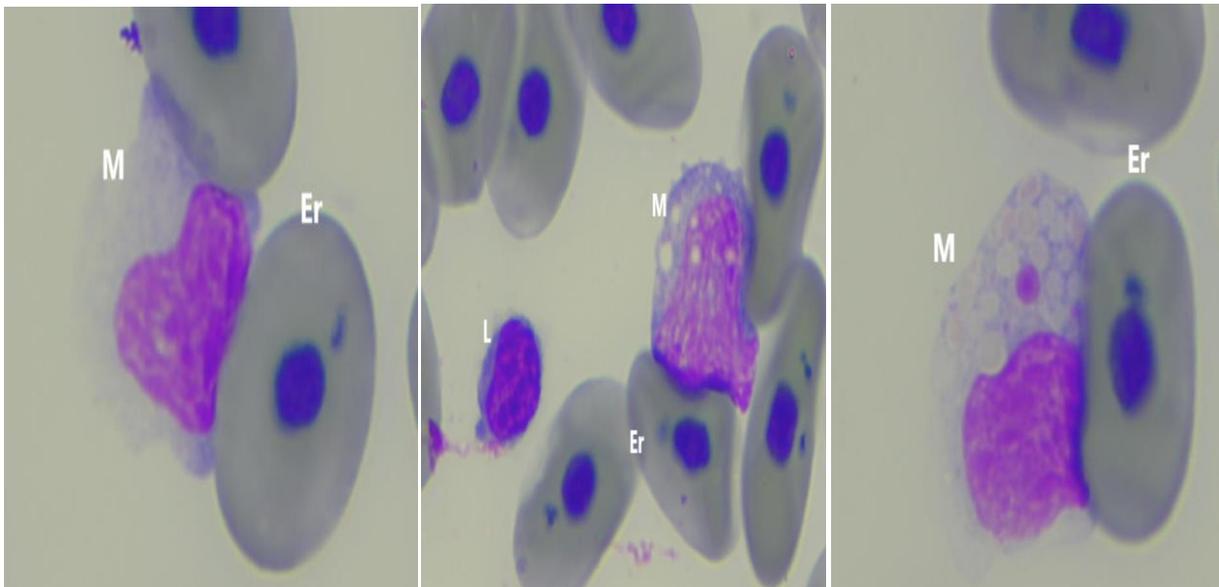


Figure 30 : Monocyte (à gauche), monocyte vacuolé (au centre) et monocyte contenant des granules cytoplasmiques (à droite), chez des tortues vertes (*Chelonia mydas*). Coloration Wright-Giemsa, grossissement x1000. Photographies personnelles.

3.4 Résultats

3.4.1 Paramètres étudiés

Cette étude s'intéresse à la fois aux paramètres hématologiques et phénotypiques des tortues présentes en Martinique. Les paramètres hématologiques pris en compte dans cette étude sont les suivants :

- L'hématocrite
- La formule différentielle des leucocytes (hétérophiles, basophiles, éosinophiles, lymphocytes et monocytes)
- Le rapport H/L

Le comptage des leucocytes, qu'il soit obtenu par comptage indirect ou estimé, n'a pas été pris en compte dans cette étude, faute de représentativité des résultats.

En ce qui concerne les variables phénotypiques prises en compte, notre étude a pris en compte la CCL, le nombre de tumeur et le TTA. D'autres variables phénotypiques étaient à notre disposition telles que la forme du plastron ou de la dossière, mais n'ont pas été utilisées pour cette étude.

3.4.2 Analyse descriptive de l'échantillon

L'analyse descriptive de l'ensemble des variables, tout site et tout statut sanitaire confondu, est présentée dans le *Tableau 3*.

Tableau 3 : Analyse descriptive de l'échantillon

	Moyenne	Ecart-type	Intervalle de confiance à 95%
Hématocrite (%)	34,53	5,60	[33,43 - 35,63]
Hétérophiles (%)	11,60	5,78	[10,46 - 12,74]
Basophiles (%)	7,64	5,73	[6,51 - 8,77]
Eosinophiles (%)	2,84	2,07	[2,43 - 3,25]
Lymphocytes (%)	65,90	9,12	[64,1 - 67,7]
Monocytes (%)	12,01	7,44	[10,54 - 13,48]
Rapport H/L	0,18	0,11	[0,16 - 0,20]
CLL	64,58	16,33	[61,35 - 67,8]
Nombre de tumeurs	1,97	4,39	[1,1 - 2,84]
TTA (cm ²)	7,04	29,09	[1,31 - 12,77]

Les *figures 31, 32 et 33* présentent respectivement la distribution des tortues étudiées selon leur taille (CCL), leur hématocrite et leur rapport H/L. La distribution différentielle par population leucocytaire est donnée en *annexe 2*.

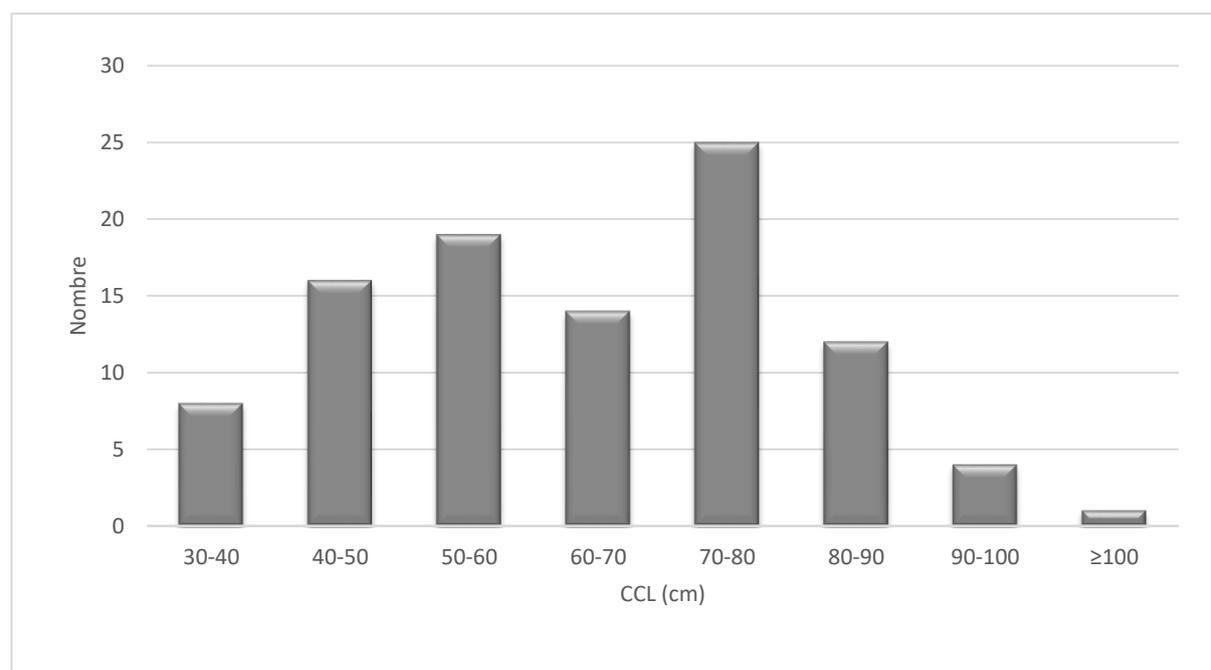


Figure 31 : Distribution de l'ensemble des tortues étudiées (n=99) selon leur taille (CCL) en cm.

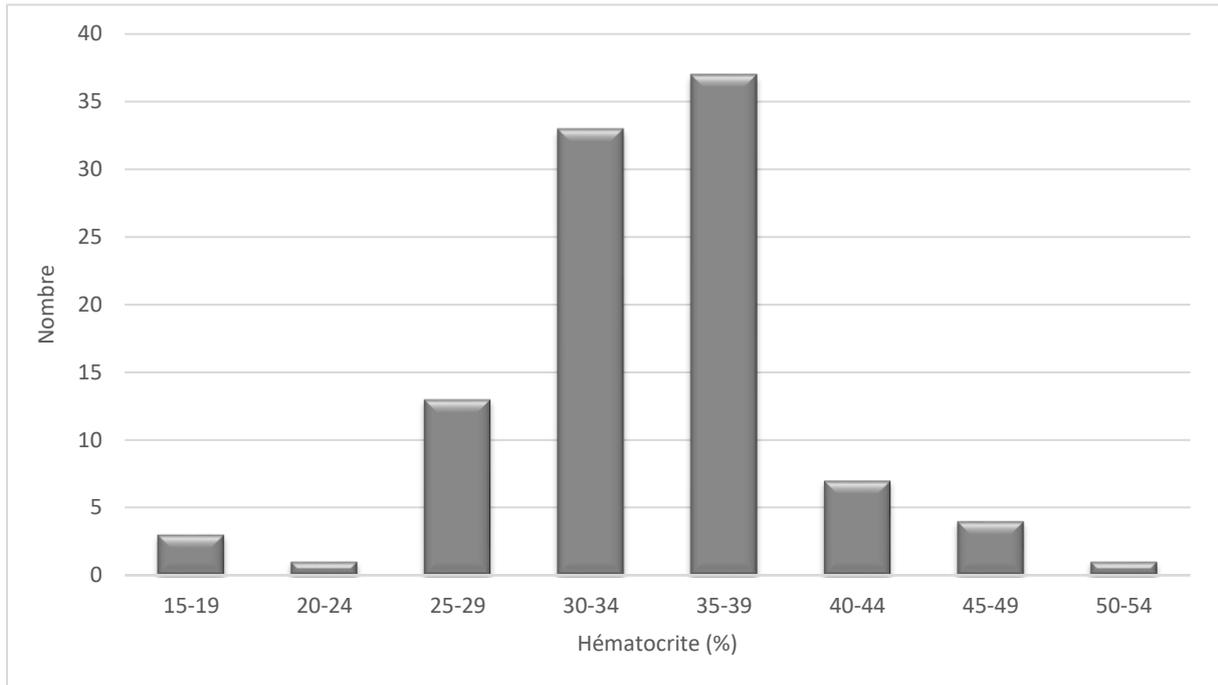


Figure 32 : Distribution de l'ensemble des tortues étudiées selon leur hémocrite en pourcentage.

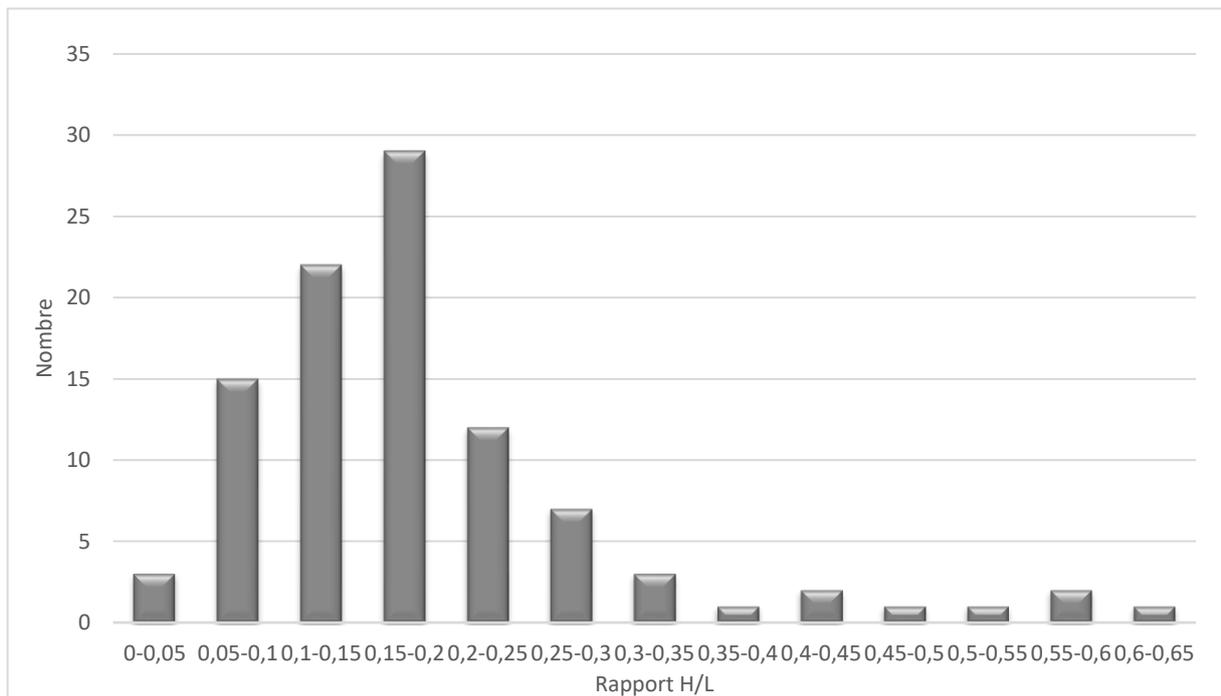


Figure 33 : Distribution de l'ensemble des tortues étudiées selon leur rapport H/L.

3.4.3 Effet du site d'études ABAC/GA

3.4.3.a Sur les paramètres phénotypiques

Une première comparaison entre les deux sites d'alimentation principaux (ABAC et GA) est réalisée. Elle concerne tout d'abord les paramètres phénotypiques généraux. Tous les résultats sont exprimés en moyenne \pm écart-type.

Ces premiers résultats sont présentés dans le *tableau 4*.

Tableau 4 : Comparaison des paramètres biologiques en fonction du site d'étude (moyenne \pm écart-types).

Paramètres	ABAC (n=35)	GA (n=54)	Significativité
CCL (cm)	65,21 \pm 16,46	66,10 \pm 15,82	ns
TTA (cm ²)	15,50 \pm 46,15	0,41 \pm 1,16	ns
Nombre de tumeurs	2,63 \pm 5,35	0,69 \pm 1,27	P<0.04

Le nombre de tumeurs est significativement plus élevé chez les tortues du site ABAC. La surface couverte par les tumeurs est également plus importante sur les tortues de ce même site, même si ce résultat n'est pas significatif. Enfin, la taille des individus n'est pas significativement différente entre les deux sites d'alimentation.

Si le nombre de tumeurs et le TTA sont plus élevés sur le site d'alimentation ABAC, c'est aussi le site où le nombre de tortues atteintes est le plus élevé comparativement au nombre de tortues échantillonnées, comme le montre la *figure 34*. Près d'une tortue sur deux est atteinte de la maladie à ABAC, tandis que pour GA, c'est seulement le cas pour moins de 30% des tortues.

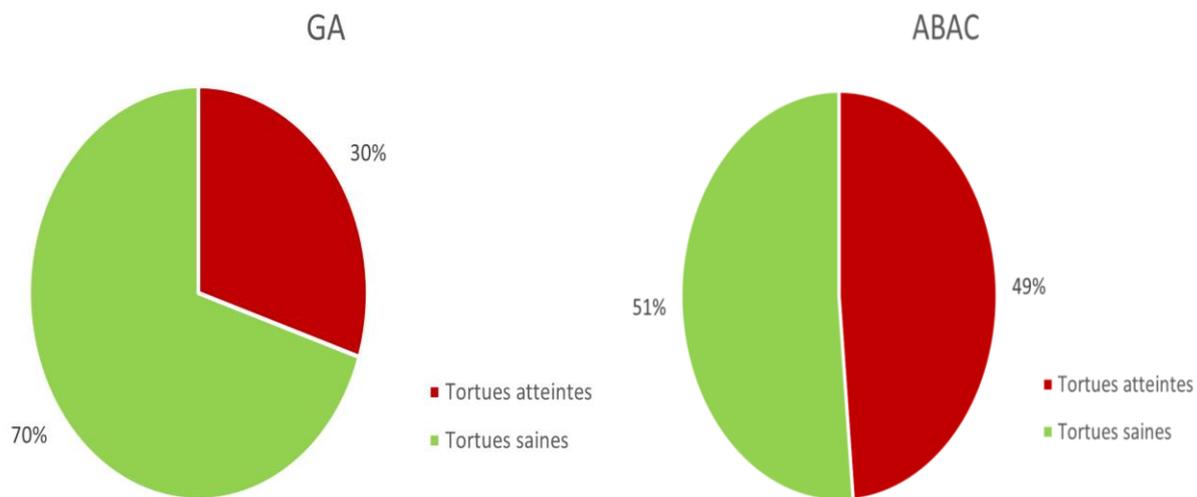


Figure 34 : Pourcentage de tortues atteintes de la maladie sur le nombre de tortues échantillonnées à GA (à gauche) et ABAC (à droite).

3.4.3.b Sur les paramètres hématologiques

La deuxième comparaison des deux principaux sites d'étude (ABAC et GA) concerne les valeurs hématologiques. Le but est de savoir si deux sites géographiques proches mais distincts, et par conséquent deux environnements différents, peuvent être associés à des paramètres hématologiques différents. Les résultats sont présentés dans le *tableau 5*.

Tableau 5 : Comparaison des paramètres hématologiques en fonction du site d'étude (moyenne \pm écart-types).

Paramètres	ABAC (n=35)	GA (n=54)	Significativité
Hématocrite (%)	34,32 \pm 5,31	35,27 \pm 5,61	ns
Hétérophiles (%)	13,11 \pm 7,15	10,44 \pm 4,45	P<0,05
Basophiles (%)	8,17 \pm 6,13	7,02 \pm 5,58	ns
Eosinophiles (%)	2,8 \pm 2,06	2,78 \pm 2,13	ns
Lymphocytes (%)	64,46 \pm 6,56	67,74 \pm 9,16	P<0,05
Monocytes (%)	11,4 \pm 6,38	12 \pm 7,72	ns
Rapport H/L	0,21 \pm 0,12	0,16 \pm 0,08	ns

On observe une différence significative entre les deux sites d'étude en ce qui concerne le taux de lymphocytes et le taux d'hétérophiles. Les hétérophiles semblent relativement plus abondants chez les tortues capturées sur le site d'ABAC. Tandis que les tortues provenant du site GA semblent avoir plus de lymphocytes. Le rapport H/L n'est en revanche pas significativement différent entre les deux sites, bien que logiquement plus élevé à ABAC.

Les taux de basophiles, d'éosinophiles et de monocytes, ainsi que l'hématocrite ne sont pas significativement différents selon le site d'alimentation des tortues.

3.4.4 Effet du statut sanitaire saine/atteinte de FP

3.4.4.a Sur les paramètres phénotypiques

On compare cette fois-ci les tortues selon leur statut sanitaire (saines ou atteintes de FP). On commence une nouvelle fois par une comparaison phénotypique. Les résultats sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Comparaison de la taille des individus en fonction du statut sanitaire (moyenne \pm écart-types).

Paramètres	Saines (n=60)	Atteintes (n=39)	Significativité
CCL (cm)	59,10 \pm 16,39	72,29 \pm 13,27	P<0.01

On observe une très forte significativité statistique des résultats avec des tortues atteintes qui sont globalement plus grandes que les tortues saines.

3.4.4.b Sur les paramètres hématologiques

On compare ici les variables hématologiques des tortues atteintes et celles des tortues saines. Le but est d'apprécier le lien entre la fibropapillomatose et le profil hématologique des tortues vertes. Pour rappel, ces résultats ont été obtenus à l'aveugle, les paramètres hématologiques ayant été mesurés sans connaître le statut sanitaire de chaque tortue.

Les résultats sont présentés dans le *tableau 7*.

Tableau 7 : Comparaison des paramètres hématologiques en fonction du statut sanitaire (moyenne \pm écart-types).

Paramètres	Saines (n=39)	Atteintes (n=60)	Significativité
Hématocrite (%)	34,31 \pm 5,86	34,87 \pm 5,31	ns
Hétérophiles (%)	11,35 \pm 5,46	11,97 \pm 6,36	ns
Basophiles (%)	7,4 \pm 5,94	8,0 \pm 5,54	ns
Eosinophiles (%)	2,48 \pm 1,78	3,38 \pm 2,39	P<0,05
Lymphocytes (%)	66,65 \pm 8,53	64,74 \pm 10,08	ns
Monocytes (%)	12,07 \pm 6,94	11,90 \pm 8,33	ns
Rapport H/L	0,18 \pm 0,10	0,20 \pm 0,13	ns

La plupart des résultats concernant les valeurs hématologiques, sont non significatifs. C'est le cas pour tous les paramètres mesurés sauf le taux d'éosinophiles qui est significativement plus élevé chez les tortues atteintes.

3.4.5 Relations entre le TTA et les paramètres phénotypiques et hématologiques

Dans un troisième temps, l'effet du TTA sur les paramètres hématologiques et biologiques a été évalué. Les valeurs de TTA ont été transformées en log10 pour optimiser la visualisation des données. Cet ajustement a été nécessaire car les données ne suivaient pas une loi normale. Avec cette log transformation, on tend à se rapprocher d'une loi normale.

3.4.5.a Relation entre le TTA et la taille

L'évolution du TTA en fonction de la taille des tortues atteintes de fibropapillomatose (n=39) est présentée en *Figure 35*.

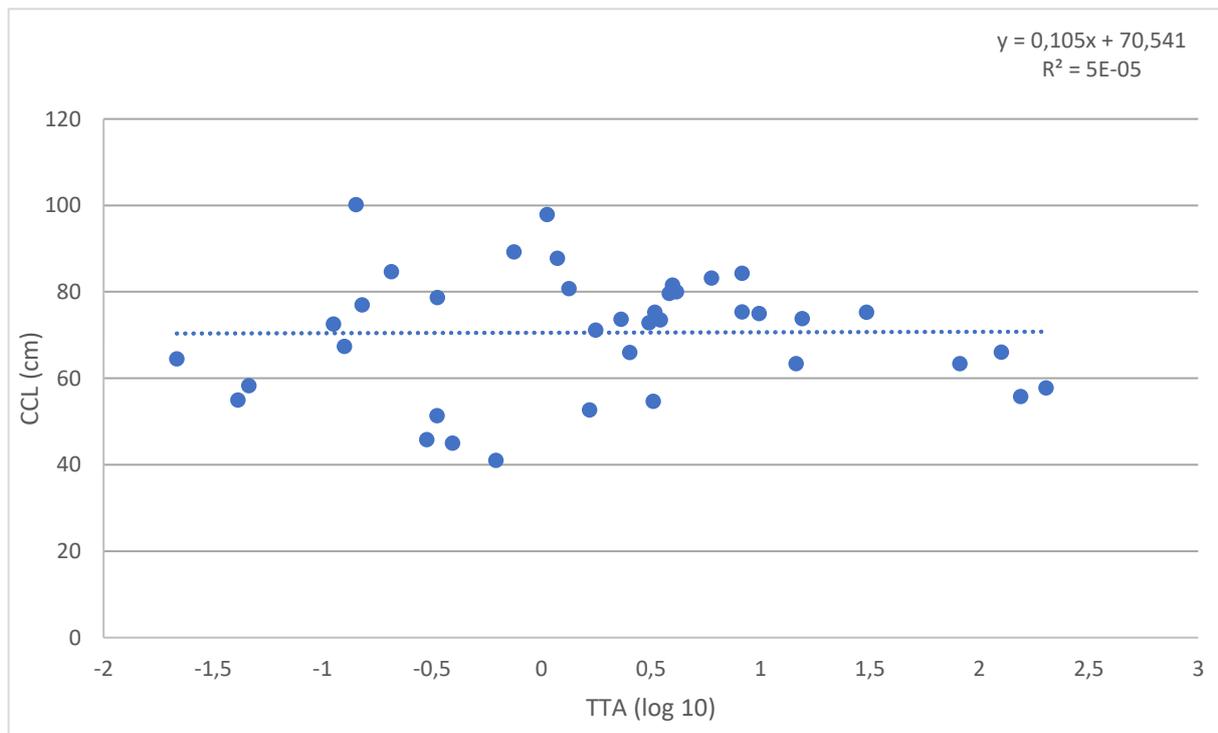


Figure 35 : Relation entre le TTA et la CCL des tortues atteintes de fibropapillomatose.

On remarque que, si les tortues atteintes sont significativement plus grandes que les tortues saines, la taille ne semble en revanche pas liée à la surface occupée par les tumeurs chez les tortues atteintes.

3.4.5.b Relation entre le TTA et l'hématocrite

L'évolution de l'hématocrite en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose (n=39) est présentée en *Figure 36*.

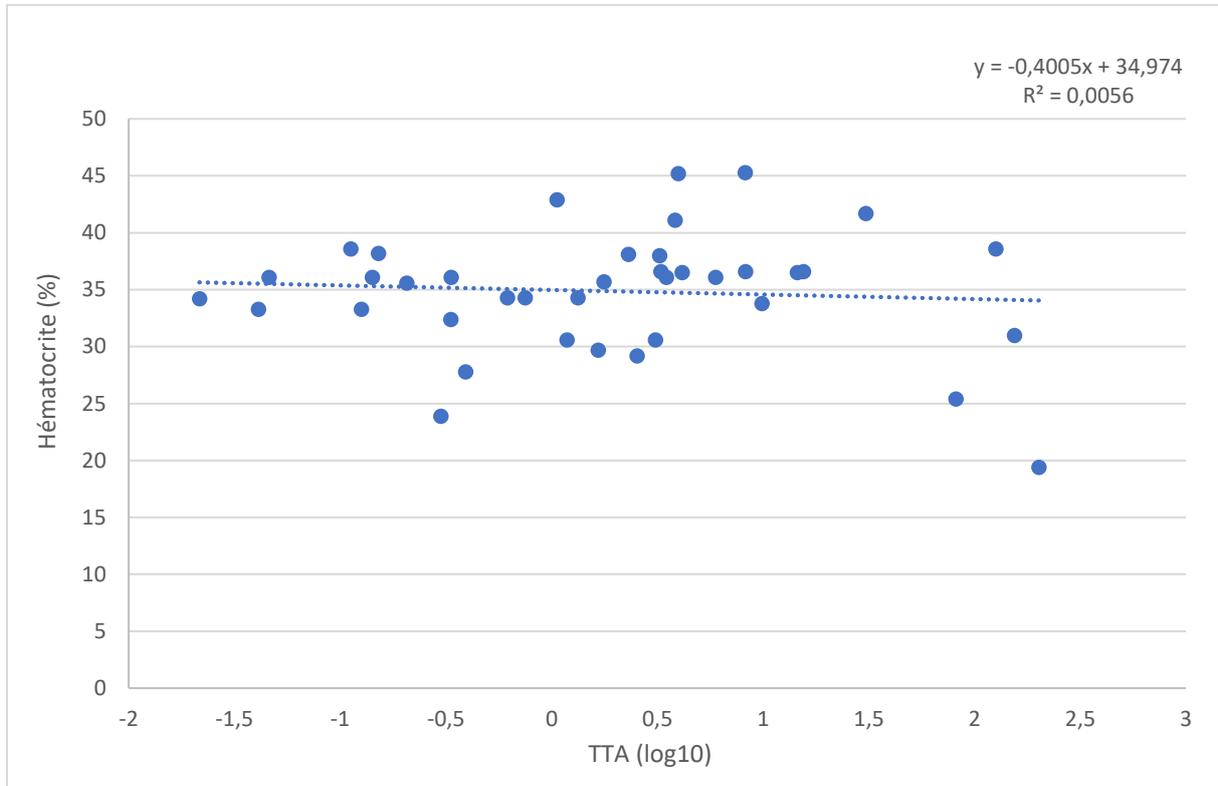


Figure 36 : Evolution de l'hématocrite en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.

On observe une légère tendance à la diminution de l'hématocrite à mesure que le TTA augmente. En outre, la tortue la plus atteinte de l'étude est également celle qui a l'hématocrite le plus bas. Toutefois, comme en témoigne le R^2 représentant la corrélation entre les deux variables, la tendance est très faible et insignifiante à ce stade.

3.4.5.c Relation entre le TTA et le taux d'hétérophiles

L'évolution du pourcentage d'hétérophiles en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose (n=39) est présentée en *Figure 37*.

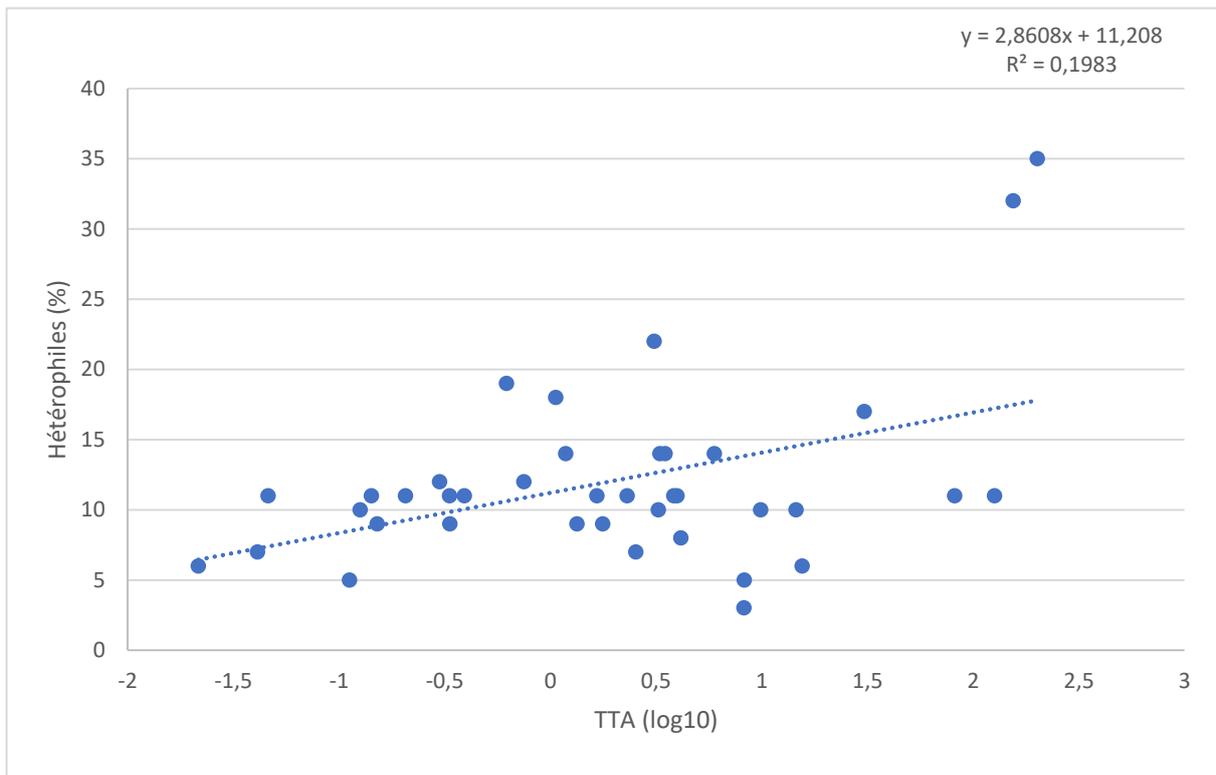


Figure 37 : Evolution du pourcentage d'hétérophiles en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.

Les tortues les plus atteintes sont celles qui ont le plus fort pourcentage d'hétérophiles. La tendance semble être en faveur d'une hausse de ce pourcentage d'hétérophiles à mesure que la surface tumorale augmente.

3.4.5.d Relation entre le TTA et le taux de lymphocytes

L'évolution du pourcentage de lymphocytes en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose (n=39) est présentée en *Figure 38*.

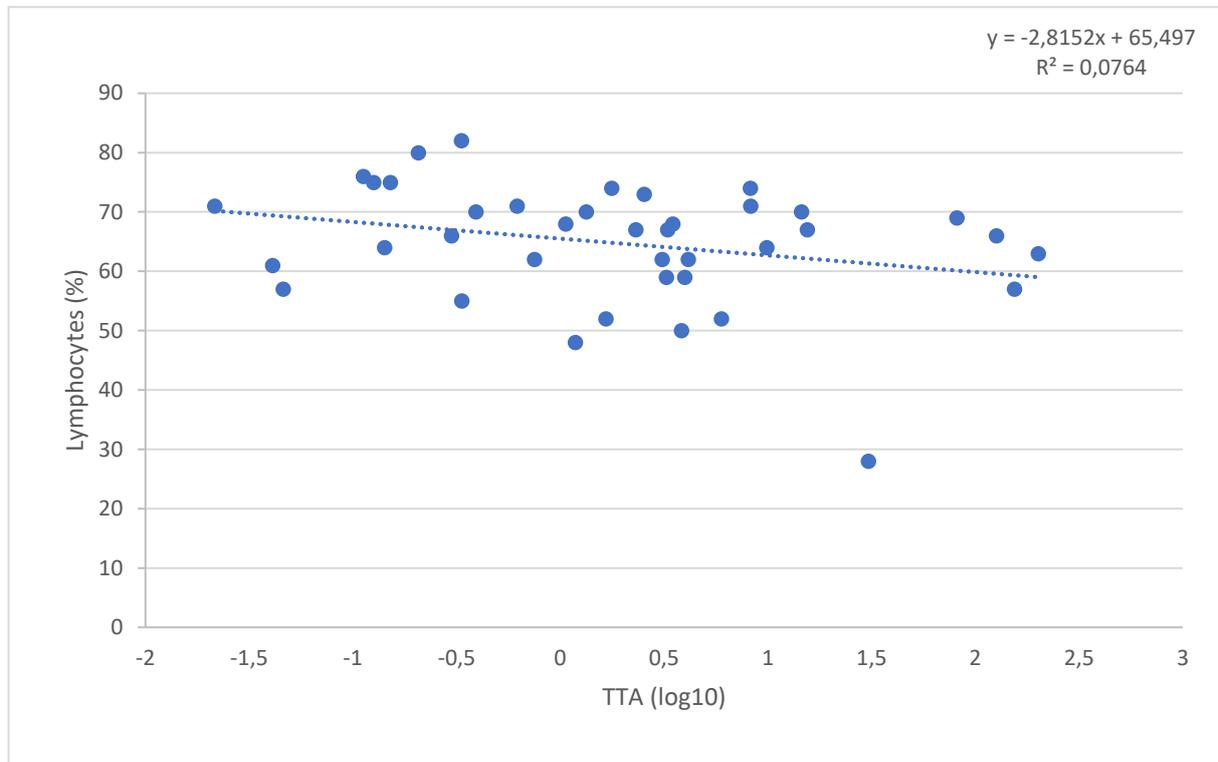


Figure 38 : Evolution du pourcentage de lymphocytes en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.

Les comparaisons de moyennes entre tortues saines et atteintes présentées précédemment ont montré que les tortues atteintes ont relativement moins de lymphocytes que les tortues saines. En outre, au sein même des tortues atteintes, il semble que le taux de lymphocytes diminue à mesure que le TTA augmente.

3.4.5.e Relation entre le TTA et le rapport H/L

L'évolution du rapport H/L en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose (n=39) est présentée en *Figure 39*.

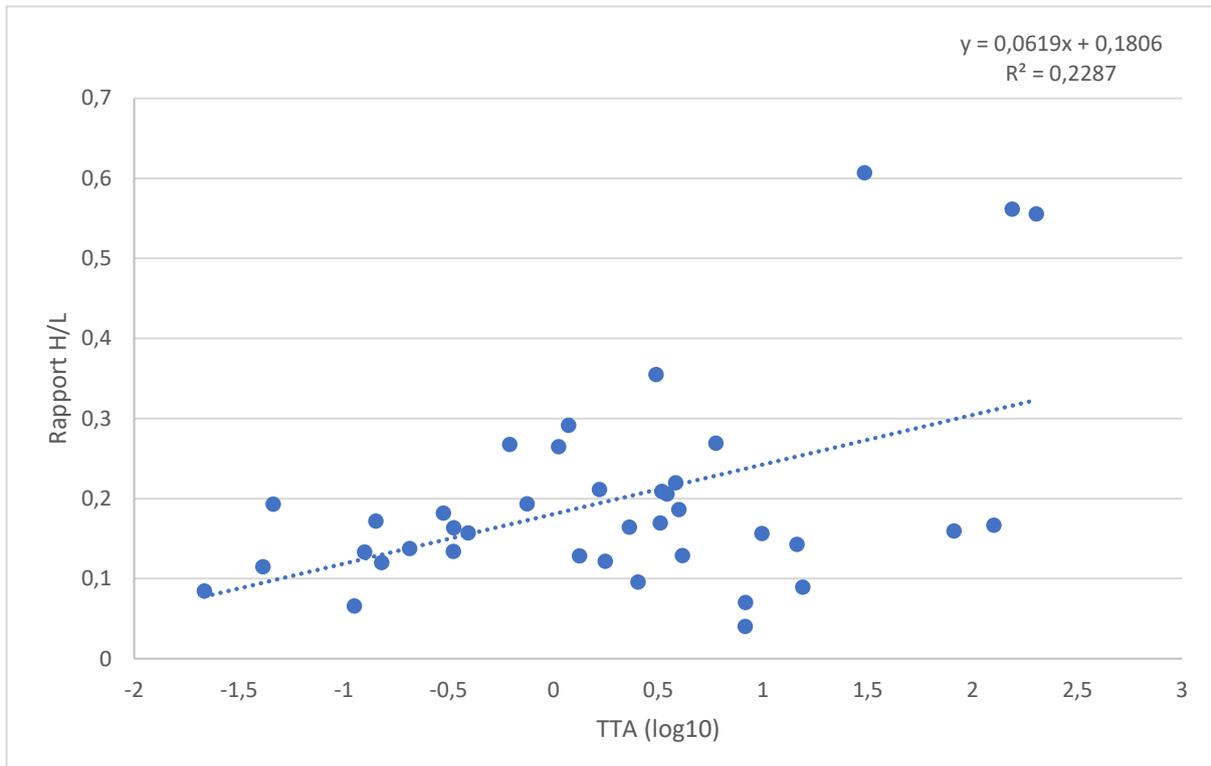


Figure 39 : Evolution du rapport H/L en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.

Logiquement, le taux d'hétérophiles ayant tendance à la hausse et le taux de lymphocytes plutôt à la baisse, le rapport H/L semble augmenter à mesure que le TTA augmente.

3.4.5.f Relation entre le TTA et le taux d'éosinophiles

L'évolution du taux d'éosinophiles en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose (n=39) est présentée en *Figure 40*.

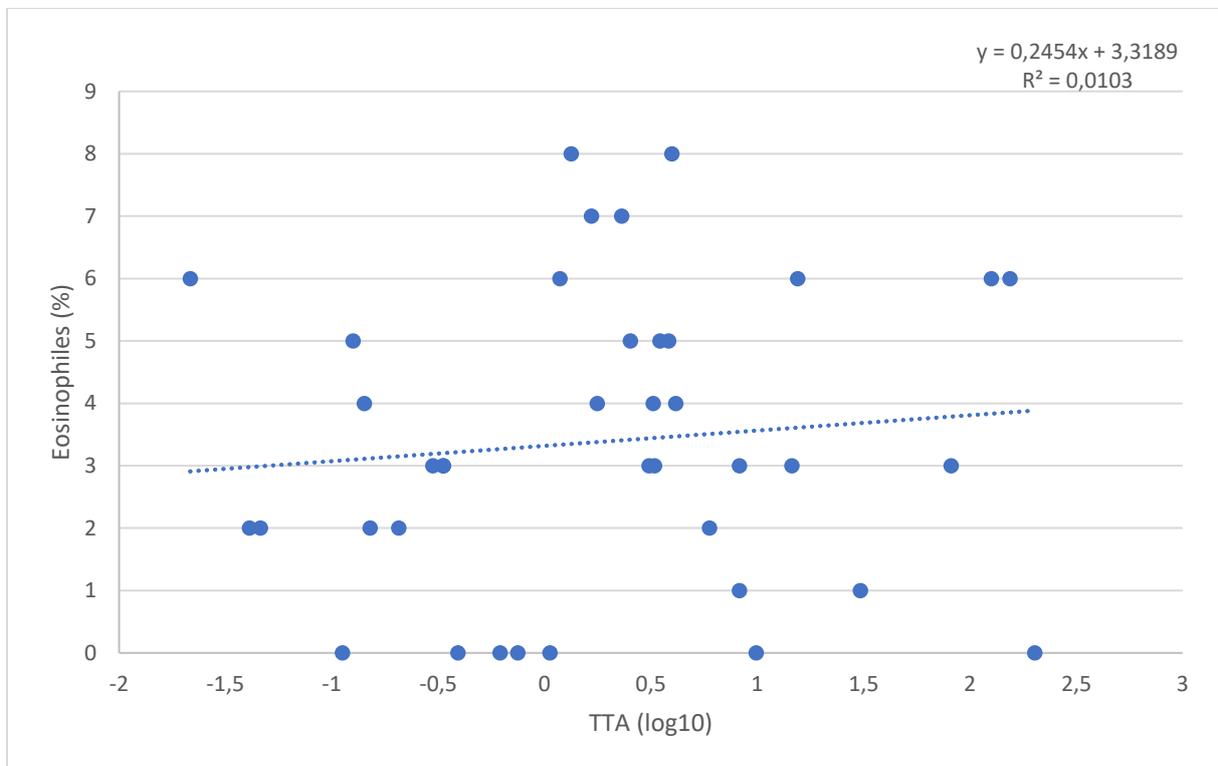


Figure 40 : Evolution du taux d'éosinophiles en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.

Si la courbe de tendance semble montrer une légère augmentation des éosinophiles suivant l'augmentation du TTA, la dispersion des points est telle que ce résultat n'est aucunement significatif, ce que la faible valeur du R^2 confirme également.

3.4.5.g Relation entre le TTA et le taux de basophiles

L'évolution du taux de basophiles en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose (n=39) est présentée en *Figure 41*.

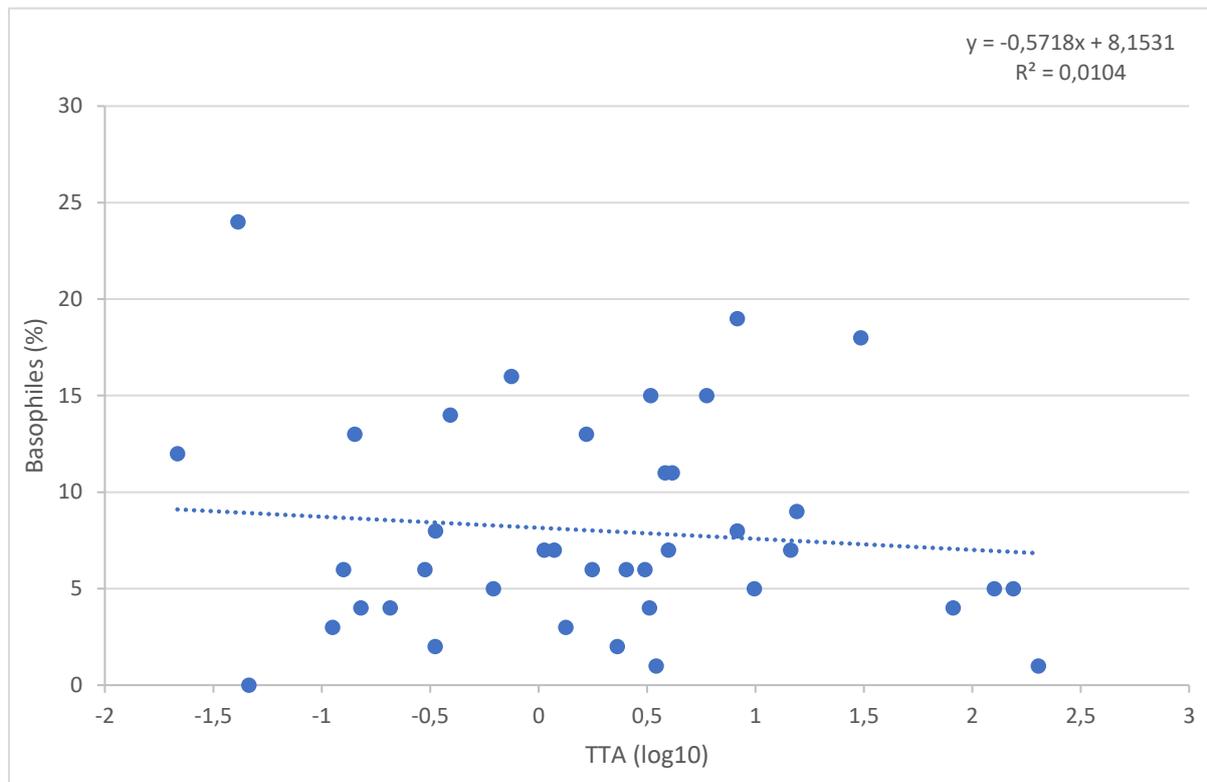


Figure 41 : Evolution du taux de basophiles en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.

Le taux de basophiles ne semble pas évoluer positivement ou négativement à mesure que le TTA augmente. La légère diminution de la courbe de tendance n'est pas significative à ce stade.

3.4.5.h Relation entre le TTA et le taux de monocytes

L'évolution du taux de monocytes en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose (n=39) est présentée en *Figure 42*.

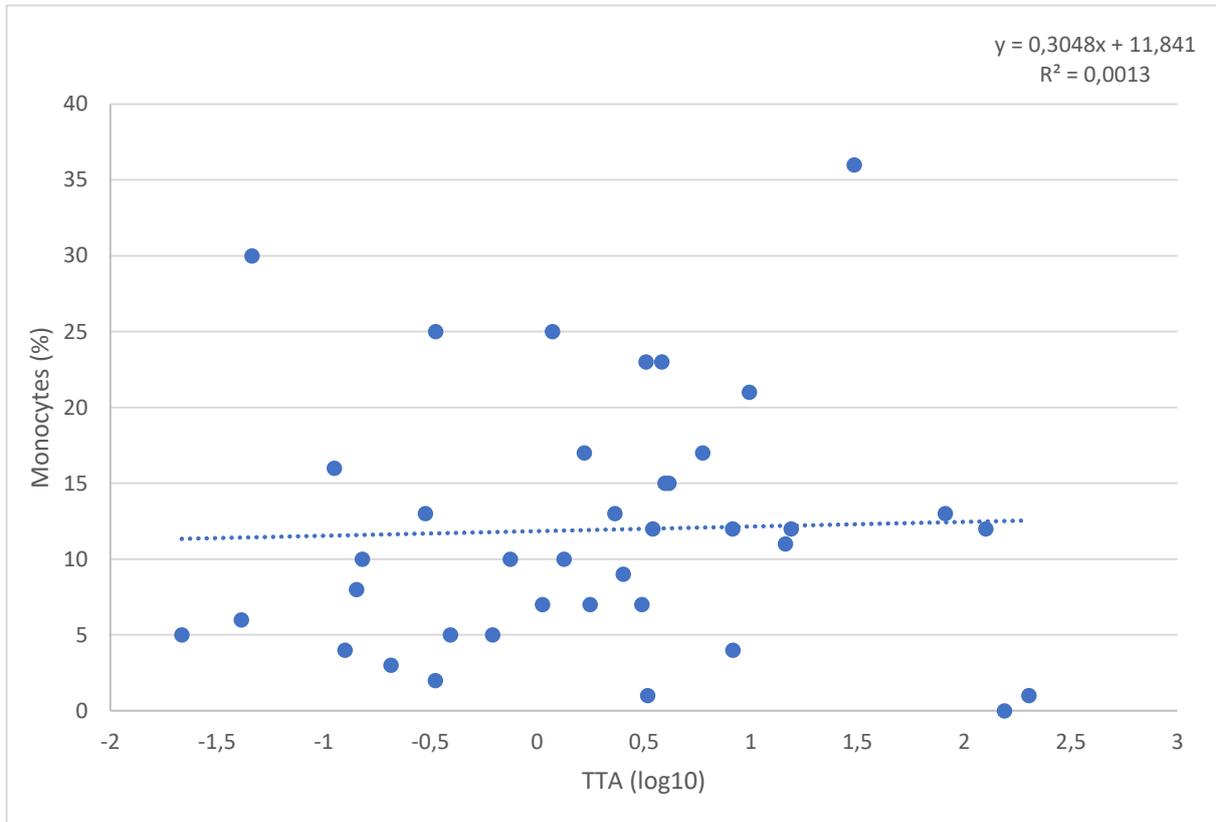


Figure 42 : Evolution du taux de monocytes en fonction du TTA des tortues atteintes de fibropapillomatose.

Comme pour les éosinophiles et les basophiles, le pourcentage de monocytes dans la formule sanguine ne semble pas être corrélé à la sévérité des lésions observées sur les tortues atteintes.

Un premier regard sur l'ensemble de ces résultats nous montre que les modifications hématologiques liées à la fibropapillomatose en Martinique sont faibles. Ce résultat est plutôt encourageant et suggère malgré tout une santé satisfaisante des tortues dans cette zone, qu'elles soient atteintes ou non par la fibropapillomatose.

3.5 Discussion

3.5.1 Résultats obtenus

Cette étude fournit des estimations des paramètres sanguins des tortues vertes immatures dans les aires d'alimentation de la Martinique en mettant l'accent sur la présence et la gravité de la fibropapillomatose.

Les résultats obtenus sont, pour la plupart, en accord avec les études et analyses déjà menées sur le sujet dans d'autres régions du globe, bien que rarement significatifs dans cette étude. On montre par exemple que les tortues atteintes de fibropapillomatose ont une taille (environ 72 cm) significativement plus importante que celle des tortues saines. Cela corrobore la littérature qui décrit une taille intermédiaire (autour de 70 cm) à laquelle la prévalence de fibropapillomatose est à son pic, avant de redescendre ensuite pour les tortues plus grandes (Van Houtan, Hargrove, Balazs 2010). Cela peut s'expliquer par le fait que les tortues atteintes peuvent ensuite mourir directement (à cause de tumeurs internes) ou indirectement (choc avec les bateaux, incapacité de s'alimenter etc) de la maladie, ou bien quitter la zone d'alimentation suite à l'atteinte de leur maturité sexuelle. De plus, des cas de régressions spontanées de tumeurs ont déjà été observés en Martinique, notamment grâce à l'étude de Renvier en 2020, qui peuvent aussi expliquer cette décroissance de prévalence.

En ce qui concerne les paramètres hématologiques, les hématocrites moyens estimés pour les tortues vertes immatures de Martinique en bonne santé sont égaux à environ 35 % et cohérents avec les estimations notées pour les tortues hawaïennes en bonne santé (38 %, Work, Balazs 1999). Ces estimations sont élevées par rapport aux valeurs d'hématocrite d'autres aires d'alimentation de tortues vertes juvéniles de Floride, du Brésil, d'Australie et de Taïwan (25-30 %, Rossi et al. 2009 ; Hirama et al. 2014 ; Zwarg et al. 2014 ; Li, Chang 2020 ; Kophamel et al. 2022).

Les leucocytes sont principalement représentés par les lymphocytes chez les tortues vertes de Martinique saines (66 %), suivis par les hétérophiles et les monocytes en proportion égale (~12 %), les basophiles (8 %) puis les éosinophiles (3 %). Comme pour les hématocrites, cette répartition est cohérente avec celles observées chez les tortues hawaïennes saines, malgré une proportion d'éosinophiles légèrement plus

élevée qu'en Martinique (>10%, Work, Balazs 1999). De faibles proportions d'éosinophiles, de monocytes et de basophiles sont souvent observées chez les tortues vertes immatures, avec une valeur inférieure à 15 % (Work, Balazs 1999 ; Zwarg et al. 2014 ; Li, Chang 2020 ; Sposato et al. 2021 ; Kophamel et al. 2022). Cependant, les numérations différentielles des lymphocytes et des hétérophiles, et donc le rapport H/L, sont très variables selon les études disponibles. Certaines d'entre elles rapportaient des proportions égales entre hétérophiles et lymphocytes (40 à 50 %) en Australie (Kophamel et al. 2022) et à Taiwan (Li, Chang 2020). Au Brésil et à l'Est du Costa Rica, les proportions d'hétérophiles et de lymphocytes sont complètement inversées par rapport à la Martinique, avec des valeurs respectives de 70-80 % et 10-20 % du comptage leucocytaire (Zwarg et al. 2014 ; Howell Ramirez et al. 2021).

La différence de proportion de leucocytes dans la littérature pourrait être induite par des méthodes de capture alternatives qui pourraient générer un stress excessif chez les tortues par rapport à celle utilisée en Martinique (dans notre étude) et donc modifier leur profil hématologique (Aguirre et al. 1995). Cela peut notamment être le cas lorsque l'échantillon est principalement composé d'individus en détresse (par exemple Zwarg et al. 2014). De plus, les conditions environnementales subies par les tortues échantillonnées ou les méthodes d'analyse sanguine peuvent également affecter les résultats (Howell Ramirez et al. 2021).

Le stress physiologique est connu pour altérer la circulation des leucocytes sanguins chez les vertébrés, par la libération de corticostérone, et pourrait ainsi être détecté par une augmentation du rapport H/L (Davis, Maney, Maerz 2008 ; Goessling et al. 2015). Plus précisément, la lymphopénie et l'hétérophilie qui entraînent un rapport H/L plus élevé pourraient être considérées comme un marqueur de stress chronique (Stacy, Alleman, Saylor 2011). Ce stress chronique pourrait provenir de conditions environnementales appauvries et/ou d'une maladie telle que la dermatose (Muñoz et al. 2013) ou la FP (Work et al. 2001 ; Sposato et al. 2021 ; Kophamel et al. 2022).

Les faibles valeurs du rapport H/L chez les tortues vertes de Martinique (~0,18) par rapport au rapport H/L observé à Taiwan, à l'est du Costa Rica ou en Australie suggèrent que les tortues vertes de Martinique présentent un faible stress physiologique. De plus, aucune différence significative n'a été observée concernant ce rapport H/L entre les deux sites étudiés, ce qui n'est pas surprenant étant donné qu'aucune différence marquée en termes de qualité de l'habitat ou de caractéristiques des populations de tortues vertes juvéniles n'a encore été signalée entre les deux sites (Siegwalt et al. 2022 ; Lelong et al. 2024). Toutefois, si aucune différence significative n'a été observée concernant ce rapport, on retrouve tout de même un nombre de tumeur significativement plus élevé sur le site ABAC que sur le site GA. De plus, la différence de pourcentage de tortues atteintes par rapport au nombre de tortues échantillonnées est saisissante : près d'une tortue sur deux est atteinte de tumeurs externes au niveau de l'aire d'alimentation ABAC, contre environ 30% pour GA.

Le statut sanitaire (présence/absence de signes cliniques de la FP) était un paramètre d'intérêt dans cette étude, mais aucune différence n'a été observée dans le nombre de leucocytes, le rapport H/L ou les valeurs d'hématocrite entre les tortues saines et malades. À l'inverse, un nombre conséquent d'études avaient déjà démontré un lien entre les signes cliniques de FP et les paramètres hématologiques. Les valeurs d'hématocrite étaient plus faibles chez les tortues atteintes à Taïwan et au Brésil (Zwarg et al. 2014 ; Li, Chang 2020). Les auteurs ont expliqué cette anémie liée à la FP par un volume d'érythrocytes et une concentration d'hémoglobine plus faibles, probablement dus à une carence en fer (Zwarg et al. 2014).

Il a été démontré que les effets négatifs de la FP sont plus forts chez les tortues présentant des signes cliniques sévères de la maladie, notamment sur les hématocrites (Work, Balazs 1999 ; Hirama et al. 2014) et sur les leucocytes, en particulier avec une lymphopénie, une hétérophilie et consécutivement un rapport H/L plus élevé (Work, Balazs 1999 ; Work et al. 2001). En Martinique, une proportion plus élevée d'hétérophiles a été démontrée uniquement pour les tortues présentant des valeurs élevées de TTA, ce qui peut démontrer en effet une réponse inflammatoire dans les cas sévères de FP.

Toutefois, l'effet limité de la FP observé dans notre étude pourrait s'expliquer principalement par la rareté des tortues gravement touchées ($n = 3$ tortues avec un TTA $> 100 \text{ cm}^2$) ce qui a probablement diminué la précision des estimations des paramètres sanguins pour les tortues très atteintes. Une conclusion similaire a été tirée au Brésil, où les tortues présentaient principalement de petites tumeurs (Zwarg et al. 2014).

Malgré le nombre d'études traitant de la FP et des paramètres hématologiques, la relation causale entre les deux reste floue. Plusieurs études semblent indiquer que l'altération des paramètres hématologiques est la conséquence de la maladie (Work et al. 2001 ; Perrault et al. 2021). D'autres études suggèrent que les conditions environnementales telles que la qualité de l'habitat ou la pollution pourraient avoir un effet délétère sur le système immunitaire des tortues vertes, ce qui faciliterait l'infection par le ChHV5 et le développement de tumeurs (Jones et al. 2016 ; Sposato et al. 2021). En effet, les herpesvirus oncogènes peuvent bénéficier d'une immunosuppression pour permettre le développement de tumeurs (Mistríková et al. 1999 ; Schwartz 2000 ; Ponticelli 2011). La présente étude n'a pas été conçue pour déterminer lequel de la FP ou du système immunitaire affaibli apparaît en premier, et d'autres études avec un plan expérimental spécifique sont donc nécessaires pour répondre à cette question scientifique complexe.

3.5.2 Analyses des matériels et méthodes utilisées

3.5.2.a Pertinence des sites et des animaux étudiés

Premièrement, le nombre de tortues intégrées à l'étude, bien que satisfaisant dans le court temps imparti lors des sessions de CMR, n'est pas suffisant. Les scientifiques s'accordent à dire que les méthodes statistiques traditionnellement utilisées dans la recherche sur la faune sauvage, sont mieux adaptées aux échantillons de grande taille ($n > 120$) (Moore et al. 2020; Kophamel et al. 2022). Pour obtenir plus d'individus, les sessions de CMR pourraient être réalisées sur une durée supérieure à la durée actuelle d'une semaine ou un deuxième équipage pourrait être affété. Dans les deux cas, des moyens personnels et financiers supplémentaires seraient nécessaires, ce qui n'est pas aisément réalisable.

De plus, le choix de n'évaluer que la partie Ouest de l'île a été effectué. La pertinence de ce choix pour évaluer la population de tortues vertes martiniquaise est discutable en termes de représentativité car tout un pan de l'île est omis. Cependant, capturer des individus provenant d'anses situées sur toute l'île nécessiterait une fois encore, du temps, du personnel et du matériel supplémentaire. De plus, les conditions environnementales sont souvent complexes (présence de sargasses, courants, façades rocheuse) pour accéder à la façade Est et aucune information sur les populations de tortues vertes n'est à ce jour connue pour cette partie de l'île (Liebart 2019). Les parties Sud et Ouest de l'île, en revanche, regorgent d'herbiers prisés par les tortues vertes (entre les Anses d'Arlet et Le Vauclin où ils s'étendaient en 2006 sur 3900 ha) (Sermage 2006).

Enfin, le nombre de tortues par site n'était pas suffisant pour pouvoir les comparer, certains sites n'étant représentés que par une, deux ou trois tortues. Cette sous-représentation de certains sites a mené au choix de ne comparer que les deux majeurs : ABAC et GA.

3.5.2.b Récolte des données

La récolte des échantillons sanguins a été réalisée via le sinus veineux sous-carapacial. Cependant, comme expliqué dans la partie 3.2.3, ce n'est pas le site de prélèvement à privilégier pour éviter le risque de lymphodilution. En effet, le plexus sous-carapacial n'est plus recommandé en raison d'effets indésirables courants, notamment cette lymphodilution, mais aussi la paralysie des membres postérieurs ou de la queue, les dysfonctions neurologiques ou encore une inflammation due à la proximité du site de prélèvement avec la moelle épinière (Innis, DeVoe 2010; Page-Karjian, Perrault 2021). Les sites à privilégier pour de tels prélèvements sont les jugulaires externes. Or, accéder à ces vaisseaux est difficile sur un animal vigile. Des protocoles anesthésiques permettent de s'affranchir de cet obstacle, seulement le temps nécessaire pour de telles procédures aurait rendu le nombre de tortues étudiées encore plus limité et l'anesthésie n'est pas sans risque non plus. De plus, la surveillance post-sédation d'animaux sauvages marins est délicate.

3.5.2.c Méthodes de comptage des leucocytes

Les leucocytes ont été comptés à l'aide de deux méthodes, comme expliqué précédemment : par comptage estimé et par comptage indirect. Or les résultats obtenus avec ces deux méthodes sont très différents avec pour certaines tortues plus de 100 000 leucocytes d'écart entre les deux méthodes.

Les résultats concernant les leucocytes n'ont donc pas été présentés car ils ne sont aucunement interprétables dans notre étude. Ces résultats parfois très éloignés entre les deux méthodes peuvent s'expliquer par des erreurs pré-analytiques (mauvaise conservation du sang, erreur dans le protocole), analytiques (faible expérience de certains manipulateurs, erreur de comptage, mauvaise zone de lecture) ou post-analytiques (erreurs de calcul, erreur de prise en compte d'une dilution).

Pour s'affranchir de certaines de ces erreurs et notamment des erreurs analytiques et post-analytiques, il pourrait être intéressant de réaliser ces numérations et ces formules sanguines à l'aide d'automates, comme c'est le cas en médecine vétérinaire canine. Cependant, il n'existe pour l'instant pas d'automates capables de faire le comptage des cellules sanguines de reptiles et d'oiseaux.

3.5.3 Importance de ce type d'étude

Cette étude se concentre particulièrement sur l'impact de la fibropapillomatose sur la santé individuelle des tortues vertes. La maîtrise des conséquences de la fibropapillomatose sur la santé des tortues vertes est cruciale pour plusieurs raisons, qui vont au-delà de la survie individuelle de ces animaux marins emblématiques. Cette maladie affecte non seulement la santé des tortues, mais aussi l'écosystème marin dans son ensemble. Voici quelques points clés qui soulignent l'importance d'une gestion rigoureuse de cette maladie.

3.5.3.a Impact sur la santé des tortues vertes à l'échelle individuelle et collective

A l'échelle individuelle, la maladie affecte les tortues de diverses manières :

- **Difficulté à se nourrir** : Les tumeurs sur la tête et les yeux réduisent leur capacité à voir et attraper leur nourriture. Cela les expose à la malnutrition et à un affaiblissement général.
- **Mouvement altéré** : Des tumeurs sur les nageoires rendent la nage difficile, ce qui augmente leur vulnérabilité face aux prédateurs et aux bateaux et leur difficulté à migrer ou à chercher des zones de ponte.
- **Infections secondaires** : Les tumeurs ouvertes ou nécrosantes sont souvent des portes d'entrée pour des infections bactériennes ou fongiques. Ces complications aggravent la détérioration de la santé des tortues. Selon Work et al. 2004 les tortues atteintes de fibropapillomatose montrent une plus grande susceptibilité aux infections et aux parasites, réduisant leur espérance de vie.

A l'échelle collective, les tortues vertes font l'objet de nombreux programmes de conservation dans toutes les régions du globe. L'étude de la fibropapillomatose est cruciale pour comprendre les menaces sanitaires pesant sur ces populations et pour orienter les actions de conservation. En identifiant les facteurs de risque environnementaux et en comprenant mieux les mécanismes de transmission du virus, les chercheurs pourraient développer des stratégies pour réduire l'impact de cette maladie sur les populations de tortues vertes.

3.5.3.b Impact sur les écosystèmes marins

La fibropapillomatose ne se limite pas à un problème de santé pour les tortues vertes, mais elle s'étend à l'ensemble des écosystèmes marins. Par conséquent, la gestion de cette maladie est cruciale pour préserver non seulement cette espèce en danger, mais aussi la santé globale des environnements marins. Cette espèce joue un rôle écologique essentiel en contrôlant la prolifération des herbiers marins. En se nourrissant d'herbes marines, elles contribuent à maintenir un équilibre dans la croissance des plantes et la structure de l'écosystème. Les tortues malades ou affaiblies par la fibropapillomatose réduisent la consommation de ces herbes, ce qui peut entraîner une croissance excessive des herbiers. Cela affecte à la fois les communautés de poissons et les récifs coralliens, qui dépendent d'un écosystème marin en équilibre.

3.5.3.c Indicateur de la dégradation environnementale

La fibropapillomatose est associée à des facteurs environnementaux. Bien que le virus soit le principal agent causal, des études ont montré que les tortues vivant dans des habitats dégradés, notamment des zones contaminées par les polluants agricoles, industriels, ou urbains, sont plus susceptibles de contracter la maladie. Cela suggère que la FP pourrait servir d'indicateur de la dégradation de la qualité de l'eau et de l'augmentation des polluants tels que les métaux lourds, les pesticides et les engrais agricoles qui favorisent la prolifération d'algues nuisibles, reliant la santé des tortues à la qualité des écosystèmes marins. Des travaux réalisés par Aguirre, Lutz 2004 ont mis en évidence le rôle des nutriments présents dans les eaux côtières en tant que facteurs aggravants de la FP, en lien avec les algues toxiques qui s'épanouissent dans des environnements pollués. L'étude approfondie des facteurs environnementaux abiotiques étiologiques peut donc fournir des informations précieuses sur la dégradation environnementale, renforçant ainsi les efforts globaux de conservation.

3.5.3.d Importance pour la conservation et la gestion des espèces

La lutte contre la fibropapillomatose est indispensable pour assurer le succès des efforts de conservation des tortues vertes. Les programmes de réhabilitation, qui visent à soigner et relâcher des tortues blessées ou malades dans leur habitat naturel, sont particulièrement affectés par cette maladie. Les tortues atteintes doivent souvent faire face à des traitements prolongés et à des soins intensifs, ce qui limite les ressources disponibles pour d'autres individus. De plus, même après traitement, la récurrence des tumeurs et l'incertitude quant à leur survie à long terme rendent la gestion de la maladie difficile. Le taux de survie et de reproduction des tortues atteintes est considérablement réduit, ce qui compromet la viabilité de ces programmes.

3.5.3.e Enjeux économiques et sociaux

La fibropapillomatose peut également avoir des conséquences économiques et sociales pour les communautés humaines dépendantes des écosystèmes marins, notamment les zones côtières où le tourisme écologique est centré sur les tortues. Le déclin des populations de tortues en raison de maladies peut entraîner une baisse des revenus touristiques.

3.5.4 Perspectives d'avenir

Cette étude repose sur des données récoltées à une date précise. Ces données ont pu être analysées et ont menés à de premières conclusions. Cependant, la fibropapillomatose est une maladie qui évolue dans le temps et l'espace. Pour suivre la maladie et continuer d'apprendre davantage sur ses causes, son mode d'action et ses conséquences, les suivis des tortues atteintes doivent être longitudinaux. En ce sens, les sessions de CMR sont un bon moyen d'évaluer l'impact de la maladie au fil du temps. Les données récoltées doivent être confrontées d'année en année pour évaluer la dynamique de la maladie, à la fois au sein de la population mais aussi au sein d'un même individu.

De plus, les études génétiques sur les tortues affectées par la FP pourraient permettre de mieux comprendre leur susceptibilité à la maladie. Des travaux sur les mécanismes immunitaires des tortues atteintes pourraient aussi permettre de déterminer pourquoi certaines tortues développent des tumeurs massives alors que d'autres n'en montrent que peu ou pas. Une meilleure compréhension des réponses immunitaires des tortues à cette maladie pourrait ouvrir la voie à des stratégies de traitement ciblées.

Par ailleurs, bien que la fibropapillomatose ne dispose actuellement d'aucun traitement standardisé, des recherches sur des méthodes de traitement chirurgicales et médicales sont en cours. L'avenir de la recherche pourrait se concentrer sur des traitements moins invasifs, comme l'utilisation d'antiviraux ou de thérapies géniques pour traiter ou prévenir l'apparition de tumeurs. En outre, des techniques de réhabilitation plus efficaces devront être développées pour augmenter les chances de survie des tortues après traitement.

Les efforts de conservation devront aussi se concentrer sur la restauration et la préservation des habitats marins. La réduction des polluants, la gestion des déchets agricoles et industriels, ainsi que la préservation des herbiers marins et des récifs coralliens sains sont des priorités essentielles. Des actions pour améliorer la qualité de l'eau et restaurer les habitats dégradés pourraient indirectement réduire la propagation de la FP.

Enfin, pour améliorer la compréhension de la fibropapillomatose, il est essentiel de poursuivre les collaborations interdisciplinaires qui impliquent des écologues, des vétérinaires, des virologistes et des spécialistes de l'environnement. Une surveillance accrue des populations de tortues, associée à des efforts de réhabilitation et à des mesures de gestion des écosystèmes côtiers, pourrait permettre de contrôler la prévalence de cette maladie.

Conclusion

Après avoir survécu à des millions d'années d'évolution et quelques extinctions massives, les tortues marines sont aujourd'hui plus menacées que jamais. La plupart des pressions qu'elles subissent sont directement (braconnage, captures accidentelles, choc avec les bateaux) ou indirectement (pollution, changement climatique, dégradation des habitats) liées aux activités humaines. Cependant, à ces pressions anthropiques s'ajoutent des menaces sanitaires comme la fibropapillomatose.

La fibropapillomatose est une maladie complexe dont l'étude présente un intérêt majeur non seulement pour la conservation des tortues vertes, mais aussi pour la santé des écosystèmes marins. Comprendre ses causes, ses impacts, et ses facteurs aggravants est essentiel pour élaborer des stratégies de gestion et de conservation efficaces. Cela permettrait de protéger ces animaux emblématiques et de garantir la viabilité de leurs habitats pour les générations futures.

Dans cet esprit d'améliorer la compréhension de cette maladie, cette thèse apporte un aperçu important des paramètres hématologiques des tortues vertes juvéniles saines et atteintes par cette maladie dans les aires d'alimentation de la Martinique. L'état de santé de ces tortues vertes immatures est encourageant par rapport à d'autres aires d'alimentation dans les Caraïbes et dans le monde, avec une faible valeur du rapport H/L et un effet limité de la FP sur les paramètres étudiés ici.

Des analyses plus approfondies d'écotoxicologie et d'évaluation de la qualité de l'environnement permettraient d'évaluer le rôle potentiel de ces facteurs de stress externes sur les paramètres hématologiques, qui n'a pas été exploré dans cette thèse. Compte tenu de ces perspectives, la poursuite du programme de capture-marquage-recapture sur les tortues vertes juvéniles sera donc essentielle pour collecter les données supplémentaires nécessaires. Ces futures études permettront de compléter la compréhension des conséquences de la maladie chez cette espèce.

Afin d'unir les efforts de recherche et les moyens logistiques, humains et financiers associés, Dupont et al. 2024 propose cinq axes de recherche à développer à l'échelle mondiale à court et moyen terme pour comprendre cette maladie. Plus

précisément, les auteurs recommandent d'augmenter le nombre d'études virologiques, les études sur la transmission, les études sur la contamination, les études génomiques de l'hôte et les tests de traitement vétérinaire. Ces connaissances pourront également être étendues aux autres espèces de tortues marines, à d'autres reptiles et à d'autres maladies de la faune sauvage.

Références bibliographiques

ABDERRAHMANE, Abdelkader, 2023. Exploitation des tortues marines en Afrique de l'Ouest. *ENACT Africa* [en ligne]. 2023. [Consulté le 20 août 2024]. Disponible à l'adresse : <https://enactafrica.org/enact-observer/exploitation-des-tortues-marines-en-afrique-de-louest>

ADNYANA, Windia, LADDS, P et BLAIR, David, 1997. Observations of fibropapillomatosis in green turtles (*Chelonia mydas*) in Indonesia. *Australian Veterinary Journal - AUST VET J.* 1 octobre 1997. Vol. 75, n° 10, pp. 737-742.

AGUIRRE, A. A. et BALAZS, G. H., 2000. Blood Biochemistry Values of Green Turtles, *Chelonia Mydas*, With and Without Fibropapillomatosis. *Comparative Haematology International.* Décembre 2000. Vol. 10, n° 3, pp. 132-137. DOI 10.1007/s005800070004.

AGUIRRE, A. Alonso, BALAZS, George H., SPRAKER, Terry R. et GROSS, Timothy S., 1995. Adrenal and Hematological Responses to Stress in Juvenile Green Turtles (*Chelonia mydas*) with and without Fibropapillomas. *Physiological Zoology.* Septembre 1995. Vol. 68, n° 5, pp. 831-854. DOI 10.1086/physzool.68.5.30163934.

AGUIRRE, A. Alonso et LUTZ, Peter L., 2004. Marine Turtles as Sentinels of Ecosystem Health: Is Fibropapillomatosis an Indicator? *EcoHealth.* Septembre 2004. Vol. 1, n° 3. DOI 10.1007/s10393-004-0097-3.

ARTHUR, Karen, MCMAHON, Kathryn, LIMPUS, Col et DENNISON, William, 2009. Feeding ecology of green turtles (*Chelonia mydas*) from Shoalwater Bay, Australia. *ECU Publications.* 1 janvier 2009. Vol. 123.

ASHFORD, Micah, WATLING, James I. et HART, Kristen, 2022. One Shell of a Problem: Cumulative Threat Analysis of Male Sea Turtles Indicates High Anthropogenic Threat for Migratory Individuals and Gulf of Mexico Residents. *Remote Sensing.* 11 août 2022. Vol. 14, n° 16, pp. 3887. DOI 10.3390/rs14163887.

BALLORAIN, Katia, BARRET, Mathieu, BOURJEA, Jérôme, CARPENTIER, Alice, CLARO, Françoise, CREMADES, Caroline, DALLEAU, Mayeul, MAZIÈRES, Jeanne, EVVA, Jolt, GAINETTE, Anaïs, GALGANI, François, DELPHINE, Gambaiani, GASPARD, Cécile, GIRARD, Alexandre, GIRONDOT, Marc, JEAN, Claire, KELLE, Laurent, KERANDEL, Julie-Anne, MAST, Roderic et SACCHI, Jacques. Sea Turtles Of The French Territories. *SWOT report - The State of the World's Sea Turtles.* 2018. Vol. 13, pp. 18-23.

BARNES, David K. A., GALGANI, François, THOMPSON, Richard C. et BARLAZ, Morton, 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.* 27 juillet 2009. Vol. 364, n° 1526, pp. 1985-1998. DOI 10.1098/rstb.2008.0205.

BENNETT, Peter, KEUPER-BENNETT, Ursula et BALAZS, George H., 1999. Photographic Evidence for the Regression of Fibropapillomas Afflicting Green Turtles at Honokowai, Maui, in the Hawaiian Islands. *19th Annual Sea Turtle Symposium*. South Padre Island, Texas, USA. 1999.

BENTIVEGNA, Flegra, 2013. Les tortues marines. *Institut océanographique de Monaco*. Juin 2013.

BENTON, M. J. (Michael J.), 2015. *When life nearly died : the greatest mass extinction of all time*. London : Thames & Hudson. ISBN 978-0-500-29193-1.

BERGMANN, Melanie, GUTOW, Lars et KLAGES, Michael (éd.), 2015. *Marine Anthropogenic Litter*. Cham : Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-16509-7.

BIAN, Jingqi, 2024. Impact of Plastic Pollution on Ocean and Control Measures. *Highlights in Science, Engineering and Technology*. Avril 2024. Vol. 91, pp. 19-24. DOI 10.54097/0tasjw31.

BOCOURT, M., 1868. Description de quelques chéloniens nouveaux appartenant à la faune mexicaine. *Annales des sciences naturelles*. Vol. 5. 1868.

BONOLA, Marc, GIRONDOT, Marc, ROBIN, Jean-Patrice, MARTIN, Jordan, SIEGWALT, Flora, JEANTET, Lorène, LELONG, Pierre, GRAND, Clément, CHAMBAULT, Philippine, ETIENNE, Denis, GRESSER, Julie, HIELARD, Gaëlle, ALEXANDRE, Arqué, RÉGIS, Sidney, NICOLAS, Lecerf, FROUIN, Cédric, LEFEBVRE, Fabien, SUTTER, Emmanuel, VEDIE, Fabien, BARNERIAS, Cyrille, LAURENT, Thieulle, BORDES, Robinson, GUIMERA, Christelle, AUBERT, Nathalie, BOUAZIZ, Myriam, PINSON, Adrien, FRÉDÉRIC, Flora, MATTHIEU, Duru, BENHALILOU, Abdelwahab, CÉLINE, Murgale, MAILLET, Thomas, ANDREANI, Lucas, CAMPISTRON, Guilhem, SIKORA, Maxym, RATEAU, Fabian, FRANCIS, George, JOFFREY, Eggenspieler, WOIGNIER, Thierry, ALLÉNOU, Jean-Pierre, LOUIS-JEAN, Laurent, CHANTEUR, Bénédicte, BÉRANGER, Christelle, CRILLON, Jessica, BRADOR, Aude, HABOLD, Caroline, LE MAHO, Yvon et CHEVALLIER, Damien, 2019. Fine scale geographic residence and annual primary production drive body condition of wild immature green turtles (*Chelonia mydas*) in Martinique Island (Lesser Antilles). *Biology Open*. 2019. Vol. 8. DOI 10.1242/bio.048058.

BRUNNER, Carlos Henrique Maciel, DUTRA, Gustavo, SILVA, Caroline Brunelli, SILVEIRA, Lucia Maria Guedes et MONTEIRO MARTINS, Maria De Fátima, 2014. ELECTROCHEMOTHERAPY FOR THE TREATMENT OF FIBROPAPILLOMAS IN *CHELONIA MYDAS*. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. Juin 2014. Vol. 45, n° 2, pp. 213-218. DOI 10.1638/2010-0125.1.

BURGETT, Claire M, 2018. Ontogenetic diet shifts of green sea turtles (*Chelonia mydas*) in a mid-ocean developmental habitat. *Marine Biology*. 2018. Vol. 165, n°33. DOI 10.1007/s00227-018-3290-6

BURKHOLDER, Derek, HEITHAUS, Michael, THOMSON, Jordan et FOURQUREAN, James, 2011. Diversity in trophic interactions of green sea turtles (*Chelonia mydas*) on a relatively pristine coastal foraging ground. *Marine Ecology Progress Series*. Octobre 2011. Vol. 439, pp. 277-293. DOI 10.3354/meps09313.

CADENA, Edwin A et PARHAM, James F, 2015. Oldest known marine turtle? A new protostegid from the Lower Cretaceous of Colombia. *PaleoBios*. Septembre 2015. Vol. 32. DOI 10.5070/P9321028615.

CAMPBELL, Terry, 2006. Clinical Pathology of Reptiles. *Reptile medicine and surgery*. pp. 453-470. ISBN 978-0-7216-9327-9. DOI 10.1016/B0-72-169327-X/50032-8

CAMPBELL, Terry W, 2015. Exotic Animal Hematology and Cytology. 2015. DOI 10.1002/9781118993705

Canadian Council of Animal Care. CCAC guidelines: Reptiles. [en ligne] Mars 2022. [Consulté le 15 Mai 2024]. Disponible à l'adresse : https://ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/CCAC_Guidelines-Reptiles.pdf

CARACAPPA, Santo, PERSICHETTI, Maria Flaminia, PIAZZA, Antonio, CARACAPPA, Giulia, GENTILE, Antonino, MARINEO, Sandra, CRUCITTI, Daniela et ARCULEO, Marco, 2018. Incidental catch of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) along the Sicilian coasts by longline fishery. *PeerJ*. Août 2018. Vol. 6, pp. e5392. DOI 10.7717/peerj.5392.

CARMEL, BP, 2004. Medicine and Surgery of Tortoises and Turtles. *Australian Veterinary Journal - AUST VET J*. Août 2004. Vol. 82, pp. 503-503. DOI 10.1111/j.1751-0813.2004.tb11170.x.

CARPIO CAMARGO, Antonio José, ÁLVAREZ GUTIÉRREZ, Yamel, JARAMILLO VÉLIZ, Julio et SÁNCHEZ TORTOSA, Francisco, 2020. Nesting failure of sea turtles in Ecuador - causes of the loss of sea turtle nests: the role of the tide. *Journal of Coastal Conservation*. Octobre 2020. Vol. 24, n° 5, pp. 55. DOI 10.1007/s11852-020-00775-3.

CARR, Archie. — Handbook of Turtles. The Turtles of the United States, Canada and Baja California. Ithaca, Comstock Publishing Associates. *La Terre et La Vie, Revue d'Histoire naturelle*, tome 6, n°2, 1952. p. 115.

CASALE, Paolo, 2011. Sea turtle by-catch in the Mediterranean: Sea turtle by-catch in the Mediterranean. *Fish and Fisheries*. Septembre 2011. Vol. 12, n° 3, pp. 299-316. DOI 10.1111/j.1467-2979.2010.00394.x.

CASSILL, Deby L. et WATKINS, Alison, 2022. Nest-site choice by loggerhead sea turtles as a risk-management adaptation to offset hatching failure by unpredictable storms and predators. *Frontiers in Ecology and Evolution*. Décembre 2022. Vol. 10, pp. 850091. DOI 10.3389/fevo.2022.850091.

CASTILLO-VISA, Oscar, LUJÁN, Àngel H, GALOBART, Àngel et SELLÉS, Albert, 2022. A gigantic bizarre marine turtle (Testudines: Chelonioidae). *Scientific Reports*. Novembre 2022. Vol. 12, n°1. DOI 10.1038/s41598-022-22619-w

CASTRO, Lyda R., VILLALBA-VISCAÍNO, Vivian, OVIEDO, Ángel, ZAMBRANO, Edgar, DÁVILA, Angela, NARANJO, Gualberto, ORO-GENES, Blanca De, COMBATT, Anthony, PRIETO-RODRÍGUEZ, Julieth, ORTIZ, Arnaldo et VILLAMIZAR, Natalia, 2024. Case report: Diagnosis and autogenous vaccine treatment of herpesvirus in a green turtle (*Chelonia mydas*) in Santa Marta, Colombia. *Frontiers in Veterinary Science*. Janvier 2024. Vol. 11, pp. 1258209. DOI 10.3389/fvets.2024.1258209.

CHALLENGER, Daniel W. S. et MACMILLAN, Douglas C., 2014. Poaching is more than an Enforcement Problem. *Conservation Letters*. Septembre 2014. Vol. 7, n° 5, pp. 484-494. DOI 10.1111/conl.12082.

CHALOUPKA, Milani, BALAZS, George H. et WORK, Thierry M., 2009. Rise and Fall over 26 Years of a Marine Epizootic in Hawaiian Green Sea Turtles. *Journal of Wildlife Diseases*. Octobre 2009. Vol. 45, n° 4, pp. 1138-1142. DOI 10.7589/0090-3558-45.4.1138.

CHAMBAULT, Philippine, DE THOISY, Benoît, HUGUIN, Maïlis, MARTIN, Jordan, BONOLA, Marc, ETIENNE, Denis, GRESSER, Julie, HIÉLARD, Gaëlle, MAILLES, Julien, VÉDIE, Fabien, BARNERIAS, Cyrille, SUTTER, Emmanuel, GUILLEMOT, Blandine, DUMONT-DAYOT, Émilie, RÉGIS, Sidney, LECERF, Nicolas, LEFEBVRE, Fabien, FROUIN, Cédric, AUBERT, Nathalie, GUIMERA, Christelle, BORDES, Robinson, THIEULLE, Laurent, DURU, Matthieu, BOUAZIZ, Myriam, PINSON, Adrien, FLORA, Frédéric, QUENEHERVE, Patrick, WOIGNIER, Thierry, ALLENOU, Jean-Pierre, CIMITERRA, Nicolas, BENHALILOU, Abdelwahab, MURGALE, Céline, MAILLET, Thomas, RANGON, Luc, CHANTEUX, Noémie, CHANTEUR, Bénédicte, BÉRANGER, Christelle, LE MAHO, Yvon, PETIT, Odile et CHEVALLIER, Damien, 2018. Connecting paths between juvenile and adult habitats in the Atlantic green turtle using genetics and satellite tracking. *Ecology and Evolution*. Décembre 2018. Vol. 8, n° 24, pp. 12790-12802. DOI 10.1002/ece3.4708.

CHEVALLIER, Damien, MAUCOURT, Léo, CHARRIER, Isabelle, LELONG, Pierre, MENUT, Eric, WALLACE, Bryan, DELVENNE, Cyrielle, VINCZE, Orsolya, JEANTET, Lorène, GIRONDOT, Marc, MARTIN, Jordan, BOURGEOIS, Ouvéa, LEPORI, Muriel, FOURNIER, Pascal, FOURNIER-CHAMBRILLON, Christine, RÉGIS, Sidney, LECERF, Nicolas, LEFEBVRE, Fabien, AUBERT, Nathalie, NICOLAS, Moulancier, BURG, Marie-Clémence, CHEVALLIER, Pascale, CHEVALLIER, Tao, LANDREAU, Antony, MESLIER, Stéphane, LARCHER, Eugène et MAHO, Yvon Le, 2024. The response of sea turtles to vocalizations opens new perspectives to reduce their bycatch. *Scientific Reports*. Juillet 2024. Vol. 14, n° 16519. DOI 10.1038/s41598-024-67501-z.

CHITTY, John et RAFTERY, Aidan, 2013. *Essentials of Tortoise Medicine and Surgery*. John Wiley & Sons. Septembre 2013. 359 pages. ISBN 978-1-4051-9544-7.

CITES. Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora [en ligne]. 1973. [Consulté le 16 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://cites.org/sites/default/files/eng/disc/CITES-Convention-EN.pdf>

COE, J.M. et ROGERS, D.B., 1997. Marine debris: sources, impacts, and solutions. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. Août 1997. Vol. 77, n° 3, pp. 917-917. DOI 10.1017/S0025315400036341.

COLFERAI, André S., SILVA-FILHO, Rodolfo Pinho, MARTINS, Aryse Moreira et BUGONI, Leandro, 2017. Distribution pattern of anthropogenic marine debris along the gastrointestinal tract of green turtles (*Chelonia mydas*) as implications for rehabilitation. *Marine Pollution Bulletin*. Juin 2017. Vol. 119, n° 1, pp. 231-237. DOI 10.1016/j.marpolbul.2017.03.053.

CULLEN-UNSWORTH, Leanne Claire, JONES, Benjamin Lawrence, LILLEY, Richard et UNSWORTH, Richard K. F., 2018. Secret Gardens Under the Sea: What are Seagrass Meadows and Why are They Important? *Frontiers for Young Minds*. Février 2018. Vol. 6, pp. 2. DOI 10.3389/frym.2018.00002.

DASZAK, Peter, CUNNINGHAM, Andrew A. et HYATT, Alex D., 2000. Emerging Infectious Diseases of Wildlife-- Threats to Biodiversity and Human Health. *Science*. Janvier 2000. Vol. 287, n° 5452, pp. 443-449. DOI 10.1126/science.287.5452.443.

DAVIS, A.K., MANEY, D.L. et MAERZ, John, 2008. The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: A review for ecologists. *Functional Ecology*. Octobre 2008. Vol. 22, pp. 760-772. DOI 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x.

DIVERS, S.J. et STAHL, S.J., 2019. *Mader's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery*. ISBN 978-0-323-48253-0.

DONNELLY, Kyle A., PAPICH, Mark G., ZIRKELBACH, Bette, NORTON, Terry, SZIVEK, Anna, BURKHALTER, Brooke, IMPELLIZERI, Joseph A. et STACY, Nicole I., 2019. Plasma Bleomycin Concentrations during Electrochemotherapeutic Treatment of Fibropapillomas in Green Turtles *Chelonia mydas*. *Journal of Aquatic Animal Health*. Juin 2019. Vol. 31, n° 2, pp. 186-192. DOI 10.1002/aah.10067.

DRAKE, K. Kristina, BOWEN, Lizabeth, LEWISON, Rebecca L., ESQUE, Todd C., NUSSEAR, Kenneth E., BRAUN, Josephine, WATERS, Shannon C. et MILES, A. Keith, 2017. Coupling gene-based and classic veterinary diagnostics improves interpretation of health and immune function in the Agassiz's desert tortoise (*Gopherus agassizii*). *Conservation Physiology*. Janvier 2017. Vol. 5, n° 1, pp. cox037. DOI 10.1093/conphys/cox037.

DUFFY, David J. et MARTINDALE, Mark Q., 2019. Perspectives on the expansion of human precision oncology and genomic approaches to sea turtle fibropapillomatosis. *Communications Biology*. Février 2019. Vol. 2, n° 1, pp. 1-5. DOI 10.1038/s42003-019-0301-1.

DUFFY, David J., SCHNITZLER, Christine, KARPINSKI, Lorraine, THOMAS, Rachel, WHILDE, Jenny, EASTMAN, Catherine, YANG, Calvin, KRSTIC, Aleksandar, ROLLINSON, Devon, ZIRKELBACH, Bette, YETSKO, Kelsey, BURKHALTER, Brooke et MARTINDALE, Mark Q., 2018. Sea turtle fibropapilloma tumors share genomic drivers and therapeutic vulnerabilities with human cancers. *Communications Biology*. Juin 2018. Vol. 1, n° 1, pp. 63. DOI 10.1038/s42003-018-0059-x.

DUJON, Antoine M., SCHOFIELD, Gail, VENEGAS, Roberto M., THOMAS, Frédéric et UJVARI, Beata, 2021. Sea Turtles in the Cancer Risk Landscape: A Global Meta-Analysis of Fibropapillomatosis Prevalence and Associated Risk Factors. *Pathogens*. Octobre 2021. Vol. 10, n° 10, pp. 1295. DOI 10.3390/pathogens10101295.

DUPONT, Sophie M., BUSTAMANTE, Paco, DUFFY, David J., FORT, Jérôme, LE LOC'H, Guillaume, LELONG, Pierre, CHEVALLIER, Damien et GIRAUDEAU, Mathieu, 2024. Future research avenues for the study of fibropapillomatosis in sea turtles. *Frontiers in Ecology and Evolution*. Juillet 2024. Vol. 12, pp. 1372096. DOI 10.3389/fevo.2024.1372096.

ENE, Ada, SU, Mei, LEMAIRE, Shafali, ROSE, Corinne, SCHAFF, Susan, MORETTI, Richie, LENZ, Jack et HERBST, Lawrence H., 2005. DISTRIBUTION OF CHELONID FIBROPAPILLOMATOSIS-ASSOCIATED HERPESVIRUS VARIANTS IN FLORIDA: MOLECULAR GENETIC EVIDENCE FOR INFECTION OF TURTLES FOLLOWING RECRUITMENT TO NERITIC DEVELOPMENTAL HABITATS. *Journal of Wildlife Diseases*. Juillet 2005. Vol. 41, n° 3, pp. 489-497. DOI 10.7589/0090-3558-41.3.489.

ERNST, C.H. et BARBOUR, R.W., Turtles of the World. Smithsonian Institution Press, Washington & London, 1989. In: *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)*, tome 45, n°2, 1990. p. 184.

ESPERANZA, Aurora, MARTÍNEZ, Alejandro, TUZ, Miriam et PEREZ-COLLAZOS, Ernesto, 2017. Are anthropogenic factors affecting nesting habitat of sea turtles? The case of Kanzul beach, Riviera Maya-Tulum (Mexico). *Journal of Coastal Conservation*. Février 2017. Vol. 21. DOI 10.1007/s11852-016-0473-5.

ESTEBAN, Nicole, 2020. A global review of green turtle diet: sea surface temperature as a potential driver of omnivory levels. *Marine Biology*. Novembre 2020. Vol. 167, n°12. DOI 10.1007/s00227-020-03786-8.

FARRELL, Jessica A., YETSKO, Kelsey, WHITMORE, Liam, WHILDE, Jenny, EASTMAN, Catherine B., RAMIA, Devon Rollinson, THOMAS, Rachel, LINSER, Paul, CREER, Simon, BURKHALTER, Brooke, SCHNITZLER, Christine et DUFFY, David J., 2021. Environmental DNA monitoring of oncogenic viral shedding and genomic profiling of sea turtle fibropapillomatosis reveals unusual viral dynamics. *Communications Biology*. Mai 2021. Vol. 4, n° 1, pp. 565. DOI 10.1038/s42003-021-02085-2.

FARRELL, Jessica, WHITMORE, Liam, MASHKOUR, Narges, RAMIA, Devon, THOMAS, Rachel, EASTMAN, Catherine, BURKHALTER, Brooke, YETSKO, Kelsey, MOTT, Cody, WOOD, Larry, ZIRKELBACH, Bette, MEERS, Lucas, KLEINSASSER, Pat, STOCK, Sharon, LIBERT, Elizabeth, HERREN, Richard, EASTMAN, Scott, CROWDER, Whitney, BOVERY, Caitlin et DUFFY, David, 2022. Detection and population genomics of sea turtle species via non-invasive environmental DNA analysis of nesting beach sand tracks and oceanic water. *Molecular Ecology Resources*. Avril 2022. Vol. 22. DOI 10.1111/1755-0998.13617.

FISHER, Matthew C. et GARNER, Trenton W. J., 2020. Chytrid fungi and global amphibian declines. *Nature Reviews Microbiology*. Juin 2020. Vol. 18, n° 6, pp. 332-343. DOI 10.1038/s41579-020-0335-x.

FOLEY, Allen M., SCHROEDER, Barbara A., REDLOW, Anthony E., FICK-CHILD, Kristin J. et TEAS, Wendy G., 2005. FIBROPAPILLOMATOSIS IN STRANDED GREEN TURTLES (*CHELONIA MYDAS*) FROM THE EASTERN UNITED STATES (1980–98): TRENDS AND ASSOCIATIONS WITH ENVIRONMENTAL FACTORS. *Journal of Wildlife Diseases*. Janvier 2005. Vol. 41, n° 1, pp. 29-41. DOI 10.7589/0090-3558-41.1.29.

GALGANI, François, FLEET, David, VAN FRANEKER, Jan, KATSANEVAKIS, Stelios, MAES, Thomas, J, Mouat, L, Oosterbaan, POITOU, I., HANKE, Georg, R, Thompson, AMATO, Ezio, A, Birkun et JANSSEN, Colin, 2010. *Marine Strategy Framework Directive: Task Group 10 Report Marine litter*. ISBN 978-92-79-15653-3.

GALL, Sarah et THOMPSON, R.C., 2015. The impact of debris on marine life. *Marine pollution bulletin*. Février 2015. Vol. 92. DOI 10.1016/j.marpolbul.2014.12.041.

GARCÊS, Andreia et PIRES, Isabel, 2022. Fibropapillomatosis on Sea Turtles, a Sentinel of Ecosystem Health? *Environmental sciences proceedings*. Octobre 2022. pp. 1. Vol. 24, n°1. DOI 10.3390/ECERPH-4-13096

GENTRY, Andrew, Dissertation, University of Alabama in Birmingham, 2020. The non-protostegid Cretaceous marine turtles of Alabama and their bearing on the evolution of extant chelonioids. 269p.

GENTRY, Andrew D., 2018. *Prionochelys matutina* Zangerl, 1953 (Testudines: Pan-Cheloniidae) from the Late Cretaceous of the United States and the evolution of epithelial ossifications in marine turtles. *PeerJ*. Novembre 2018. Vol. 6, pp. e5876. DOI 10.7717/peerj.5876.

GILMAN, Eric, GEARHART, Jeff, PRICE, Blake, ECKERT, Scott, MILLIKEN, Henry, WANG, John, SWIMMER, Yonat, SHIODE, Daisuke, ABE, Osamu, HOYT PECKHAM, S., CHALOUPKA, Milani, HALL, Martin, MANGEL, Jeff, ALFARO-SHIGUETO, Joanna, DALZELL, Paul et ISHIZAKI, Asuka, 2010. Mitigating sea turtle by-catch in coastal passive net fisheries. *Fish and Fisheries*. Mars 2010. Vol. 11, n° 1, pp. 57-88. DOI 10.1111/j.1467-2979.2009.00342.x.

GOESSLING, Jeffrey, BEASLEY, Heather, MENDONCA, Mary et WILSON, Alan, 2015. A meta-analysis of plasma corticosterone and heterophil:lymphocyte ratios- Is there conservation of physiological stress responses over time? *Functional Ecology*. Mars 2015. Vol. 29. DOI 10.1111/1365-2435.12442.

GOTTDENKER, N. L. et JACOBSON, E. R., 1995. Effect of venipuncture sites on hematologic and clinical biochemical values in desert tortoises (*Gopherus agassizii*). *American Journal of Veterinary Research*. Janvier 1995. Vol. 56, n° 1, pp. 19-21.

GREENBLATT, Rebecca J, WORK, Thierry M, BALAZS, George H, SUTTON, Claudia A, CASEY, Rufina N et CASEY, James W, 2004. The Ozobranchus leech is a candidate mechanical vector for the fibropapilloma-associated turtle herpesvirus found latently infecting skin tumors on Hawaiian green turtles (*Chelonia mydas*). *Virology*. Mars 2004. Vol. 321, n° 1, pp. 101-110. DOI 10.1016/j.virol.2003.12.026.

HALPERN, Benjamin S., FRAZIER, Melanie, POTAPENKO, John, CASEY, Kenneth S., KOENIG, Kellee, LONGO, Catherine, LOWNDES, Julia Stewart, ROCKWOOD, R. Cotton, SELIG, Elizabeth R., SELKOE, Kimberly A. et WALBRIDGE, Shaun, 2015. Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications*. Juillet 2015. Vol. 6, n° 1, pp. 7615. DOI 10.1038/ncomms8615.

HARDEN, Leigh Anne, FERNANDEZ, Jennifer, MILANOVICH, Joseph R., STRUECKER, Brock P. et MIDWAY, Stephen R., 2018. Blood Biochemical Reference Intervals for Wild Ornate Box Turtles (*Terrapene ornata*) during the Active Season. *Journal of Wildlife Diseases*. Mars 2018. Vol. 54, n° 3, pp. 587-591. DOI 10.7589/2017-09-222.

HAYS, Graeme C., CERRITELLI, Giulia, ESTEBAN, Nicole, RATTRAY, Alex et LUSCHI, Paolo, 2020. Ocean Reorientation and Challenges of Island Finding by Sea Turtles during Long-Distance Migration. *Current Biology*. Août 2020. Vol. 30, n° 16, pp. 3236- 3242.e3. DOI 10.1016/j.cub.2020.05.086.

HAYS, Graeme C et SCOTT, Rebecca, 2013. Global patterns for upper ceilings on migration distance in sea turtles and comparisons with fish, birds and mammals. *Functional Ecology*. Juin 2013. Vol. 27, n°3, pp. 748-756. DOI 10.1111/1365-2435.12073.

HEITHAUS, Michael, ALCOVERRO, Teresa, ARTHUR, Rohan, BURKHOLDER, Derek, COATES, Kathryn, CHRISTIANEN, Marjolijn, KELKAR, Nachiket, MANUEL, Sarah, WIRSING, Aaron, KENWORTHY, W. et FOURQUREAN, James, 2014. Seagrasses in the age of sea turtle conservation and shark overfishing. *Frontiers in Marine Science*. Août 2014. Vol. 1, pp. 10.3389/fmars.2014.00028. DOI 10.3389/fmars.2014.00028.

HERBST, Larry, ENE, Ada, SU, Mei, DESALLE, Rob et LENZ, Jack, 2004. Tumor outbreaks in marine turtles are not due to recent herpesvirus mutations. *Current Biology*. Septembre 2004. Vol. 14, n° 17, pp. R697-R699. DOI 10.1016/j.cub.2004.08.040.

HERBST, Lawrence H., 1994. Fibropapillomatosis of marine turtles. *Annual Review of Fish Diseases*. Janvier 1994. Vol. 4, pp. 389-425. DOI 10.1016/0959-8030(94)90037-X.

HIRAMA, Shigetomo, EHRHART, Llewellyn, REA, Lorrie et KILTIE, Richard, 2014. Relating fibropapilloma tumor severity to blood parameters in green turtles *Chelonia mydas*. *Diseases of aquatic organisms*. Août 2014. Vol. 111, pp. 61-68. DOI 10.3354/dao02765.

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

HOWELL RAMIREZ, Priscilla, MENESES, Ana, SUÁREZ-ESQUIVEL, Marcela, CHAVES, Andrea, CHACON, Didiher et BLANCO-PEÑA, Kinndle, 2021. Blood parameters of the Eastern Pacific green turtle (*Chelonia mydas*) foraging in the Golfo Dulce, Costa Rica. *Comparative Clinical Pathology*. Octobre 2021. Vol. 30. DOI 10.1007/s00580-021-03274-5.

HUGHES, Terry P., HUANG, Hui et YOUNG, Matthew A. L., 2013. The wicked problem of China's disappearing coral reefs. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*. avril 2013. Vol. 27, n° 2, pp. 261-269. DOI 10.1111/j.1523-1739.2012.01957.x.

INNIS, Charles et DEVOE, Ryan, 2010. A CALL FOR ADDITIONAL STUDY OF THE SAFETY OF SUBCARAPACIAL VENIPUNCTURE IN CHELONIANS. *Proceedings Association of Reptilian and Amphibian Veterinarians*. 2010.

IUCN, 2024. The IUCN Red List of Threatened Species. *IUCN Red List of Threatened Species* [en ligne]. 2024. [Consulté le 16 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.iucnredlist.org/fr>

JONES, K., ARIEL, E., BURGESS, G. et READ, M., 2016. A review of fibropapillomatosis in Green turtles (*Chelonia mydas*). *The Veterinary Journal*. Juin 2016. Vol. 212, pp. 48-57. DOI 10.1016/j.tvjl.2015.10.041.

JOYCE, Walter, 2009. Phylogenetic Relationships of Mesozoic Turtles. *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History*. Janvier 2009. Vol. 48, pp. 3-102. DOI 10.3374/0079-032X(2007)48[3:PROMT]2.0.CO;2.

KIBRIA, Md. Golam, MASUK, Nahid Imtiaz, SAFAYET, Rafat, NGUYEN, Huy Quoc et MOURSHED, Monjur, 2023. Plastic Waste: Challenges and Opportunities to Mitigate Pollution and Effective Management. *International Journal of Environmental Research*. Janvier 2023. Vol. 17, n° 1, pp. 20. DOI 10.1007/s41742-023-00507-z.

KOPHAMEL, Sara, RUDD, Donna, WARD, Leigh C, SHUM, Edith, ARIEL, Ellen, MENDEZ, Diana, STARLING, Jemma, MELLERS, Renee, BURCHELL, Richard K et MUNNS, Suzanne L, 2022. Haematological and biochemical reference intervals for wild green turtles (*Chelonia mydas*): a Bayesian approach for small sample sizes. *Conservation Physiology*. Janvier 2022. Vol. 10, n° 1, pp. coac043. DOI 10.1093/conphys/coac043.

KOT, Connie Y., BOUSTANY, Andre M. et HALPIN, Patrick N., 2010. Temporal patterns of target catch and sea turtle bycatch in the US Atlantic pelagic longline fishing fleet. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Janvier 2010. Vol. 67, n° 1, pp. 42-57. DOI 10.1139/F09-160.

LAVELLE, Aileen, 2023. Anthropogenic effects on Loggerhead Turtle nest success and predation in the Gulf of Mexico. *Herpetological Conservation and Biology*. Décembre 2023. Vol. 18, n°3, pp. 450-463.

LELONG, Pierre, BESNARD, Aurélien, GIRONDOT, Marc, HABOLD, Caroline, PRIAM, Fabienne, GIRAUDEAU, Mathieu, LE LOC'H, Guillaume, LE LOC'H, Aurélie, FOURNIER, Pascal, FOURNIER-CHAMBRILLON, Christine, BUSTAMANTE, Paco, DUPONT, Sophie M., VINCZE, Orsolya, GROS-DESORMEAUX, Jean-Raphaël, MARTIN, Jordan, BOURGEOIS, Ouvéa, LEPORI, Muriel, RÉGIS, Sidney, LECERF, Nicolas, LEFEBVRE, Fabien, AUBERT, Nathalie, FROUIN, Cédric, FLORA, Frédéric, PIMENTEL, Esteban, PIMENTEL, Manon, SIEGWALT, Flora, JEANTET, Lorène, CHAMBAULT, Philippine, HIELARD, Gaëlle, ARQUÉ, Alexandre, ARTHUS, Mosiah, LOUIS-JEAN, Laurent, BRADOR, Aude, GIANNASI, Paul, ETIENNE, Denis, LECERF, Nathaël, CHEVALLIER, Pascale, CHEVALLIER, Tao, MESLIER, Stéphane, LANDREAU, Anthony, MACENO, Myriane, LARCHER, Eugène, LE MAHO, Yvon et CHEVALLIER, Damien, 2024. Demography of endangered juvenile green turtles in face of environmental changes: 10 years of capture-mark-recapture efforts in Martinique. *Biological Conservation*. Mars 2024. Vol. 291, pp. 110471. DOI 10.1016/j.biocon.2024.110471.

LEWISON, Rebecca, CROWDER, Larry et SHAVER, Donna, 2003. The Impact of Turtle Excluder Devices and Fisheries Closures on Loggerhead and Kemp's Ridley Strandings in the Western Gulf of Mexico. *Conservation Biology*. Août 2003. Vol. 17, pp. 1089-1097. DOI 10.1046/j.1523-1739.2003.02057.x.

LEWISON, Rebecca, WALLACE, Bryan, ALFARO SHIGUETO, Joanna, MANGEL, Jeffrey, MAXWELL, Sara et HAZEN, Elliott, 2013. Fisheries bycatch of marine turtles: lessons learned from decades of research and conservation. *Biology of sea turtles*. pp. 329-352.

LI, Chun, WU, Xiao-Chun, RIEPPEL, Olivier, WANG, Li-Ting et ZHAO, Li-Jun, 2008. An ancestral turtle from the Late Triassic of southwestern China. *Nature*. Novembre 2008. Vol. 456, n° 7221, pp. 497-501. DOI 10.1038/nature07533.

LI, Tsung-Hsien et CHANG, Chao-Chin, 2020. The impact of fibropapillomatosis on clinical characteristics, blood gas, plasma biochemistry, and hematological profiles in juvenile green turtles (*Chelonia mydas*). *Bulletin of Marine Science*. Octobre 2020. Vol. 96. DOI 10.5343/bms.2019.0120.

LIEBART, Manon, 2019. Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. Photo-identification des tortues vertes (*Chelonia mydas*) et son application dans l'indice d'abondance ou de fidélité aux sites d'alimentation en Martinique. 99p.

LOHMANN, K J, LUSCHI, P et HAYS, G C, 2008. Goal navigation and island-finding in sea turtles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Mars 2008. Vol. 356, n°1-2, pp. 83-95. DOI 10.1016/j.jembe.2007.12.017

LOHMANN, Kenneth J. et FITTINGHOFF LOHMANN, Catherine M., 1992. Orientation to Oceanic Waves by Green Turtle Hatchlings. *Journal of Experimental Biology*. Octobre 1992. Vol. 171, n° 1, pp. 1-13. DOI 10.1242/jeb.171.1.1.

LÓPEZ-OLVERA, Jorge Ramón, MONTANÉ, Jordi, MARCO, Ignasi, MARTÍNEZ-SILVESTRE, Albert, SOLER, Joaquim et LAVÍN, Santiago, 2003. EFFECT OF VENIPUNCTURE SITE ON HEMATOLOGIC AND SERUM BIOCHEMICAL PARAMETERS IN MARGINATED TORTOISE (*TESTUDO MARGINATA*). *Journal of Wildlife Diseases*. Octobre 2003. Vol. 39, n° 4, pp. 830-836. DOI 10.7589/0090-3558-39.4.830.

LU, Yuanan, YU, Qigui, ZAMZOW, Jill P., WANG, Yun, LOSEY, George S., BALAZS, George H., NERURKAR, Vivek R. et YANAGIHARA, Richard, 2000. Detection of Green Turtle Herpesviral Sequence in Saddleback Wrasse *Thalassoma duperrey*: A Possible Mode of Transmission of Green Turtle Fibropapilloma. *Journal of Aquatic Animal Health*. Mars 2000. Vol. 12, n° 1, pp. 58-63. DOI 10.1577/1548-8667(2000)012<0058:DOGTHS>2.0.CO;2.

LUTZ, Peter L., CRAY, Carolyn, et SPOSATO, Patricia L. *Studies of the association between immunosuppression and fibropapillomatosis within three habitats of Chelonia mydas*. Honolulu Laboratory, Southwest Fisheries Science Center, National Marine Fisheries Service, NOAA, 2001.

LUTZ, Peter L. et MUSICK, John A., 1997. *The biology of sea turtles. 1*. Boca Raton, Fla : CRC Press. CRC marine science series. ISBN 978-0-8493-8422-6.

LUTZ, Peter L., MUSICK, John A. et WYNEKEN, Jeanette (éd.), 2002. Variation in Sea Turtle Life History Patterns: Neritic vs. Oceanic Developmental Stages. *The Biology of Sea Turtles, Volume II*. pp. 295-310. ISBN 978-0-429-11829-6.

MACHADO GUIMARÃES, S, MAS GITIRANA, H, VIDAL WANDERLEY, A, MONTEIRO-NETO, C et LOBO-HAJDU, G, 2013. Evidence of regression of fibropapillomas in juvenile green turtles *Chelonia mydas* caught in Niterói, southeast Brazil. *Diseases of Aquatic Organisms*. Février 2013. Vol. 102, n° 3, pp. 243-247. DOI 10.3354/dao02542.

MANES, Costanza, HERREN, Richard M., PAGE, Annie, DUNLAP, Faith D., SKIBICKI, Christopher A., ROLLINSON RAMIA, Devon R., FARRELL, Jessica A., CAPUA, Ilaria, CARTHY, Raymond R. et DUFFY, David J., 2023. Green Turtle Fibropapillomatosis: Tumor Morphology and Growth Rate in a Rehabilitation Setting. *Veterinary Sciences*. Juin 2023. Vol. 10, n° 7, pp. 421. DOI 10.3390/vetsci10070421.

MISTRÍKOVÁ, Jela, MRMUSOVÁ, MIROSLAVA, DURMANOVA, Vladimira et RAJČÁNI, Július, 1999. Increased Neoplasm Development Due to Immunosuppressive Treatment with FK-506 in BALB/C Mice Persistently Infected with the Mouse Herpesvirus (MHV-72). *Viral immunology*. Février 1999. Vol. 12, pp. 237-47. DOI 10.1089/vim.1999.12.237.

MOORE, A Russell, CAMUS, Melinda S., HARR, Kendal, KJELGAARD-HANSEN, Mads, KORCHIA, Jeremie, JEFFERY, Unity, PALTRINIERI, Saverio, PRATT, Suzanne M. et SZLADOVITS, Balazs, 2020. SYSTEMATIC EVALUATION OF 106 LABORATORY REFERENCE DATA ARTICLES FROM NONDOMESTIC SPECIES PUBLISHED FROM 2014 TO 2016: ASSESSING COMPLIANCE WITH REFERENCE INTERVAL GUIDELINES. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. Novembre 2020. Vol. 51, n° 3. DOI 10.1638/2019-0186.

MROSOVSKY, N., RYAN, Geraldine D. et JAMES, Michael C., 2009. Leatherback turtles: The menace of plastic. *Marine Pollution Bulletin*. Février 2009. Vol. 58, n° 2, pp. 287-289. DOI 10.1016/j.marpolbul.2008.10.018.

MUÑOZ, Fernando, ESTRADA-PARRA, Sergio, ROMERO-ROJAS, Andrés, GONZALEZ-BALLESTEROS, Erik, WORK, Thierry, VILLASEÑOR-GAONA, Hector et ESTRADA, Iris, 2013. Immunological evaluation of captive green sea turtle (*Chelonia mydas*) with ulcerative dermatitis. *J Zoo Wildl Med*. Décembre 2013. Vol. 44, pp. 837-44. DOI 10.1638/2010-0228R4.1.

MUÑOZ TENERÍA, Fa, LABRADA-MARTAGÓN, V, HERRERA-PAVÓN, RI, WORK, Tm, GONZÁLEZ-BALLESTEROS, E, NEGRETE-PHILIPPE, Ac et MALDONADO-SALDAÑA, G, 2022. Fibropapillomatosis dynamics in green sea turtles *Chelonia mydas* over 15 years of monitoring in Akumal Bay, Quintana Roo, Mexico. *Diseases of Aquatic Organisms*. Juin 2022. Vol. 149, pp. 133-143. DOI 10.3354/dao03669.

MURRAY, Kt, 2009. Characteristics and magnitude of sea turtle bycatch in US mid-Atlantic gillnet gear. *Endangered Species Research*. Septembre 2009. Vol. 8, n° 3, pp. 211-224. DOI 10.3354/esr00211.

NARDINI, Giordano, LEOPARDI, Stefania et BIELLI, Mattia, 2013. Clinical Hematology in Reptilian Species. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*. Janvier 2013. Vol. 16, n° 1, pp. 1-30. DOI 10.1016/j.cvex.2012.09.001.

OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ (OFB), 2020. Tortue verte (*Chelonia mydas*) [en ligne] 2020. [Consulté le 25 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-fiches-especes/tortue-verte-chelonia-mydas>

PAGE, Annie, TORRES, Fernando, ZHANG, Jian, RIVERA, Sam, DIEZ, Carlos, MOORE, Phillip, MOORE, Debra et BROWN, Corrie, 2012. Presence of chelonid fibropapilloma-associated herpesvirus in tumored and non-tumored green turtles, as detected by polymerase chain reaction, in endemic and non-endemic populations, Puerto Rico. *SpringerPlus*. Octobre 2012. Vol. 1, pp. 35. DOI 10.1186/2193-1801-1-35.

PAGE-KARIJAN, Annie, CHABOT, R, STACY, Nicole, MORGAN, Ashley, VALVERDE, Roldán, STEWART, S, COPPENRATH, Christina, MANIRE, CA, HERBST, LH, GREGORY, CR, RITCHIE, BW et PERRAULT, Justin, 2020. Comprehensive health assessment of green turtles *Chelonia mydas* nesting in southeastern Florida. *Endangered Species Research*. Mai 2020. Vol. 42. DOI 10.3354/esr01036.

PAGE-KARJIAN, A, NORTON, Tm, RITCHIE, B, BROWN, C, MANCIA, C, JACKWOOD, M et GOTTDENKER, NI, 2015. Quantifying chelonid herpesvirus 5 in symptomatic and asymptomatic rehabilitating green sea turtles. *Endangered Species Research*. Septembre 2015. Vol. 28, n° 2, pp. 135-146. DOI 10.3354/esr00687.

PAGE-KARJIAN, A, PERRAULT, Jr, ZIRKELBACH, B, PESCATORE, J, RILEY, R, STADLER, M, ZACHARIAH, Tt, MARKS, W et NORTON, Tm, 2019. Tumor re-growth, case outcome, and tumor scoring systems in rehabilitated green turtles with fibropapillomatosis. *Diseases of Aquatic Organisms*. Décembre 2019. Vol. 137, n° 2, pp. 101-108. DOI 10.3354/dao03426.

PAGE-KARJIAN, Annie, 2019. Fibropapillomatosis in Marine Turtles. *Fowler's Zoo and Wild Animal Medicine Current Therapy, Volume 9*. Elsevier. pp. 398-403. ISBN 978-0-323-55228-8.

PAGE-KARJIAN, Annie, NORTON, Terry M., KRIMER, Paula, GRONER, Maya, NELSON, Steven E. et GOTTDENKER, Nicole L., 2014. FACTORS INFLUENCING SURVIVORSHIP OF REHABILITATING GREEN SEA TURTLES (*CHELONIA MYDAS*) WITH FIBROPAPILLOMATOSIS. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. Septembre 2014. Vol. 45, n° 3, pp. 507-519. DOI 10.1638/2013-0132R1.1.

PAGE-KARJIAN, Annie et PERRAULT, Justin R., 2021. Sea Turtle Health Assessments: Maximizing Turtle Encounters to Better Understand Health. In : *Sea Turtle Research and Conservation*. Elsevier. pp. 31-44. ISBN 978-0-12-821029-1.

PATEL, Esha, KOTERA, Manya et PHILLOTT, Andrea D, 2022. THE ROLES OF SEA TURTLES IN ECOSYSTEM PROCESSES AND SERVICES. *Indian Ocean Turtle Newsletter*. Septembre 2022. n° 36

PATRÍCIO, A. R., HERBST, L. H., DUARTE, A., VÉLEZ-ZUAZO, X., SANTOS LOUREIRO, N., PEREIRA, N., TAVARES, L. et TORANZOS, G. A., 2012. Global phylogeography and evolution of chelonid fibropapilloma-associated herpesvirus. *Journal of General Virology*. Mai 2012. Vol. 93, n° 5, pp. 1035-1045. DOI 10.1099/vir.0.038950-0.

PERRAULT, Justin R., LEVIN, Milton, MOTT, Cody R., BOVERY, Caitlin M., BRESSETTE, Michael J., CHABOT, Ryan M., GREGORY, Christopher R., GUERTIN, Jeffrey R., HIRSCH, Sarah E., RITCHIE, Branson W., WEEGE, Steven T., WELSH, Ryan C., WITHERINGTON, Blair E. et PAGE-KARJIAN, Annie, 2021. Insights on Immune Function in Free-Ranging Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) with and without Fibropapillomatosis. *Animals*. Mars 2021. Vol. 11, n° 3, pp. 861. DOI 10.3390/ani11030861.

PIOVANO, Susanna, LEMONS, Garrett E., CIRIYAWA, Ana, BATIBASAGA, Aisake et SEMINOFF, Jeffrey A., 2020. Diet and recruitment of green turtles in Fiji, South Pacific, inferred from in-water capture and stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*. Avril 2020. Vol. 640, pp. 201-213. DOI 10.3354/meps13287

PLASTICS EUROPE, 2020. Plastics - the Facts 2020. *Plastics Europe* [en ligne]. [Consulté le 14 octobre 2024]. Disponible à l'adresse : <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/>

PONTICELLI, Claudio, 2011. Herpes viruses and tumours in kidney transplant recipients. The role of immunosuppression. *Nephrology, dialysis, transplantation: official publication of the European Dialysis and Transplant Association - European Renal Association*. Juin 2011. Vol. 26, pp. 1769-75. DOI 10.1093/ndt/gfr157.

PRITCHARD, P, BACON, P, BERRY, F, CARR, A, FLETMEYER, J, GALLAGHER, R, HOPKINS, S, LANKFORD, R, MARQUEZ.M, R, OGREN, L, PRINGLE JR, W, REICHART, H and WITHAM, R. 1983. Manual of sea turtle research and conservation techniques, Second Edition. K.A. Bjorndal and G.H. Balazs, editors. Center for Environmental Education, Washington, D.C.

PUTMAN, Nathan F, SENEY, Erin E, VERLEY, Philippe, SHAVER, Donna J, LÓPEZ-CASTRO, Melania C, COOK, Melissa, GUZMÁN, Vicente, BROST, Beth, CERIANI, Simona A, TZEEK, Miriam, VALVERDE, Roldán A, CANTÓN, Cristóbal Cáceres G, HOWELL, Lyndsey, LEY, Jonathan A Ravell, TUMLIN, Mandy C, TEAS, Wendy G, JR, Charles W Caillouet, CUEVAS, Eduardo, GALLAWAY, Benny J, RICHARDS, Paul M et MANSFIELD, Katherine L, 2019. Predicted distributions and abundances of the sea turtle 'lost years' in the western North Atlantic Ocean. *Ecography*. Décembre 2019. Vol. 43, n°4, pp. 506-517. DOI 10.1111/ecog.04929.

REDROBE, Sharon et MACDONALD, Jaime, 1999. Sample Collection and Clinical Pathology of Reptiles. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*. Septembre 1999. Vol. 2, n° 3, pp. 709-730. DOI 10.1016/S1094-9194(17)30118-4.

RENVIER, Amandine, 2020. Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. Évaluation de la contamination des tortues vertes (*Chelonia Mydas*) par le virus de la fibropapillomatose dans les eaux côtières de la Martinique. 117p.

RITTENBURG, Leah, KELLEY, Jake, MANSFIELD, Katherine et SAVAGE, Anna, 2021. Marine leech parasitism of sea turtles varies across host species, seasons, and the tumor disease fibropapillomatosis. *Diseases of Aquatic Organisms*. Janvier 2021. Vol. 143. DOI 10.3354/dao03549.

ROCHA-SANTOS, Teresa A. P., 2018. Editorial overview: Micro and nano-plastics. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. Février 2018. Vol. 1, pp. 52-54. DOI 10.1016/j.coesh.2018.01.003.

ROOST, Thibaut, SCHIES, Jo-Ann, GIRONDOT, Marc, ROBIN, Jean-Patrice, LELONG, Pierre, MARTIN, Jordan, SIEGWALT, Flora, JEANTET, Lorène, GIRAUDEAU, Mathieu, LE LOCH, Guillaume, BEJARANO, Manola, BONOLA, Marc, BENHALILOU, Abdelwahab, MURGALE, Céline, ANDREANI, Lucas, JACARIA, François, CAMPISTRON, Guilhem, LATHIÈRE, Anthony, MARTIAL, François, HIELARD, Gaëlle, ARQUÉ, Alexandre, RÉGIS, Sidney, LECERF, Nicolas, FROUIN, Cédric, LEFEBVRE, Fabien, AUBERT, Nathalie, FLORA, Frédéric, PIMENTEL, Esteban, LAFOLLE, Rachele, THOBOR, Florence, ARTHUS, Mosiah, ETIENNE, Denis, LECERF, Nathaël, ALLENOU, Jean-Pierre, DESIGAUX, Florian, LARCHER, Eugène, LARCHER, Christian, CURTO, Alberto Lo, BEFORT, Joanne, MACENO-PANEVEL, Myriane, LEPORI, Muriel, CHEVALLIER, Pascale, CHEVALLIER, Tao, MESLIER, Stéphane, LANDREAU, Anthony, HABOLD, Caroline, LE MAHO, Yvon et CHEVALLIER, Damien, 2022. Fibropapillomatosis Prevalence and Distribution in Immature Green Turtles (*Chelonia mydas*) in Martinique Island (Lesser Antilles). *EcoHealth*. Juin 2022. Vol. 19, n° 2, pp. 190-202. DOI 10.1007/s10393-022-01601-y.

ROSSI, Silmara, SÁNCHEZ SARMIENTO, Angélica, VANSTREELS, Ralph, SANTOS, Robson, PRIOSTE, Fabiola, GATTAMORTA, Marco, GRISI, Zé et MATUSHIMA, Eliana, 2016. Challenges in Evaluating the Severity of Fibropapillomatosis: A Proposal for Objective Index and Score System for Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) in Brazil. *PLOS ONE*. Décembre 2016. Vol. 11, pp. e0167632. DOI 10.1371/journal.pone.0167632.

ROSSI, Silmara, ZAMANA, Roberta, ANDRADE SANTOS, Pedro Paulo, BOMFIM, Aline, FARIAS, Daniel, FREIRE, Augusto, OLIVEIRA, Rysónely, GATTAMORTA, Marco, MATUSHIMA, Eliana, MAIA, Juliana, PIRES, Lorena, SACRISTÁN, Carlos, SILVA-JÚNIOR, Edson, SILVA, Flavio, GAVILAN, Simone, GALVÃO, Julia et SACRISTÁN, Carlos, 2021. VISCERAL NEOPLASMS AND Chelonid alphaherpesvirus 5 IN GREEN TURTLES WITH FIBROPAPILLOMATOSIS. *Archives of Veterinary Science*. Mars 2021. Vol. 26, pp. 63-79. DOI 10.5380/avs.v26i1.76435.

ROSSI, Silmara, ZWARG, Ticiana, SANCHES, Thaís, CESAR, Marina, WERNECK, Max et MATUSHIMA, Eliana, 2009. Hematological profile of *Chelonia mydas* (Testudines, Cheloniidae) according to the severity of fibropapillomatosis or its absence. *Pesquisa Veterinaria Brasileira - CBPA*. Décembre 2009. Vol. 29. DOI 10.1590/S0100-736X2009001200004.

SACCHI, Roberto, MANGIACOTTI, Marco, SCALI, Stefano, COLADONATO, Alan J., PITONI, Silvia, FALASCHI, Mattia et ZUFFI, Marco A. L., 2020. Statistical methodology for the evaluation of leukocyte data in wild reptile populations: A case study with the common wall lizard (*Podarcis muralis*). *PLOS ONE*. Août 2020. Vol. 15, n° 8, pp. e0237992. DOI 10.1371/journal.pone.0237992.

SAFFACHE, P et MOULLET, D, 2007. Martinique et Guadeloupe: des écosystèmes côtiers en sursis. *Les littoraux volcaniques: une approche environnementale*. 2007. pp. 159.

SAFI, M., REMACLE, M., GOUAZE, M., LEVASSEUR, O., RIVOLET, M., DE MONTGOLFIER, B - 2018 - Évaluation de l'impact touristique sur le comportement des tortues vertes (*Chelonia mydas*) sur leurs sites d'alimentation en Martinique. Rapport Final pour la DEAL Martinique 79 pages.

SAINT-GIRONS, Marie-Charlotte. 1970. Morphology of the circulating blood cells. In: Gans and Parsons, *Biology of the Reptilia*, Vol.3. pp. 73-91.

SAMOUR, J. H., HEWLETT, J. C., SILVANOSE, C., HASBUN, C. R. et AL-GHAIS, S. M., 1998. Normal haematology of free-living green sea turtles (*Chelonia mydas*) from the United Arab Emirates. *Comparative Haematology International*. Juin 1998. Vol. 8, n° 2, pp. 102-107. DOI 10.1007/BF02642499.

SCHOCH, Rainer, KLEIN, Nicole, SCHEYER, Torsten et SUES, Hans-Dieter, 2019. Microanatomy of the stem-turtle *Pappochelys rosinae* indicates a predominantly fossorial mode of life and clarifies early steps in the evolution of the shell. *Scientific Reports*. Juillet 2019. Vol. 9. DOI 10.1038/s41598-019-46762-z.

SCHOCH, Rainer R. et SUES, Hans-Dieter, 2015. A Middle Triassic stem-turtle and the evolution of the turtle body plan. *Nature*. Juillet 2015. Vol. 523, n° 7562, pp. 584-587. DOI 10.1038/nature14472.

SCHUYLER, Qamar, WILCOX, Chris, TOWNSEND, Kathy, HARDESTY, Britta et MARSHALL, N, 2014. Mistaken identity? Visual similarities of marine debris to natural prey items of sea turtles. *BMC ecology*. Mai 2014. Vol. 14, pp. 14. DOI 10.1186/1472-6785-14-14.

SCHWARTZ, Robert S., 2000. Immunodeficiency, Immunosuppression, and Susceptibility to Neoplasms. *JNCI Monographs*. Décembre 2000. Vol. 2000, n° 28, pp. 5-9. DOI 10.1093/oxfordjournals.jncimonographs.a024257.

SENKO, Jesse F., BURGHER, Kayla M., DEL MAR MANCHA-CISNEROS, Maria, GODLEY, Brendan J., KINAN-KELLY, Irene, FOX, Trevor, HUMBER, Frances, KOCH, Volker, SMITH, Andrew T. et WALLACE, Bryan P., 2022. Global patterns of illegal marine turtle exploitation. *Global Change Biology*. Novembre 2022. Vol. 28, n° 22, pp. 6509-6523. DOI 10.1111/gcb.16378.

SERMAGE, C. *Suivi écologique des herbiers de la côte Sud Caraïbe de la Martinique et impact des ancres des bateaux de plaisance*. Master 2 : Exploitation durable des écosystèmes littoraux : Université La Rochelle, 2006.

SHAVER, Dj, WALKER, Js et BACKOF, Tf, 2019. Fibropapillomatosis prevalence and distribution in green turtles *Chelonia mydas* in Texas (USA). *Diseases of Aquatic Organisms*. Octobre 2019. Vol. 136, n° 2, pp. 175-182. DOI 10.3354/dao03403.

SHIMADA, Takahiro, AOKI, Shigeru, KAMEDA, Kazunari, HAZEL, Julia, REICH, Kimberly et KAMEZAKI, Naoki, 2014. Site fidelity, ontogenetic shift and diet composition of green turtles *Chelonia mydas* in Japan inferred from stable isotope analysis. *Endangered Species Research*. Septembre 2014. Vol. 25, pp. ESR 25:151-164 (2014). DOI 10.3354/esr00616.

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, ALLÉNOU, 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*. 2022. Vol. 37, pp. e02169. DOI 10.1016/j.gecco.2022.e02169.

SMITH, G M et COATES, Christopher W., 1938. Fibro-epithelial growths of the skin in large marine turtles, *Chelonia mydas* (Linnaeus). *Zoologica : scientific contributions of the New York Zoological Society*. Mars 1938. Vol. 23, n° 4, pp. 93-98. DOI 10.5962/p.203654.

SOUTER, D., PLANES, S., WICQUART, J., LOGAN, M., OBURA, D., STAUB, F. (eds) (2021). Status of coral reefs of the world: 2020 report. Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN) and International Coral Reef Initiative (ICRI). DOI 10.59387/WOTJ9184.

SPOSATO, Patricia, KEATING, Patricia, LUTZ, Peter et MILTON, Sarah, 2021. Evaluation of Immune Function In Two Populations of Green Sea Turtles (*Chelonia mydas*) In A Degraded Versus A Nondegraded Habitat. *Journal of wildlife diseases*. Août 2021. Vol. 57. DOI 10.7589/JWD-D-20-00204.

STACY, Nicole et BOYLAN, Shane, 2014. Clinical Pathology of Sea Turtles - Sea Turtle Guardian. [en ligne]. 2014. [Consulté le 14 octobre 2024]. Disponible à l'adresse : <https://seaturtleguardian.org/clinical-pathology-of-sea-turtles>

STACY, Nicole I., ALLEMAN, A. Rick et SAYLER, Katherine A., 2011. Diagnostic Hematology of Reptiles. *Clinics in Laboratory Medicine*. Mars 2011. Vol. 31, n° 1, pp. 87-108. DOI 10.1016/j.cl.2010.10.006.

SYKES, John M. et KLAPHAKE, Eric, 2015. Reptile Hematology. *Clinics in Laboratory Medicine*. Septembre 2015. Vol. 35, n° 3, pp. 661-680. DOI 10.1016/j.cl.2015.05.014.

TAGLIOLATTO, Ab, GUIMARÃES, Sm, LOBO-HAJDU, G et MONTEIRO-NETO, C, 2016. Characterization of fibropapillomatosis in green turtles *Chelonia mydas* (Cheloniidae) captured in a foraging area in southeastern Brazil. *Diseases of Aquatic Organisms*. Octobre 2016. Vol. 121, n° 3, pp. 233-240. DOI 10.3354/dao03020.

THOMPSON, Richard C., SWAN, Shanna H., MOORE, Charles J. et VOM SAAL, Frederick S., 2009. Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. Juillet 2009. Vol. 364, n° 1526, pp. 1973-1976. DOI 10.1098/rstb.2009.0054.

TRUSCOTT, Zoe, BOOTH, David T. et LIMPUS, Colin J., 2017. The effect of on-shore light pollution on sea-turtle hatchlings commencing their off-shore swim. *Wildlife Research*. Mars 2017. Vol. 44, n° 2, pp. 127. DOI 10.1071/WR16143.

UICN. 2012. Lignes directrices pour l'application des Critères de la Liste rouge de l'UICN aux niveaux régional et national : Version 4.0. Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni : UICN. Vol.4. pp.44. Originellement publié en tant que Guidelines for Application of IUCN Red List Criteria at Regional and National Levels: Version 4.0 (Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 2012).

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2020. *Out of the Blue: The Value of Seagrasses to the Environment and to People* [en ligne]. 2020. [Consulté le 27 juillet 2024]. Disponible à l'adresse : <https://primarysources.brillonline.com/browse/climate-change-and-law-collection/out-of-the-blue-the-value-of-seagrasses-to-the-environment-and-to-people;cccc0252202002520978>

VAN HOUTAN, Kyle S., HARGROVE, Stacy K. et BALAZS, George H., 2010. Land Use, Macroalgae, and a Tumor-Forming Disease in Marine Turtles. THRUSH, Simon (éd.), *PLoS ONE*. Septembre 2010. Vol. 5, n° 9, pp. e12900. DOI 10.1371/journal.pone.0012900.

VITT, L.J. et CALDWELL, J.P., 2013. Reproduction and Life Histories. *Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles: Fourth Edition*. Juin 2013. pp. 1-757. DOI 10.1016/B978-0-12-386919-7.00004-6.

WALLACE, Bryan P., KOT, Connie Y., DIMATTEO, Andrew D., LEE, Tina, CROWDER, Larry B. et LEWISON, Rebecca L., 2013. Impacts of fisheries bycatch on marine turtle populations worldwide: toward conservation and research priorities. *Ecosphere*. Mars 2013. Vol. 4, n° 3, pp. 1-49. DOI 10.1890/ES12-00388.1.

WHILDE, Jenny, MASHKOUR, Narges, KODA, Samantha A., EASTMAN, Catherine B., THOMPSON, Drew, BURKHALTER, Brooke, FRANDSEN, Hilary R., PAGE, Annie, BLACKBURN, Nicholas B., JONES, Karina, ARIEL, Ellen, DUPONT, Sophie M., WOOD, Lawrence et DUFFY, David J., 2024. International overview of sea turtle fibropapillomatosis: a survey of expert opinions and trends. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. Août 2024. Vol. 12. DOI 10.3389/fcell.2024.1445438.

WHITMORE, Liam, YETSKO, Kelsey, FARRELL, Jessica A., PAGE-KARJIAN, Annie, DANIEL, Whitney, SHAVER, Donna J., FRANDBSEN, Hilary R., WALKER, Jennifer Shelby, CROWDER, Whitney, BOVERY, Caitlin, ROLLINSON RAMIA, Devon, BURKHALTER, Brooke, RYAN, Elizabeth et DUFFY, David J., 2021. Evolutionary Comparisons of Chelonid Alphaherpesvirus 5 (ChHV5) Genomes from Fibropapillomatosis-Afflicted Green (*Chelonia mydas*), Olive Ridley (*Lepidochelys olivacea*) and Kemp's Ridley (*Lepidochelys kempii*) Sea Turtles. *Animals: an Open Access Journal from MDPI*. Août 2021. Vol. 11, n° 9, pp. 2489. DOI 10.3390/ani11092489.

WOOD, F. E., EBANKS, G. K., WOOD, F. E. et EBANKS, G. K., 1984. Blood cytology and hematology of the green sea turtle *Chelonia mydas*. *Herpetologica*. Janvier 1984. Vol. 40, n° 3, pp. 331-336. DOI 10.2307/3892302.

WORK, Thierry M. et BALAZS, George H., 1999. Relating Tumor Score to Hematology in Green Turtles with Fibropapillomatosis in Hawaii. *Journal of Wildlife Diseases*. Octobre 1999. Vol. 35, n° 4, pp. 804-807. DOI 10.7589/0090-3558-35.4.804.

WORK, Thierry M., DAGENAIS, Julie, BALAZS, George H., SCHUMACHER, Joanne, LEWIS, Teresa D., LEONG, Jo-Ann C., CASEY, Rufina N. et CASEY, James W., 2009. In vitro biology of fibropapilloma-associated turtle herpesvirus and host cells in Hawaiian green turtles (*Chelonia mydas*). *Journal of General Virology*. Août 2009. Vol. 90, n° 8, pp. 1943-1950. DOI 10.1099/vir.0.011650-0.

WORK, Thierry M., RAMEYER, Robert A., BALAZS, George H., CRAY, Carolyn et CHANG, Sandra P., 2001. IMMUNE STATUS OF FREE-RANGING GREEN TURTLES WITH FIBROPAPILLOMATOSIS FROM HAWAII. *Journal of Wildlife Diseases*. Juillet 2001. Vol. 37, n° 3, pp. 574-581. DOI 10.7589/0090-3558-37.3.574.

WORK, Tm, BALAZS, Gh, RAMEYER, Ra et MORRIS, Ra, 2004. Retrospective pathology survey of green turtles *Chelonia mydas* with fibropapillomatosis in the Hawaiian Islands, 1993-2003. *Diseases of Aquatic Organisms*. Novembre 2004. Vol. 62, pp. 163-176. DOI 10.3354/dao062163.

WWF, 2023. Plastic in our oceans is killing marine mammals – WWF-Australia | Plastic in our oceans is killing marine mammals | WWF Australia. [en ligne]. 2023. [Consulté le 14 octobre 2024]. Disponible à l'adresse : <https://wwf.org.au/blogs/plastic-in-our-oceans-is-killing-marine-mammals/>

WYNEKEN, Jeanette, LOHMANN, Kenneth J. et MUSICK, John A. (éd.), 2013. - Feeding Biology: Advances from Field-Based Observations, Physiological Studies, and Molecular Techniques. In : *The Biology of Sea Turtles, Volume III*. 0. CRC Press. pp. 230-267. ISBN 978-0-429-10501-2.

YIFAN, Li, 2018. Sea turtle smugglers cashing in. *Dialogue Earth* [en ligne]. 13 août 2018. [Consulté le 20 août 2024]. Disponible à l'adresse : <https://dialogue.earth/en/ocean/4096-smugglers-cashing-in-on-sea-turtles/>

ZHU, Xia, ROCHMAN, Chelsea et MAZLOFF, Matthew, 2024. Marine Animals as a Global Reservoir of Plastic Pollution: A Case Study on Sea Turtles. *ESS Open Archive*. Juin 2024. DOI 10.22541/essoar.71742848.86603578/v1.

ZWARG, Ticiana, ROSSI, Silmara, SANCHES, Thaís, CESAR, Marina, WERNECK, Max et MATUSHIMA, Eliana, 2014. Hematological and histopathological evaluation of wildlife green turtles (*Chelonia mydas*) with and without fibropapilloma from the north coast of São Paulo State, Brazil. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. Juillet 2014. Vol. 34, pp. 682-688. DOI 10.1590/S0100-736X2014000700013.

Annexe 1 : Technique de coloration Wright-Giemsa selon Saimour

Colorant	Coloration
3g de Wright ¹	- inonder le frottis avec le colorant (environ 1 ml), laisser 3'
0,3g de Giemsa ²	- ajouter la même quantité de tampon pH 6,8 ⁴
5 ml de glycérol	- souffler sur le mélange jusqu'à formation d'un film vert métallique sur la lame
1L de méthanol absolu ³	- laisser 6'
Filter et stocker à l'abri de la lumière	- rincer avec le tampon 6,8, inonder la lame avec du tampon et laisser 1' - rincer copieusement avec du tampon 6,8 - égoutter la lame, essuyer le dos de la lame sur un sopalin - laisser sécher à l'air libre (ou sèche-cheveux) - couvrir avec lamelle et Entellan® ⁵

1 Merck No 1.09278.0025

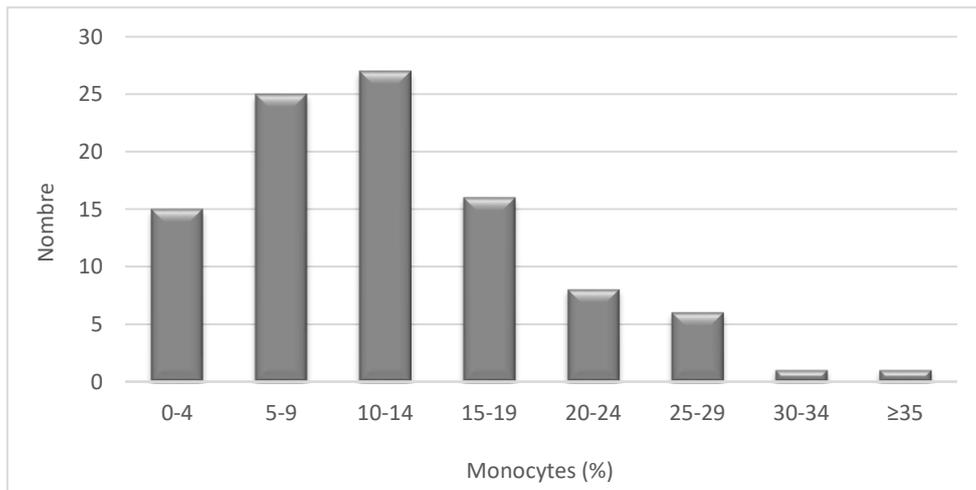
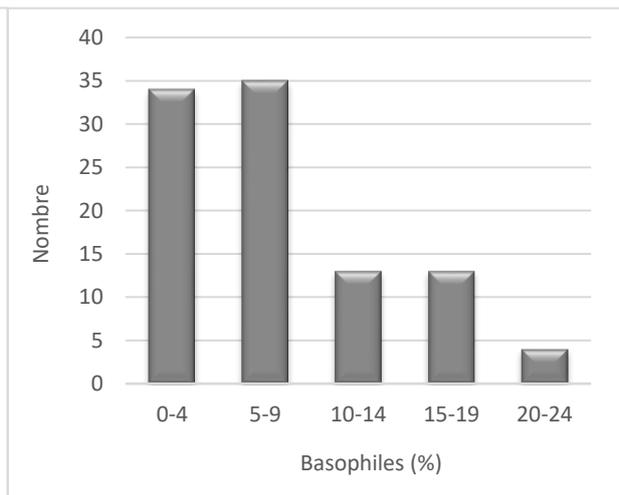
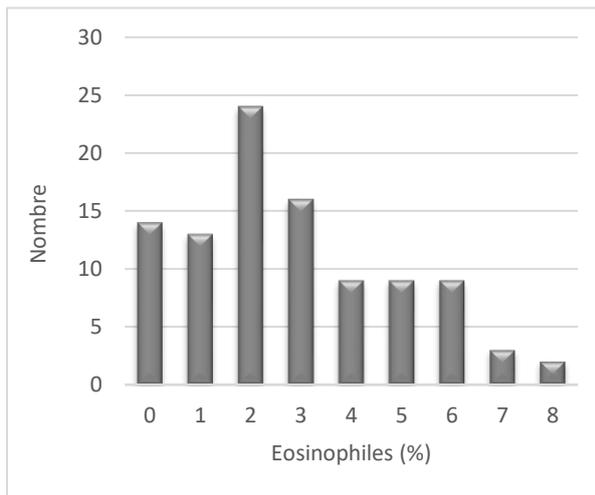
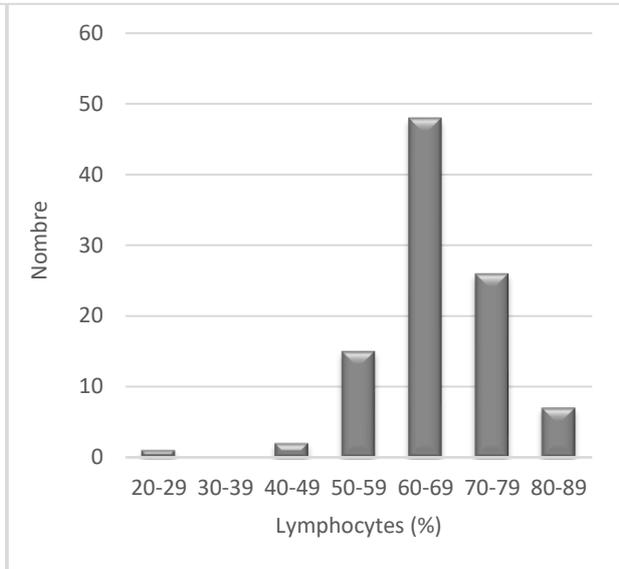
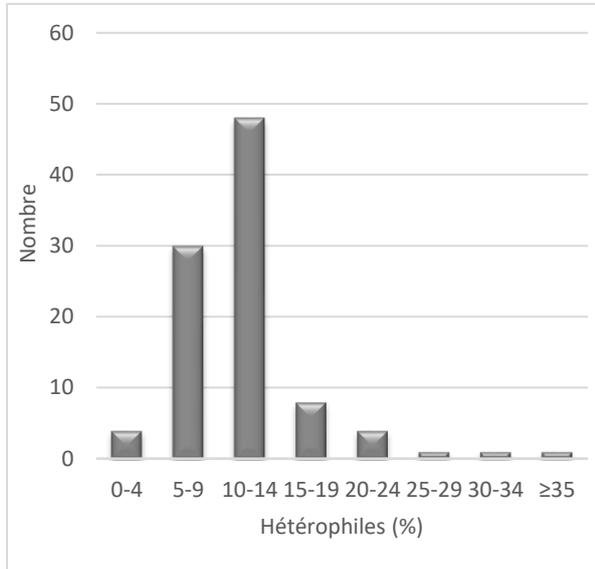
2 Merck No 1.09203.0025

3 Merck No 1.06009.1000

4 Merck No 1.11374.0100 ou Labo Moderne Solution tampon Sorenson

5 Merck No 1.07961.0100

Annexe 2 : Distribution différentielle des pourcentages de leucocytes chez toutes les tortues étudiées (n = 99)



Auteur : Allaire Margot, ENVT, 2024

Utilisation de l'hématologie comme outil d'évaluation de la santé d'une population de Tortue verte (*Chelonia mydas*) : application à la fibropapillomatose

Les tortues marines sont aujourd'hui plus menacées que jamais. Parmi les pressions subies, la fibropapillomatose, maladie touchant surtout la Tortue verte (*Chelonia mydas*), est l'une de celles dont les effets sont les plus méconnus, que ce soit à l'échelle individuelle ou populationnelle. Cette maladie possiblement associée à une infection par l'herpèsvirus ChHV5 se manifeste par des lésions tumorales externes et internes, pouvant compromettre la survie des animaux.

Dans cette étude, nous avons cherché à comparer les données hématologiques et phénotypiques de tortues vertes de Martinique au regard de leur statut sanitaire (saine/atteinte de fibropapillomatose) et de leur site d'alimentation, afin de tenter de comprendre davantage les causes et effets de la fibropapillomatose sur cette espèce.

Les résultats corroborent pour la plupart la littérature sur le sujet : les tortues atteintes ont une taille supérieure aux tortues saines et présentent un rapport H/L plus élevé, bien que ce résultat ne soit pas significatif. Un des deux principaux sites étudiés présente également une prévalence plus forte de la maladie.

Mots clés : *Chelonia mydas*, fibropapillomatose, Martinique, hématologie

Use of hematology as a tool for assessing the health of a population of Green Turtle (*Chelonia mydas*): application to fibropapillomatosis

Nowadays, sea turtles are more threatened than ever. Among the pressures they face, fibropapillomatosis, a disease that mainly affect the Green Turtle (*Chelonia mydas*), is among the ones whose effects are the most unknown, either at the individual or population level. This disease, possibly associated with infection by the herpesvirus ChHV5, is characterized by external and internal tumoral lesions, which can affect survival of the animals.

In this thesis, we compared hematological and phenotypic data of green turtles from Martinique according to their health status (healthy/affected by fibropapillomatosis) and their feeding site, in order to better understand the causes and effects of fibropapillomatosis in this species.

Our findings mostly corroborate the available literature: FP-afflicted turtles are larger than healthy ones and have a higher H/L ratio, although this result is not significant. One of the two main sites studied also has a higher prevalence of the disease.

Key words: *Chelonia mydas*, fibropapillomatosis, Martinique, hematology