



**HAL**  
open science

# Anatomie, pathologies des requins, leurs gestions, et état des lieux dans les aquariums et parcs zoologiques en France

Camille Sibout

## ► To cite this version:

Camille Sibout. Anatomie, pathologies des requins, leurs gestions, et état des lieux dans les aquariums et parcs zoologiques en France. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-04945312

**HAL Id: dumas-04945312**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04945312v1>**

Submitted on 13 Feb 2025

**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.

ANNEE 2022 —Thèse n°72

**THÈSE – Version publique**

**ANATOMIE, PATHOLOGIES DES REQUINS, LEURS GESTIONS, ET ETAT  
DES LIEUX DANS LES AQUARIUMS ET PARCS ZOOLOGIQUES EN FRANCE.**

**THÈSE**

pour obtenir le diplôme d'État de

**DOCTEUR VÉTÉRINAIRE**

présentée et soutenue publiquement devant

l'UFR de Médecine de l'Université de

Nantes le 21/10/2022

par

**Camille, Juliette, Louise SIBOUT**

Sous la direction de

**Madame Ségolène CALVEZ**

Président du jury : Madame Marie-Anne COLLE, Professeur en histologie et anatomie pathologique à Oniris

Membres du jury : Madame Ségolène CALVEZ, Maître de Conférences en Aquaculture à Oniris  
Madame Laetitia DORSO, Praticienne hospitalière à Oniris

Membres invités : Madame Stéphanie ORENCO, Responsable Laboratoire et Soins vétérinaires à l'Institut  
Océanographique de Monaco  
Monsieur Pierre-Marie BOITARD, Vétérinaire aquacole à FILI@VET



ANNEE 2022 —Thèse n°72

**THÈSE – Version publique**

**ANATOMIE, PATHOLOGIES DES REQUINS, LEURS GESTIONS, ET ETAT  
DES LIEUX DANS LES AQUARIUMS ET PARCS ZOOLOGIQUES EN FRANCE.**

**THÈSE**

pour obtenir le diplôme d'État de

**DOCTEUR VÉTÉRINAIRE**

présentée et soutenue publiquement devant

l'UFR de Médecine de l'Université de

Nantes le 21/10/2022

par

**Camille, Juliette, Louise SIBOUT**

Sous la direction de

**Madame Ségolène CALVEZ**

Président du jury : Madame Marie-Anne COLLE, Professeur en histologie et anatomie pathologique à Oniris

Membres du jury : Madame Ségolène CALVEZ, Maître de Conférences en Aquaculture à Oniris  
Madame Laetitia DORSO, Praticienne hospitalière à Oniris

Membres invités : Madame Stéphanie ORENCO, Responsable Laboratoire et Soins vétérinaires à l'Institut  
Océanographique de Monaco  
Monsieur Pierre-Marie BOITARD, Vétérinaire aquacole à FILI@VET



<b>Département BPSA Biologie, Pathologie et Sciences de l'Aliment</b>		
Responsable : <b>Emmanuel JAFFRES</b> — Adjointe : <b>Frédérique NGUYEN</b>		
Nutrition et Endocrinologie		
Pharmacologie et Toxicologie	Jean-Claude DESFONTIS (Pr) Yassine MALLEM (Pr) Hervé POULIQUEN (Pr)	Antoine ROSTANG (MC) Meg-Anne MORICEAU (CERC)
Physiologie fonctionnelle, cellulaire et moléculaire	Lionel MARTIGNAT (Pr) Julie HERVE (MC HDR) Grégoire MIGNOT (MC) Adélie SALIN (CERC)	
Histologie et anatomie pathologique	Marie-Anne COLLE (Pr) Jérôme ABADIE (MC)	Laetitia JAILLARDON (MC) Frédérique NGUYEN (MC)
Pathologie générale, microbiologie et immunologie	Hervé SEBBAG (MC)	
Biochimie alimentaire industrielle	Carole PROST (Pr) Joëlle GRUA (MC) Florence TEXIER (MC)	Clément CATANEO (MC) Alix KHALIL (CERC) Laurent LE THUAUT (MC)
Microbiotech	Hervé PREVOST (Pr) Géraldine BOUE (MC) Nabila HADDAD (MC)	Emmanuel JAFFRES (MC) Mathilde MOSSER (MC) Boris MISERY (CERC) Raouf TAREB (MC)
<b>Département SAESP Santé des Animaux d'Élevage et Santé Publique</b>		
Responsable : <b>Raphaël GUATTEO</b> — Adjoint : <b>Jean-Michel CAPPELIER</b>		
Élevage, nutrition et santé des animaux domestiques	Nathalie BAREILLE (Pr) François BEAUDEAU (Pr) Christine FOURICHON (Pr) Lucile MARTIN (Pr)	Juan Manuel ARIZA CHACON (CERC) Ségolène CALVEZ (MC) Aurélien MADOUASSE (MC) Nora NAVARRO-GONZALES (MC)
Infectiologie	Alain CHAUVIN (Pr) François MEURENS (Pr) Emmanuelle MOREAU (Pr) Nathalie RUVOEN-CLOUET (Pr)	Albert AGOULON (MC) Suzanne BASTIAN (MC) Léa LOISEL (CERC) Kenny OBERLE (CERC) Nadine RAVINET (MC)
Médecine des animaux d'élevage	Catherine BELLOC (Pr) Christophe CHARTIER (Pr) Raphaël GUATTEO (Pr) Anne RELUN (MC)	Sébastien ASSIE (MC) Isabelle BREYTON (MC) Mily LEBLANC MARIDOR (MC) Maud ROUAULT (AERC)
Hygiène et qualité des aliments	Jean-Michel CAPPELIER (Pr) Michel FEDERIGHI (Pr) Bruno LE BIZEC (Pr) Marie-France PILET (Pr)	Eric DROMIGNY (MC HDR) Fanny RENOIS-MEURENS (MC HDR) Sofia STRUBBIA (CERC)

<b>Département DSC Sciences cliniques</b>		
Responsable : <b>Catherine IBISCH</b> — Adjoint : <b>Olivier GAUTHIER</b>		
Anatomie comparée	Eric BETTI (MC) Claude GUINTARD (MC) Margarida RIBEIRO DA SILVA NEUNLIST (CERC)	
Pathologie chirurgicale et anesthésiologie	Eric AGUADO (Pr) Olivier GAUTHIER (Pr) Eric GOYENVALLE (MC HDR)	Pierre MAITRE (MC) Caroline TESSIER (MC) Gwénola TOUZOT-JOURDE (MC)
Dermatologie, parasitologie des carnivores et des équidés, mycologie	Jacques GUILLOT (Pr) Emmanuel BENSIGNOR (Pr Ass)	
Médecine interne, imagerie médicale et législation professionnelle vétérinaire	Anne COUROUCE (Pr) Jack-Yves DESCHAMPS (Pr) Françoise ROUX (Pr) Juan HERNANDEZ-RODRIGUEZ (Pr Ass) Nora BOUHSINA (MC)	Nicolas CHOUIN (MC) Amandine DRUT (MC) Marion FUSELLIER-TESSON (MC) Catherine IBISCH (MC) Aurélia LEROUX (MC) Odile SENECAT (MC)
Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Jean-François BRUYAS (Pr) Francis FIENI (Pr)	Djemil BENCHARIF (MC HDR) Lamia BRIAND (MC HDR)
<b>Département GPA Génie des procédés alimentaires</b>		
Responsable : <b>Sébastien CURET-PLOQUIN</b> — Adjointe : <b>Vanessa JURY</b>		
Lionel BOILLEREAUX (Pr) Sébastien CURET-PLOQUIN (Pr) Marie DE LAMBALLERIE (Pr) Francine FAYOLLE (Pr) Michel HAVET (Pr)	Alain LEBAIL (Pr) Olivier ROUAUD (Pr) Kévin CROUVISIER-URION (MC) Vanessa JURY (MC HDR) Emilie KORBEL (MC)	Jean-Yves MONTEAU (MC HDR) Eve-Anne NORWOOD (MC) Raphaël PORYLES (MC) Laurence POTTIER (MC) Cyril TOUBLANC (MC)
<b>Département MSC Management, statistiques et communication</b>		
Responsable : <b>Samira ROUSSELIERE</b> — Adjointe : <b>Evelyne VIGNEAU</b>		
Mathématiques, statistiques, informatique	El Mostafa QANNARI (Pr) Chantal THORIN (Pr Ag) Evelyne VIGNEAU (Pr)	Véronique CARIOU (MC HDR) Philippe COURCOUX (MC) Benjamin MAHIEU (MC) Michel SEMENOU (MC)
Economie, gestion, législation	Jean-Marc FERRANDI (Pr) Pascal BARILLOT (MC) Ibrahima BARRY (MC) Florence BEAUGRAND (MC)	Sibylle DUCHAINE (MC) Sonia MAHJOUB (MC) Samira ROUSSELIERE (MC)
Langues et communication	Marc BRIDOU (PLPA) David GOYLER (Ens. Cont.) Patricia JOSSE (Ens. Cont.)	Shaun MEEHAN (Ens. Cont.) Linda MORRIS (PCEA) Ian NICHOLSON (ENS. Cont.)

Pr Ag : Professeur Agrégé, Pr : Professeur, MC : Maître de Conférences, MCC : MC contractuel,  
 PLPA : Professeur Lycée Professionnel Agricole, PCEA : Professeur Certifié Enseignement Agricole,  
 HDR : Habilité à Diriger des Recherches, CERC : Chargé d'Enseignement et de Recherche Contractuel,  
 Ens. Cont. : Enseignant Contractuel

La reproduction d'extraits de cette thèse est autorisée avec mention de la source. Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé. Cette thèse devra donc être citée incluant les éléments bibliographiques suivants :

- **Nom et prénom de l'autrice** : SIBOUT Camille, Juliette, Louise
- **Année de soutenance** : 2022
- **Titre de la thèse** : Anatomie, pathologies des requins, leurs gestions, et état des lieux dans les aquariums et parcs zoologiques en France.
- **Intitulé du diplôme** : Thèse de doctorat vétérinaire.
- **Université de soutenance** : Faculté de Médecine de Nantes.
- **École de soutenance** : Oniris : École Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation de Nantes-Atlantique.
- **Nombre de pages** : 202 p.

*Le défaut de citation est considéré comme du plagiat. Ce dernier est puni par la loi française et passible de sanctions allant jusqu'à 3 ans d'emprisonnement et 300 000 € d'amende.*



## REMERCIEMENTS DU JURY

**À Madame Marie-Anne Colle,**

*Professeur en histologie et anatomie pathologique à Oniris,*

Pour me faire l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse.  
Hommages respectueux.

**À Madame Ségolène Calvez,**

*Maître de Conférences en Aquaculture à Oniris,*

Pour avoir accepté d'encadrer ce travail et pour m'avoir accompagné pendant tout ce projet. Merci pour votre disponibilité, vos relectures attentionnées et votre bienveillance.  
Très sincères remerciements.

**À Madame Laetitia Dorso,**

*Praticienne hospitalière à Oniris,*

Pour votre relecture attentive de ma thèse et pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser avec vous, un après-midi de dissection spécial « élasmobranches ».  
Très sincères remerciements.

**À Madame Stéphanie Orengo,**

*Responsable Laboratoire et Soins vétérinaires à l'Institut Océanographique de Monaco,*

Merci de m'avoir fait découvrir ce monde extraordinaire, si palpitant où il reste tant de choses à découvrir... Merci pour ta confiance, ta bienveillance et le partage de cette incroyable aventure. Tu m'as consacré tellement de temps pour me transmettre ton savoir et tes expériences...

Merci infiniment...

**À Monsieur Pierre-Marie Boitard,**

*Vétérinaire aquacole à FILI@VET,*

Pour votre réactivité, votre lecture attentive de ma thèse, votre disponibilité, et vos précieux conseils.  
Très sincères remerciements.

*« Élargir la perspective, accroître les connaissances pour les générations à venir, identifier les dangers et tracer la route vers un monde meilleur : si ce sont là les buts de l'explorateur, alors nous tous – voyageurs, savants, citoyens, parents et enfants – sommes engagés dans cette formidable expédition qu'a entreprise l'humanité »*

Extrait de L'homme, la pieuvre et l'orchidée  
Jacques-Yves Cousteau et Susan Schiefelhein, 1997



# TABLE DES MATIERES

TABLE DES ANNEXES .....	19
TABLE DES FIGURES .....	19
TABLE DES TABLEAUX .....	20
TABLE DES ABREVIATIONS ET DES SIGLES .....	21
CONTEXTE ET INTRODUCTION .....	22
PARTIE 1 : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	23
<b>I. Anatomie et physiologie des requins .....</b>	<b>24</b>
A. Anatomie, physiologie du squelette et des muscles .....	24
B. Anatomie, physiologie de la peau .....	26
C. Anatomie et physiologie de la tête.....	26
<b>1. Les organes des sens.....</b>	<b>26</b>
<b>2. Le système respiratoire et osmorégulation.....</b>	<b>28</b>
D. Anatomie, physiologie du tronc .....	30
<b>1. Le système cardiovasculaire .....</b>	<b>30</b>
a) Le cœur .....	30
b) Les cellules sanguines .....	31
<b>2. La thyroïde.....</b>	<b>37</b>
<b>3. Les organes hématopoïétiques .....</b>	<b>38</b>
a) L'organe de Leydig .....	38
b) L'organe épigonal.....	38
c) La rate .....	38
d) Le thymus, un organe lymphoïde .....	39
<b>4. Le système digestif .....</b>	<b>39</b>
<b>5. Le système urinaire et reproducteur .....</b>	<b>42</b>
<b>II. Les dominantes pathologiques des requins.....</b>	<b>50</b>
A. Les pathologies infectieuses .....	50
<b>1. Particularités du microbiome des requins et bactérioses.....</b>	<b>50</b>
a) Particularités du microbiome des requins .....	50
b) Les septicémies (bactérioses dominantes) .....	51
c) Les vibrioses (bactérioses dominantes) .....	51
d) Les bactérioses à <i>Streptococcus agalactiae</i> et à <i>Carnobacterium maltaromaticum</i> (bactérioses dominantes mais faiblement diagnostiquées) .....	52
e) Les affections dues aux épitheliocystes .....	52
f) Autres bactérioses non dominantes .....	53
<b>2. Les viroses .....</b>	<b>54</b>
a) Dermatite virale et herpes virus .....	54
b) Les maladies à papillomavirus .....	54
c) La nécrose érythrocytaire virale .....	54
d) Les adénoviroses.....	54
<b>3. Les mycoses .....</b>	<b>55</b>
a) Les fusarioses à <i>Fusarium solani</i> (dominante pathologique).....	55
b) Les microsporidioses.....	55
c) Autres affections fongiques peu dominantes .....	55
<b>4. Les parasitoses.....</b>	<b>57</b>
a) Les parasitoses à protozoaires.....	57
(1) Les affections à trypanosomes.....	57
(2) Les parasitoses dues aux amibiens .....	57
(3) Les affections à apicomplexes.....	57
(4) Les affections dues aux ciliés .....	57
b) Les parasitoses problématiques dominantes .....	58
(1) Les trématodoses monogéniques ou affections aux monogènes.....	58
(2) Les affections dues aux sangsues.....	59

(3) Les parasitoses dues à <i>Argulus spp.</i> .....	60
(4) La « maladie de velours » ou les infections à <i>Amyloodinium ocellatum</i> .....	60
c) Les parasitoses dominantes nouvellement diagnostiquées .....	60
(1) Les nématodoses.....	60
(2) Les infestations à copépodes .....	61
(3) Les infestations aux isopodes.....	61
d) Les autres parasitoses, peu dominantes.....	61
B. Les pathologies non infectieuses.....	62
<b>1. Les pathologies nutritionnelles .....</b>	<b>62</b>
a) Les maladies hépatiques.....	63
b) Les vitaminoses.....	64
<b>2. Les maladies dégénératives .....</b>	<b>64</b>
a) L'artériosclérose .....	64
b) La glomérulosclérose .....	64
<b>3. Les intoxications .....</b>	<b>65</b>
a) Les intoxications aux composés volatils organiques.....	65
b) Les intoxications aux métaux lourds.....	65
c) L'intoxication à l'ammoniaque et aux nitrites .....	66
d) L'intoxication au fenbendazole.....	66
e) L'intoxication au chlore et à la chloramine.....	66
f) L'intoxication à l'ozone .....	66
g) Autres intoxications .....	67
<b>4. Les maladies inflammatoires non infectieuses.....</b>	<b>67</b>
<b>5. Les traumatismes.....</b>	<b>67</b>
<b>6. Les pathologies de la reproduction .....</b>	<b>68</b>
<b>7. Les néoplasies.....</b>	<b>68</b>
<b>8. Les pathologies environnementales et d'origine anthropique .....</b>	<b>69</b>
a) Le goitre .....	69
b) La maladie des bulles de gaz ou « sursaturation gazeuse ».....	70
c) Les fuites électriques .....	70
d) Réponse au stress et myopathie de capture .....	71
<b>9. Le syndrome anémique.....</b>	<b>72</b>
a) Rappels sur le syndrome anémique, sa terminologie, ses grands mécanismes .....	72
(1) Le syndrome anémique.....	72
(2) Sa terminologie .....	72
b) Les grands mécanismes généraux de l'anémie chez les requins et les causes associées .....	73
(1) Les hémorragies .....	73
(2) L'hyperhémolyse.....	74
(3) Les défauts de production et anémies non régénératives.....	74
c) Focus sur certaines causes d'anémie impliquant plusieurs mécanismes .....	75
(1) Le stress.....	75
(2) Les intoxications : focus sur les métaux lourds.....	75
(3) Les causes infectieuses.....	76
(4) Les causes nutritionnelles .....	76
<b>III. Gestions d'un animal malade et les traitements disponibles.....</b>	<b>77</b>
A. Première conduite face à un animal malade .....	77
<b>1. Examen clinique de l'animal .....</b>	<b>77</b>
a) L'examen à distance.....	77
b) L'examen rapproché .....	78
<b>2. Isolement de l'animal .....</b>	<b>78</b>
<b>3. Prise en charge de l'anorexie, cas particulier du gavage .....</b>	<b>78</b>
<b>4. Gestion des plaies.....</b>	<b>79</b>
B. Les outils diagnostics et interprétations.....	80
<b>1. La prise de sang .....</b>	<b>80</b>
a) Réalisation des prises de sang .....	80
b) Interprétation des index érythrocytaires.....	80
(1) L'hématocrite .....	80
(2) Les érythrocytes immatures.....	81

(3) Le Volume Globulaire Moyen (VGM), la Teneur Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine (TCMH), et la Concentration Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine (CCMH).....	81
(4) La taille des hématies.....	82
c) Interprétation du leucogramme chez les requins.....	82
<b>2. La biochimie.....</b>	<b>83</b>
a) Les paramètres de la fonction hépatique et digestive.....	83
b) Les paramètres de la fonction urinaire.....	83
c) Les paramètres branchiaux.....	84
d) Les paramètres indicateurs du métabolisme.....	84
(1) La glycémie.....	84
(2) Les paramètres permettant l'analyse du statut nutritionnel.....	84
e) L'électrophorèse des protéines sériques.....	84
f) Interprétation du ionogramme.....	88
g) Les gaz du sang.....	88
h) Autres dosages.....	88
<b>3. Bactériologie et microbiologie.....</b>	<b>88</b>
<b>4. L'imagerie.....</b>	<b>89</b>
a) La radiographie.....	89
b) L'échographie.....	90
<b>5. L'endoscopie.....</b>	<b>90</b>
<b>6. Les autopsies et histologies.....</b>	<b>91</b>
C. Les traitements disponibles.....	91
<b>1. Les voies d'administration.....</b>	<b>91</b>
<b>2. Les différentes molécules disponibles.....</b>	<b>92</b>
a) Les solutés intraveineux.....	92
b) La transfusion : gestion thérapeutique des anémies sévères.....	93
c) Cas particulier des tranquillisations, sédations et anesthésies.....	93
(1) L'immobilisation tonique.....	93
(2) La narcose à l'oxygène.....	93
(3) Le méthane sulfonate de tricaine : MS-222.....	93
(4) Les agents injectables.....	93
(a) Le propofol.....	94
(b) Le midazolam.....	94
(c) L'association tiletamine-zolazépam.....	94
(d) L'association médétomidine-kétamine.....	94
(e) L'association médétomidine-butorphanol.....	94
d) Les antibiotiques disponibles.....	94
(1) Les céphalosporines.....	94
(2) Les aminosides.....	95
(3) Les quinolones.....	95
(4) Les tétracyclines.....	95
(5) Les phénicolés.....	95
(6) Les sulfamides.....	95
e) Les antifongiques.....	96
f) Les antiviraux.....	96
g) Les antiparasitaires.....	96
(1) Le cuivre.....	96
(2) Le métronidazole.....	96
(3) Le fenbendazole.....	96
(4) L'ivermectine.....	96
(5) Le praziquantel.....	96
(6) La chloroquine.....	97
h) Les anti-inflammatoires stéroïdiens et non stéroïdiens.....	97

PARTIE 2 : APPROCHE TERRAIN .....	103
ÉTAT DES LIEUX DES PATHOLOGIES ET DES CAUSES DE MORTALITÉ CHEZ LES REQUINS EN AQUARIUMS ET EXEMPLES DE CAS CLINIQUE.....	103
<b>I. Enquête terrain : état des lieux des pathologies et causes de mortalité chez les requins des aquariums français ...</b>	<b>104</b>
A. Objectifs de l'étude .....	104
B. Matériels et méthodes .....	104
<b>1. Réalisation du questionnaire d'étude et diffusion .....</b>	<b>104</b>
<b>2. Collecte des données .....</b>	<b>104</b>
a) Anonymat .....	104
b) Animaux d'intérêt .....	105
c) Analyse des questionnaires .....	105
d) Choix de l'interprétation des résultats des pathologies et des causes de mortalité .....	105
C. Résultats .....	106
<b>1. Participants à l'étude .....</b>	<b>106</b>
<b>2. Description générale des structures (première partie du questionnaire) .....</b>	<b>106</b>
a) Les espèces recensées .....	107
b) Approvisionnement et le contrôle des bassins .....	108
<b>3. Critères de surveillance et prise en charge lors de pathologie suspectée (deuxième partie du questionnaire) .....</b>	<b>110</b>
<b>4. Alimentation, les pathologies, les causes de mortalité, et les examens complémentaires réalisés dans les différents aquariums (troisième partie du questionnaire).....</b>	<b>112</b>
a) Alimentation .....	112
b) Les principales pathologies et les grandes causes de mortalité .....	114
(1) Les pathologies recensées.....	114
(2) Les pathologies par espèce de requin .....	117
(3) Les causes de mortalité.....	120
(4) Les causes de mortalité par espèces.....	122
c) Les différents examens complémentaires .....	124
D. Discussion .....	125
<b>1. Limites de l'analyse et de l'interprétation des questionnaires .....</b>	<b>125</b>
<b>2. Discussion des objectifs et critiques des résultats .....</b>	<b>125</b>
a) Fonctionnement des différentes infrastructures : approvisionnement et contrôle des bassins.....	125
b) Critères de surveillance des requins et les premiers gestes de prise en charge d'un individu malade ....	125
c) Gestion de l'alimentation .....	126
d) Inventaire des grandes pathologies et des causes de mortalité rencontrées chez les requins dans les aquariums français .....	126
(1) Comparaison des matériels et méthodes avec les études de la littérature .....	126
(2) Comparaison des différents résultats : les cas pathologiques .....	127
(3) Comparaison des différents résultats : les causes de mortalité .....	130
(4) Comparaison des différents résultats : les cas pathologiques et causes de mortalité suivant les différentes espèces .....	131
(5) Détermination des différents examens complémentaires et des outils diagnostics disponibles dans les aquariums français.....	132
(6) Détermination des traitements mis en place à ce jour et comparaison aux traitements connus dans la bibliographie.....	132
(7) Principaux biais et limites de l'étude et pistes d'amélioration .....	133
<b>II. Cas cliniques : enquête diagnostique sur les différentes causes d'anémie et de mortalité de deux requins de l'espèce <i>Stegostoma fasciatum</i> à l'aquarium de l'Institut Océanographique de Monaco. ....</b>	<b>135</b>

#### PARTIE CONFIDENTIELLE

CONCLUSION.....	136
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	137

# TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire diffusé à l'ensemble des aquariums français lors de l'étude terrain. ....	142
Annexe 2 : Tableau comparatif des différents teneurs en métaux lourds dans les muscles de différents requins .....	151
Annexe 3 : Tableau comparatif des différents teneurs en métaux lourds dans les foies de différents requins .....	152

# TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Illustration de l'anatomie externe du requin en vue latérale gauche. ....	24
Figure 2 : Illustration des deux types de vertèbres du requin en vue antérolatérale. ....	25
Figure 3 : Photographies macroscopiques et microscopiques de la peau. ....	26
Figure 4 : Photographies des pores cutanés de la ligne latérale d'un requin-taupe <i>Lamna nasus</i> et des ampoules de Lorenzini d'un requin gris <i>Carcharhinus plumbeus</i> . ....	28
Figure 5 : Photographies de l'appareil respiratoire de deux espèces d'éla smobran ches. ....	29
Figure 6 : Photographies de l'anatomie du cœur d'une raie-guitare <i>Rhynchobatus djiddensis</i> (à gauche) et d'un requin gris <i>Carcharhinus plumbeus</i> en vue ventrale (à droite). ....	30
Figure 7 : Photographies microscopiques d'hématies de différentes espèces de requins. ....	32
Figure 8 : Différentes cellules sanguines provenant de ponction de la veine caudale d'un requin <i>Rhincodon typus</i> . ....	35
Figure 9 : Différents leucocytes sanguins provenant de ponctions de la veine caudale de requins-nourrices <i>Ginglymostoma cirratum</i> et de requins-zèbres <i>Stegostoma fasciatum</i> . ....	36
Figure 10 : Thyroïde d'un requin <i>Carcharhinus plumbeus</i> – topographie suite au retrait du muscle coracomandibulaire. ....	37
Figure 11 : Illustration des muscles thoraciques et de la thyroïde sur un requin en vue ventro-latérale. ....	37
Figure 12 : Photographies des différentes portions du tractus digestif et des organes annexes d'un requin d'espèce <i>Carcharhinus plumbeus</i> . ....	40
Figure 13 : Dessins des quatre types morphologiques de valve spirale. ....	41
Figure 14 : Photographie d'un requin-taupe mâle <i>Lamna nasus</i> – topographie à l'ouverture abdominale. ....	42
Figure 15 : Dessin anatomique simplifié de l'appareil reproducteur mâle adulte. Différentes topographies et morphologies sont observables suivant les espèces. ....	44
Figure 16 : Dessin anatomique simplifié de l'appareil reproducteur femelle adulte. Différentes topographies et morphologies sont observables suivant les espèces. ....	45
Figure 17 : Photographies des reins et des appareils reproducteurs mâle et femelle de deux éla smobran ches. ....	47
Figure 18 : Photographies de la topographie interne de l'appareil reproducteur adulte chez la femelle et chez le mâle de différentes espèces de requins. ....	48
Figure 19 : Monogènes branchiaux chez une raie <i>Aetobatus narinari</i> . ....	59
Figure 20 : Différents aspects de foies sain et pathologique chez une raie <i>Rhinoptera bonasus</i> . ....	63
Figure 21 : Otite interne chez un requin de récif à pointe blanche <i>Triacodon obesus</i> . ....	67
Figure 22 : Éversion gastrique avec entrappement oropharyngé et infarcissement de l'estomac chez une raie <i>Rhinoptera bonasus</i> . ....	68
Figure 23 : Goitre chez un requin-Léopard <i>Triakis semifasciata</i> . ....	69
Figure 24 : Diagramme circulaire des différentes pathologies les plus communément rencontrées dans les aquariums français. ....	115
Figure 25 : Diagramme circulaire des différentes maladies infectieuses les plus fréquemment rencontrées dans les aquariums français. ....	115
Figure 26 : Histogramme des différentes parasitoses les plus fréquemment rencontrées dans les aquariums français. ....	116
Figure 27 : Diagramme circulaire des différentes causes traumatiques rencontrées dans les aquariums français. ....	116
Figure 28 : Histogramme représentant les différentes espèces recensées et selon chaque espèce, le nombre d'individus malades. ....	117
Figure 29 : Diagramme circulaire des différentes causes de mortalité les plus communément rencontrées dans les aquariums français. ....	120
Figure 30 : Diagramme circulaire des causes de mortalité infectieuses dans les aquariums français. ....	120

Figure 31 : Histogramme représentant les différentes espèces recensées et selon chaque espèce, le nombre d'individus décédés. .... 122

**AUTRES FIGURES CONFIDENTIELLES**

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau synthétique des différents types cellulaires sanguins retrouvés chez les élasmobranches. ....	34
Tableau 2 : Tableau récapitulatif des différentes bactéries plus ou moins pathogènes chez les requins. ....	53
Tableau 3 : Autres affections fongiques répertoriées dans la littérature à l'origine de maladies et de mortalités chez les requins. ....	56
Tableau 4 : Liste des parasitoses peu dominantes connues chez les élasmobranches. ....	62
Tableau 5 : Tableau récapitulatif de l'interprétation des différentes valeurs biochimiques chez les élasmobranches. ....	86
Tableau 6 : Tableau récapitulatif des principaux traitements disponibles chez les élasmobranches. ....	98
Tableau 7 : Espèces ayant déjà été présentées dans les aquariums français. ....	107
Tableau 8 : Récapitulatif des différents paramètres environnementaux mesurés dans onze aquariums et leur fréquence de mesure. ....	109
Tableau 9 : Récapitulatif des différents critères de surveillance des requins en aquarium et leur fréquence de mesure. ....	111
Tableau 10 : Tableau récapitulatif des différentes données recueillies concernant les taux de rationnement, la fréquence des nourrissages, les compléments vitamines alimentaires des différentes espèces de requins dans les aquariums français. ....	113
Tableau 11 : Tableau récapitulatif des taux de rationnement et des fréquences des nourrissages chez les espèces les plus fréquemment rencontrées dans les aquariums français. ....	114
Tableau 12 : Tableau récapitulatif des différentes grandes pathologies rencontrées par espèce dans les aquariums français. ....	118
Tableau 13 : Tableau récapitulatif des différentes causes de mortalité rencontrées par espèce dans les aquariums français. ....	123

**AUTRES TABLEAUX CONFIDENTIELS**

## TABLE DES ABREVIATIONS ET DES SIGLES

AES : American Elasmobranch Society

AINS : Anti-Inflammatoire Non Stéroïdien

ALAT : Alanine aminotransférase

ASAT : Aspartate aminotransférase

CCMH : Concentration Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine exprimée en pourcentage (et correspondant au rapport : hémoglobine/hématocrite)

CK : Créatine Kinase

EPO : Érythropoïétine

GGT : Gamma-glutamyltranspeptidase

GLDH : Glutamate déshydrogénase

Ht : Hématocrite (volume occupé par la population érythrocytaire dans le sang en pourcentage)

Hb : Hémoglobine (masse d'hémoglobine présente dans le sang par unité de volume)

IC : Intracoelomique

Il1 : Interleukine 1

IM : Intramusculaire

IS : Intrasinusienne

IV : Intraveineuse

NFS : Numération Formule Sanguine

PAL : Phosphatases alcalines

PCV : Packed Cell Volume

PO : *per os*

Ppm : Part Per Million ou Partie Par Million en français

PV : Poids Vif

Rpm : Respirations Par Minute

TGMH : Teneur Globulaire Moyenne en Hémoglobine exprimée en pg (et correspondant au rapport : hémoglobine/teneur en globules rouges.)

TMAO : Triméthylamine

TNF : Tumor Necrosis Factor ou facteur de nécrose tumorale en français

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses ressources

VGM : Volume Globulaire Moyen (taux d'hématocrite en % rapporté à la quantité de globules rouges (fL). C'est un indicateur de la taille des hématies qui pourront ainsi être qualifiées de microcytaires, normocytaires ou macrocytaires.)

ZIMS : Zoological Information Management Software

# CONTEXTE ET INTRODUCTION

Les requins et les raies appartiennent tous deux à la classe des **chondrichthyens**, ou poissons **cartilagineux**, et à la sous-classe des **élastmobranches**. Ces derniers sont représentés par plus de 470 espèces de requins et 650 espèces de raies. La littérature taxonomique traditionnelle (Compagno, 2001 ; Serena, 2005 ; Bradai *et al.*, 2018) divise classiquement les « Pleurotrèmes » ou requins, des « Hypotrèmes » ou raies.

Au cours des années 1999-2001, Compagno, propose une nouvelle taxonomie qui divise la sous-classe des élastmobranches en deux super-ordres à savoir, les requins *Squalomorphii* et les requins *Galeomorphii*. C'est au sein des requins dits « *Squalomorphii* » que figurent les raies, ainsi considérées aujourd'hui comme : des requins ! Cette thèse s'intéresse uniquement aux requins « Pleurotrèmes », les raies n'ont ainsi pas été abordées.

Malgré la place prépondérante des élastmobranches dans la faune marine, ces espèces restent encore aujourd'hui très mal connues et suscitent en milieu naturel, comme en aquarium d'ailleurs, pléthore de questions. Le congrès mondial de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses ressources) tenu en septembre 2021 à Marseille estime que 37 % des espèces de requins et raies sont menacées d'extinction dans le monde. La surpêche en est aujourd'hui le premier responsable devant la destruction de leur milieu naturel et le réchauffement climatique.

En milieu naturel, les **pathologies sont peu connues, voire non abordées**, faute notamment de suivi des animaux. En aquarium néanmoins, la question des pathologies est prépondérante, l'environnement conditionnant majoritairement la santé des animaux. Sur l'aspect quantitatif, très peu de données sont aujourd'hui disponibles à ce sujet, mais certaines dominantes pathologiques sont aujourd'hui bien connues. Les aquariums occupent, dans ce sens, une place décisive dans la progression de notre savoir sur les animaux marins.

Ce travail de thèse est le fruit de nombreux échanges avec des vétérinaires, aquacoles ou non, et les aquariums français. Les objectifs sont, de dresser un **état des connaissances émergentes** concernant les élastmobranches et plus spécifiquement les requins, d'établir un **état des lieux des différentes pathologies** connues chez les requins à ce jour, et de les confronter aux pathologies rencontrées **en aquarium**.

Les données collectées dans cette thèse concernent, au mieux, les espèces cibles et au plus large, les téléostéens, poissons à nageoires rayonnées, pourvus d'écaillés, représentant la grande majorité des espèces de poissons. Elle sera rédigée en **deux parties** :

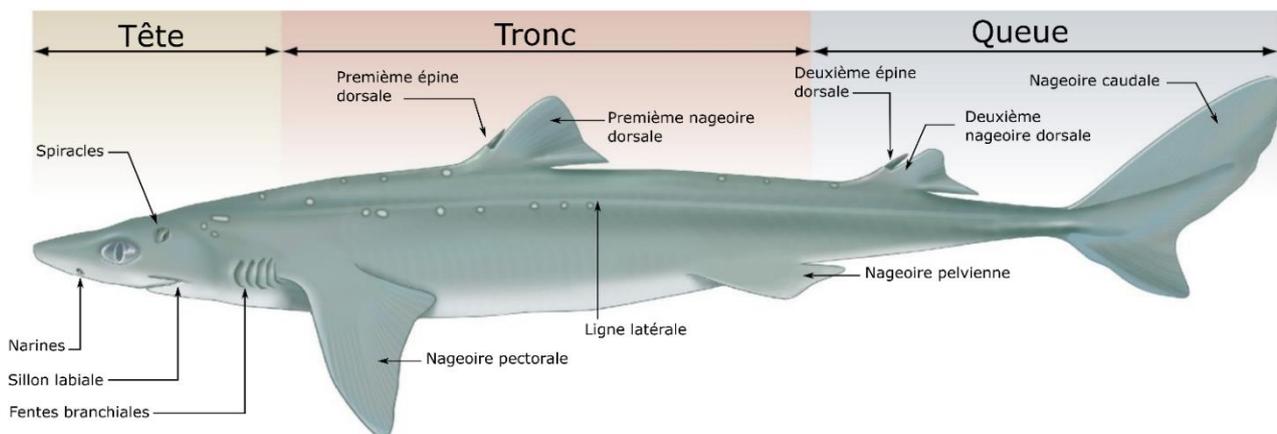
- La première partie, purement bibliographique, permet de faire le point sur les **grandes notions d'anatomie et de physiologie** connues à ce jour chez les requins. Elle présente également les **pathologies** rencontrées chez ces espèces en milieu naturel et en aquarium dans le monde, ainsi que les **principaux examens complémentaires et traitements disponibles**.
- La seconde partie est composée d'une analyse descriptive des principales **pathologies observées jusqu'à ce jour dans les aquariums français**. Cette analyse a été permise par la réalisation d'un inventaire, alimenté par un questionnaire auquel ont participé les aquariums volontaires. Cet état des lieux a été motivé par l'étude de **deux cas cliniques** étudiés à l'Institut Océanographique de Monaco, qui font également l'objet de cette partie. Elle soulignera notamment les grandes causes d'anémie chez les requins, syndromes communs aux deux cas étudiés.

## PARTIE 1 : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## I. Anatomie et physiologie des requins

Anatomiquement, le corps des requins peut être séparé en trois parties distinctes (Figure 1). La région de la tête qui s'étend jusqu'à la dernière fente branchiale, le tronc s'étendant jusqu'au cloaque, puis la queue.

Anatomiquement, la nageoire antérieure dorsale se localise au milieu du tronc et est caractérisée chez certains requins par son épine dorsale. Les nageoires pectorales se situent anatomiquement juste en arrière de la dernière branchie et les nageoires pelviennes sont situées à la fin du tronc, de part et d'autre du cloaque. Chez le mâle, cette nageoire se prolonge par l'organe copulateur, les ptérygopodes. Commence ensuite la queue partant du cloaque pour finir par la puissante nageoire caudale apportant la force de propulsion. Noter la présence d'une nageoire anale et d'une nageoire postérieure dorsale présentant également une épine dorsale, chez certains requins.



**Figure 1 : Illustration de l'anatomie externe du requin en vue latérale gauche.**

Chaque segment et organe les constituants seront ici développés de manière non exhaustive afin de poser les bases anatomiques et physiologiques nécessaires à la compréhension des chapitres suivants.

### A. Anatomie, physiologie du squelette et des muscles

Comme celui des raies, le squelette des requins est entièrement constitué de **cartilage**. Ce dernier est composé de chondrocytes insérés dans une matrice extracellulaire, parfois plus ou moins minéralisée en fonction des parties concernées (états de calcification). C'est le cas, par exemple, des cartilages de la mâchoire, plus calcifiés. Un périchondre c'est-à-dire le tissu conjonctif entourant le cartilage assure sa nutrition et sa croissance (Stoskopf 1993).

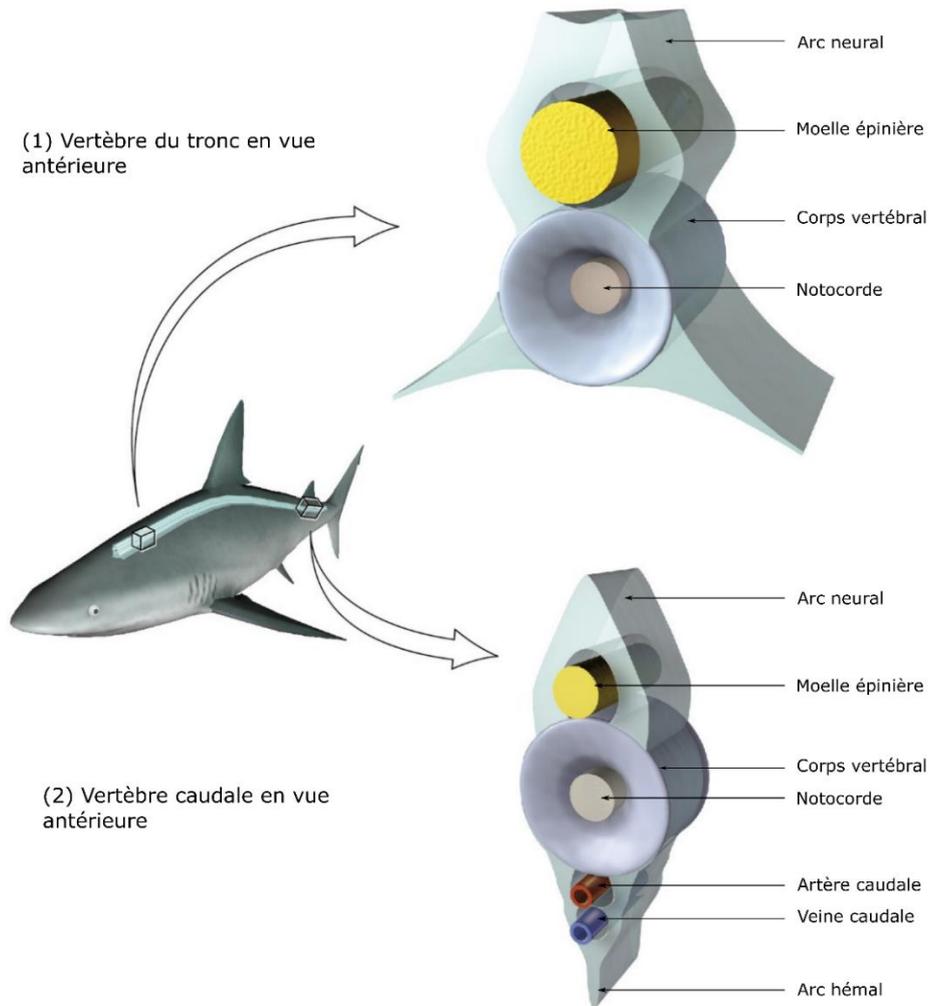
Chez les requins, le cartilage ne représente que 3 à 10 % du poids vif de l'animal lui conférant ainsi une légèreté et une souplesse apportant plusieurs avantages, notamment l'augmentation de la flottation en effet, les requins **ne possèdent pas de vessie natatoire** (Stoskopf 1993).

Le crâne est constitué d'un seul bloc contrairement aux mammifères, dans le lequel s'insère le cerveau et d'où émane les nerfs crâniens. Le cerveau des élamobranthes est relativement grand et remplit complètement ou partiellement le neurocrâne<sup>1</sup>. Un fluide clair, extradural, est présent entre les méninges et le crâne, il s'agit d'une observation normale. Différent du liquide céphalo-rachidien, il peut néanmoins devenir inflammatoire par extension de méningo-encéphalites (Terio *et al.* 2018).

<sup>1</sup>Partie du crâne qui enveloppe l'encéphale

Du crâne partent les vertèbres, on en distingue deux types (De Iuliis, Pulerà 2011) : les vertèbres du tronc et les vertèbres caudales. Elles sont toutes deux constituées de corps vertébraux (en forme de sablier) contenant la notocorde<sup>2</sup> faisant office de squelette axial. Ces corps vertébraux sont tous surmontés d'un arc neural protégeant ainsi la moelle épinière (Figure 2). Les vertèbres caudales présentent une autre particularité puisque les corps vertébraux présentent en face ventrale, l'arc hémal, qui contient l'artère caudale dorsale et la veine caudale ventrale.

La colonne permet la jonction avec certaines nageoires, à savoir : les dorsales antérieure et postérieure, et la nageoire caudale.



© Dino Pulerà & Gerardo De Iuliis, image used with permission  
Source: De Iuliis, Gerardo, and Dino Pulerà. 2019. *The Dissection of Vertebrates: A Laboratory Manual. Third Edition.* Amsterdam: Elsevier/Academic Press

**Figure 2 : Illustration des deux types de vertèbres du requin en vue antérolatérale.**

Il existe chez les requins deux types de **muscles** (Smith *et al.* 2004 ; Bradai *et al.* 2018) :

- les muscles rouges, présentant une vascularisation particulièrement développée, et dont l'activité dépend de l'oxydation des graisses (métabolisme aérobie). Ils sont localisés en région sous-cutanée et représentent 10 % de la masse musculaire. Ils sont particulièrement abondants chez les espèces pélagiques et sont utilisés lors de la nage lente.

- les muscles blancs, plus faiblement irrigués, utilisés lors des accélérations et dont l'activité dépend de la dégradation du glycogène (métabolisme anaérobie).

<sup>2</sup> Élément cartilagineux soutenant la moelle épinière et précurseur de la colonne vertébrale

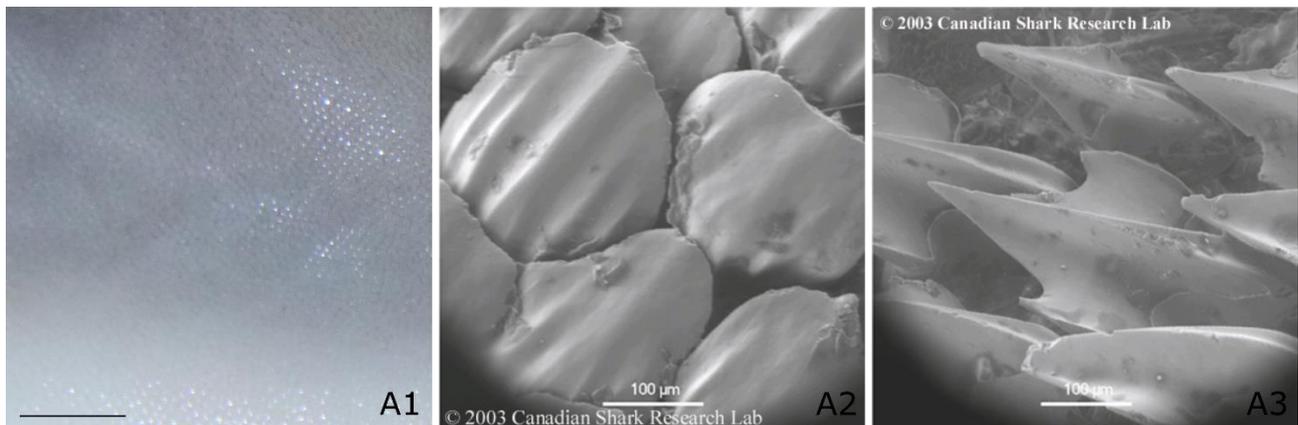
## B. Anatomie, physiologie de la peau

La peau des requins est constituée d'écailles dites « placoïdes », il s'agit de multiples denticules enchâssés dans l'épiderme et renouvelés tout au long de leur vie (Figure 3). Leur croissance n'est pas continue contrairement aux épines dorsales des Hétéroodontiformes et des Squaliformes.

Comme les dents des mammifères, elles sont constituées de dentine et d'émail et naissent de la plaque basale pour traverser l'épiderme et s'orienter vers la queue de l'animal (Stoskopf, 1993 ; De Iuliis et Pulerà, 2011 ; Deynat, 2014). Malgré certains critères morphologiques communs (présence d'une plaque basale, d'un pédoncule, et d'une couronne), il existe de très grandes variations morphologiques suivant les espèces avec de possibles différenciations en structures secondaires telles que les épines, les boucles, les aiguillons... (Deynat 2014). Certains épithéliums recouvrant ces structures sont capables d'excréter des venins (Terio *et al.* 2018).

Si ces différents aspects morphologiques semblent parfaitement coïncider avec le mode de vie de l'espèce, il est certain que ces denticules confèrent au requin l'hydrodynamisme (Stoskopf 1993; Deynat 2014).

Les femelles ont également une peau plus épaisse, et une densité d'écaille plus importante que les mâles sur les zones sujettes aux morsures engendrées lors de la reproduction (Terio *et al.* 2018).



**Figure 3 : Photographies macroscopiques et microscopiques de la peau.**

**(A1) photographie de la peau d'un requin *Carcharhinus plumbeus* ; (A2 et A3) denticules agrandis (x200) et (x180) par microscopie électronique à balayage (A2) d'un requin-taupe *Lamna nasus* et (A3) d'un aiguillat commun *Squalus acanthias*. Sources : (A1) ©Camille Sibout ; (A2 et A3) ©« Heather Bowlby, Canadian Atlantic Shark Research Laboratory, Fisheries and Oceans, Canada » – images used with permission (Bowlby 2016).**

## C. Anatomie et physiologie de la tête

### 1. Les organes des sens

Les requins sont pourvus d'un système sensoriel extrêmement développé (Carrier *et al.* 2004).

À l'observation des deux surfaces latérales du requin, comme chez les poissons, on peut distinguer une ligne plus pâle, s'étendant de la tête à la queue : **la ligne latérale**. Elle fait partie des nombreux organes mécanosensoriels des élasmobranches, qui constituent les neuromastes superficiels (toutes ces structures ne sont pas développées ici). A l'œil nu, on peut distinguer de multiples pores, ces derniers fusionnent dans un canal renfermant des terminaisons nerveuses sensorielles. Cet appareil mécanoréceptif permet la détection des vibrations et donc des modifications de pressions appliquées sur la peau. Il est ainsi impliqué dans l'orientation des animaux dans les courants d'eau, la localisation des proies, des prédateurs, des congénères... Il se différencie en deux autres systèmes : **l'appareil d'équilibration** (oreille interne) et **l'appareil de Lorenzini** (électro-réception) (De Iuliis, Pulerà 2011).

Les **oreilles internes** des chondrichthyens sont particulièrement développées et sont situées dans les capsules otiques à l'arrière du crâne. Elles sont composées d'un labyrinthe membraneux rempli d'un liquide, l'endolymphe, et constitué de :

- trois canaux semi-circulaires (idem que ceux présents chez les autres vertébrés) permettant la détermination de l'accélération angulaire et non la perception des sons. Ils sont reliés à un sac : le saccule,
- quatre macules sensorielles, pourvues de cellules ciliées responsables de l'audition (Carrier *et al.*, 2010 ; De Luliis et Pulerà, 2011).

Noter qu'un **canal endolymphatique** ouvert connecte ainsi les saccules à la surface de la peau (face dorsale de la tête) (De Luliis, Pulerà 2011). L'oreille est innervée par le nerf crânien n°VIII. Diverses études montrent que les requins sont sensibles aux basses fréquences, entre 10 et 80 hertz (Bradai *et al.* 2018), mais rien ne prouve qu'ils seraient plus sensibles que d'autres poissons. De plus, l'appareil auditif des requins ne se limite pas seulement à la détection des sons, mais participe également à la localisation de la provenance du son.

Les élasmobranches possèdent également un système ampullaire complexe ayant pour fonction l'électroréception des stimuli électriques de basse fréquence : **les ampoules de Lorenzini**. Elles se localisent sur la tête de l'animal, et se matérialisent par de petites ampoules renfermant des centaines de récepteurs sensoriels (reliés au nerf crânien n°VIII). Elles se présentent macroscopiquement comme des vésicules remplies d'un matériel conducteur de consistance gélatineuse et incolore (Figure 4). Leurs rôles sont : la détection des proies, des prédateurs, des congénères, l'orientation dans des champs électriques, dans la navigation géomagnétique, dans la détection des températures...(Carrier *et al.* 2004).

Concernant **l'olfaction**, elle joue un rôle primordial chez les élasmobranches notamment dans la recherche de nourriture, la recherche de congénère pour la reproduction, la détection des prédateurs... Les organes olfactifs sont particulièrement développés chez ces espèces et sont localisés latéralement sur la face ventrale de la tête crânialement à la bouche, dans des structures cartilagineuses. Ils sont composés de sacs olfactifs comprenant de multiples lamelles constituées de nombreux plis entourant les bulbes olfactifs (Shuttleworth 1988).

Peu d'informations sont disponibles quant aux **performances visuelles** des requins (capacité à distinguer les couleurs notamment). La position des yeux permet aux élasmobranches une vision à 360°. L'anatomie des annexes de l'œil est davantage développée que chez les téléostéens, mais relativement différente entre espèces de requins (paupières plus ou moins mobiles, présence ou non d'une membrane nictitante, mobilité des muscles extra-oculaires...). Anatomiquement, la partie externe de l'œil est composée d'une sclère cartilagineuse et d'une cornée transparente. L'iris est, contrairement aux téléostéens, plus ou moins dynamique et la forme de la pupille est très différente en fonction des espèces (Carrier *et al.* 2004). Le cristallin n'est pas déformable (Bradai *et al.* 2018).



**Figure 4 : Photographies des pores cutanés de la ligne latérale d'un requin-taupe *Lamna nasus* et des ampoules de Lorenzini d'un requin gris *Carcharhinus plumbeus*.**

Les narines et la membrane nictitante sont également observables sur ces deux clichés. Sources : Premier cliché ©« Heather Bowlby, Canadian Atlantic Shark Research Laboratory, Fisheries and Oceans, Canada » — images used with permission (Bowlby 2016); autres clichés : ©Camille Sibout.

## 2. Le système respiratoire et osmorégulation

La cavité buccale des élamobranthes est composée d'une seule cavité orobranchiale et de cinq à sept fentes branchiales (De Iuliis et Pulerà, 2011; Terio *et al.*, 2018). L'anatomie des branchies des élamobranthes est différente de celle des téléostéens. Selon les espèces, chaque fente peut être incrustée de part et d'autre, par des structures digitiformes appelées branchiospines (Figure 5), évitant le passage d'aliment dans les branchies. Les fentes sont séparées d'un septum branchial, élément cartilagineux portant les lamelles branchiales ou filaments branchiaux (dépourvus de cartilages) et constituant l'arc branchial. Si les lamelles sont situées de chaque côté du septum, on parle de branchie complète ou holobranchie, tandis que l'on parle d'hémibranchie si ces lamelles ne sont portées que par un côté du septum (De Iuliis, Pulerà 2011 ; Terio *et al.* 2018).

En fonction de l'espèce, deux types de respiration peuvent être observés :

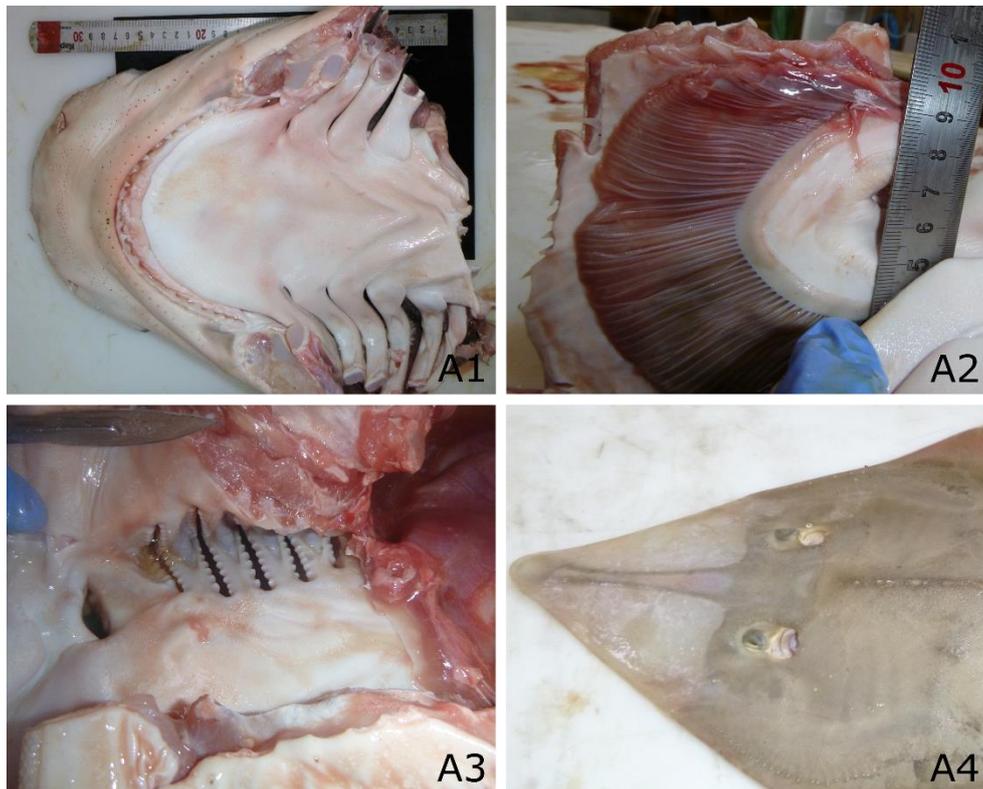
- une ventilation active par pompage buccal actif de l'eau (et par les spiracles) permis par les muscles buccaux,
- la respiration « par béliet ».

Cette dernière concerne principalement les espèces pélagiques : les requins gardent la bouche ouverte en nageant ce qui leur permet de ventiler leurs branchies. Ces requins sont obligés de nager constamment pour assurer leurs besoins. Les requins de l'ordre des Lamniformes et des Carcharhiniformes, notamment les requins-tigres, les requins blancs, les requins-marteaux sont des requins à ventilation béliet obligatoire, ce qui les prédispose à l'hypercapnie<sup>3</sup> et à l'acidose respiratoire lors de manipulations ou de captures.

Les requins non pélagiques à respiration active peuvent, eux, se reposer dans les fonds marins pendant de longues périodes, et présentent une grande tolérance aux situations d'anaérobiose (Shuttleworth 1988 ; Mylniczenko *et al.* 2006 ; Terio *et al.* 2018). Certains requins comme *Carcharias taurus* utilisent les deux types de respiration.

La bouche et les spiracles (ouvertures situées caudalement à l'œil et crânialement à la première fente pharyngienne) permettent le passage de l'eau dans le pharynx puis par les fentes branchiales. Ces spiracles sont fortement réduits chez les espèces à ventilation béliet, ils sont absents chez certaines espèces.

<sup>3</sup> Augmentation de la PaCO<sub>2</sub> sanguine (pression artérielle partielle de dioxyde de carbone)



**Figure 5 : Photographies de l'appareil respiratoire de deux espèces d'élastombranches.**

(A1) Fentes branchiales d'un requin gris *Carcharhinus plumbeus* en vue ventrale d'une coupe longitudinale ; (A2) septum branchial portant les lamelles branchiales constituant l'arc branchial d'un requin gris *Carcharhinus plumbeus* ; (A3) fentes branchiales incrustées de structures digitiformes appelées branchiospines chez une raie-guitare *Rhynchobatus djiddensis* ; (A4) spiracles d'une raie-guitare *Rhynchobatus djiddensis*. Source : ©Camille Sibout.

Les requins vivants dans l'eau salée présentent une hyperosmolarité par rapport à l'eau environnante (Shuttleworth 1988 ; Hammerschlag 2006). Les branchies sont indispensables à l'osmorégulation des élastombranches (Thrall *et al.* 2012). C'est une interface d'échange, et notamment le lieu d'excrétion des deux tiers de la quantité totale de sodium et de chlorure. Elles sont le lieu principal de maintien de l'équilibre acido-basique et jouent un rôle majeur dans la régulation de l'urée, grâce à leur faible perméabilité.

La plupart des élastombranches étudiés sont uréotéliques<sup>4</sup>. Comme évoqué dans le paragraphe sur la fonction rénale (page 42), la triméthylamine (TMAO) sanguine permet de neutraliser les effets toxiques de l'urée. Cette dernière est produite par le foie, et probablement dans l'estomac. Certains auteurs (Hammerschlag 2006), décrivent également de nombreuses bactéries uréolytiques dans certains organes comme les reins, le foie, la rate de certains requins. Ces bactéries auraient un rôle dans la régulation des concentrations en urée chez ces animaux. De nombreuses études sont aujourd'hui en cours afin de déterminer les interactions bactériennes physiologiques (synthèse de la TMAO et bactéries, l'urée et son utilisation par les bactéries) (Hammerschlag 2006).

L'urée est excrétée comme chez les téléostéens par les branchies, cette excrétion varie en fonction des espèces. Noter que l'urée est principalement réabsorbée dans les reins pour 70 à 99 % et que son excrétion représente de 4 à 20 % de la perte totale de l'urée. Les reins sont des sites d'excrétion mineurs de l'urée comparée aux branchies (Hammerschlag 2006).

<sup>4</sup> L'excrétion des déchets azotés se fait sous forme d'urée

La température corporelle des requins varie selon l'espèce. Bien que la majeure partie des espèces soit poïkilotherme, c'est-à-dire que la température corporelle de l'animal est similaire à la température de l'eau ambiante, certaines espèces telles que les requins de la famille des lamnidés, sont endothermes, c'est-à-dire qu'ils peuvent maintenir leur température corporelle plus élevée que la température ambiante et de manière stable. Noter que selon l'espèce, la température du milieu de vie est très diversifiée.

## D. Anatomie, physiologie du tronc

La cavité coelomique est constituée de deux entités représentées par la cavité péricardique, contenant le cœur (développée dans la partie suivante) et la cavité pleuro-péritonéale, séparées par un septum.

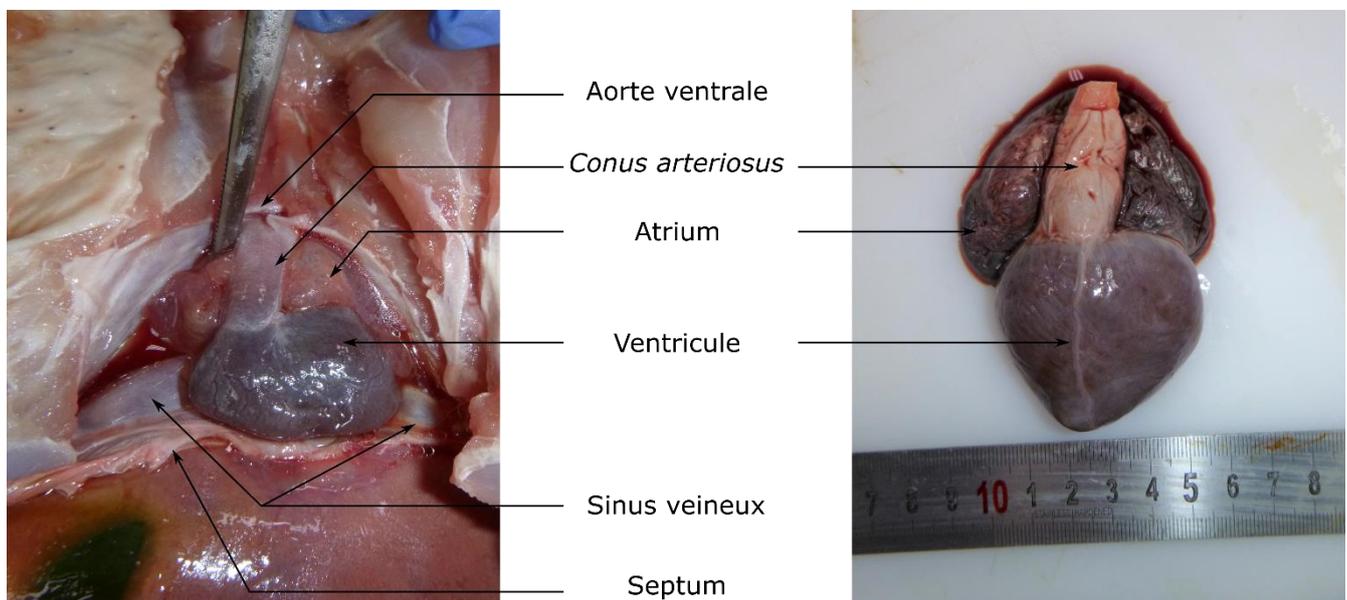
### 1. Le système cardiovasculaire

#### a) Le cœur

Anatomiquement, le cœur des requins est situé crânialement au foie et ventralement à l'estomac. Il est inséré dans la cavité péricardique remplie de liquide et recouvert lui-même, du feuillet péricardique viscéral. Il est constitué de quatre structures majeures (Figure 6) : un sinus veineux, une oreillette ou atrium, un ventricule, et un cône artériel aussi nommé *conus arteriosus* (De Iuliis, Pulerà 2011 ; Terio *et al.* 2018).

À l'observation de la cavité cardiaque, le ventricule est la structure la plus proéminente.

Le sang pauvre en oxygène arrive tout d'abord au sinus veineux, avant de se diriger vers l'atrium ou oreillette où il est envoyé vers le ventricule. Le sang provenant du ventricule est dirigé vers le cône artériel puis, vers l'aorte ventrale, il gagne ensuite les artères branchiales afférentes puis les capillaires branchiaux. Dans les branchies, deux types de circulations sont observées : l'une réservée aux échanges respiratoires, l'autre réservée aux échanges nutritionnels et au drainage veineux (Shuttleworth 1988).



**Figure 6 : Photographies de l'anatomie du cœur d'une raie-guitare *Rhynchobatus djiddensis* (à gauche) et d'un requin gris *Carcharhinus plumbeus* en vue ventrale (à droite).**

Source : ©Camille Sibout.

Le péricarde est, selon les espèces, plus ou moins rigide, ceci permet d'assurer une pression négative croissante lors de la phase d'éjection systolique, ce qui contribue au retour veineux par « aspiration » (Shuttleworth 1988 ; De Iuliis, Pulerà 2011). Le péricarde est en relation avec l'espace péritonéal grâce au canal péricardo-péritonéal, canal constitué de valves et situé ventralement à l'œsophage.

Ce canal généralement fermé, peut néanmoins s'ouvrir pour rendre possible le passage du liquide péricardique vers le péritoine, permettant alors, une diminution de la pression (Stoskopf 1993). Le rôle de ce canal n'a pas été clairement identifié, mais certains articles rapportent que l'occlusion chronique de ce canal réduirait le temps de survie de requins de l'espèce *Heterodontus francisci* (Murray 2010).

Le sang, une fois oxygéné, est dirigé vers l'artère branchiale efférente puis vers l'artère dorsale ou il sera desservi aux différents organes. Le système veineux se charge du renvoi du sang vers le cœur.

Les requins présentent un système porte hépatique où le sang en provenance des intestins et de la rate est renvoyé vers le foie. La principale veine d'intérêt est alors la veine porte hépatique adjacente à l'artère hépatique (De Iuliis, Pulerà 2011).

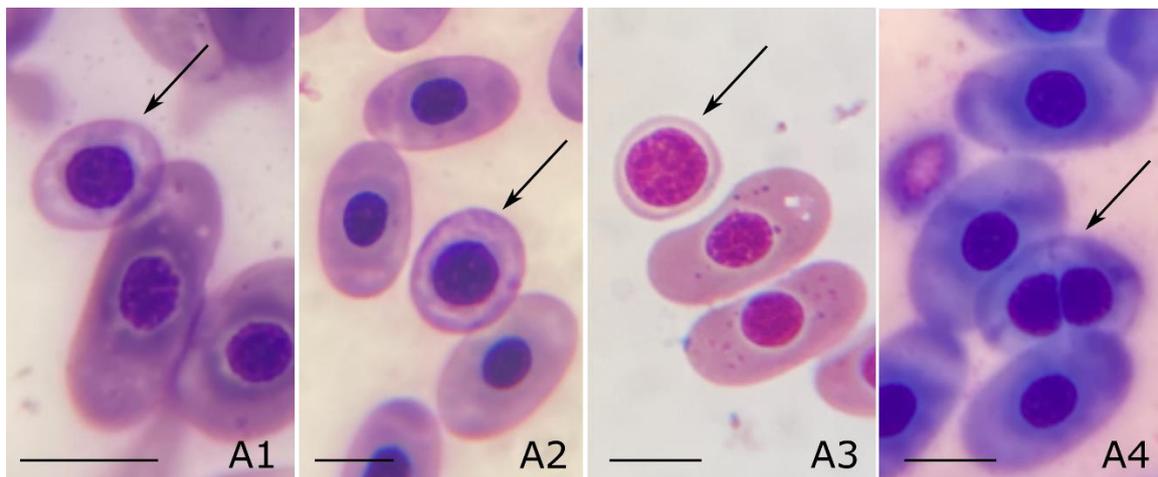
Les requins disposent également d'un système porte rénal. Le sang veineux provenant de la veine caudale et des veines segmentaires (flancs de l'animal) est filtré par les reins *via* ce système porte avant son retour au cœur par la veine cave postérieure (De Iuliis, Pulerà 2011). La contraction musculaire est indispensable pour assurer le retour veineux.

## b) Les cellules sanguines

Il existe aujourd'hui une faible quantité de données bibliographiques quant à l'hématologie et la variation de l'hémogramme lors de pathologies chez les élastombranches (Smith *et al.* 2004 ; Dove *et al.* 2010 ; Weiss, Wardrop 2010 ; Smith *et al.* 2014 ; Campbell 2015). La plupart des données proviennent des téléostéens.

Les **érythrocytes** sont caractérisés par leur forme elliptique et leur noyau central basophile légèrement ovale (Figure 7). Les érythrocytes matures ont un cytoplasme éosinophile pâle, abondant, et peuvent parfois présenter des inclusions foncées, bleutées, et des vacuoles. Des érythrocytes polychromatophiles sont fréquemment rencontrés, ils sont souvent de forme plus arrondie et présentent un cytoplasme plus basophile que les érythrocytes matures. Leur chromatine est en général moins condensée.

Des **érythrocytes immatures**, peuvent également être observés dans la circulation périphérique, ils sont caractérisés par une taille plus petite que les cellules matures, par une forme plus ronde, avec un rapport nucléo-cytoplasmique élevé et un cytoplasme basophile. La chromatine de ces cellules est souvent moins condensée que celles des cellules matures. Des érythroblastes et des proérythroblastes peuvent parfois être observés dans la circulation (Aldana, Vergara 1998 ; Weiss, Wardrop 2010 ; Campbell 2015). Le taux d'érythroblastes circulant est rapporté autour de 2 % (Aldana, Vergara 1998). La réplication et la différenciation de ces cellules semblent se produire au sein du sang périphérique comme en témoignent les images de mitoses observées à plusieurs reprises sur les frottis (Figure 7-A4). La maturation érythropoïétique permet l'augmentation de la taille des cellules, et de leur teneur en hémoglobine. Le nombre d'érythrocytes chez les requins est variable en fonction des espèces et se situe en moyenne entre 0,20 à 0,66 x 10<sup>6</sup> cellules/μL. Il est admis, par exemple, une référence de 0,35 x 10<sup>6</sup> cellules/μL chez le requin-nourrice, *Ginglymostoma cirratum* (Stoskopf 1993). Il a été démontré que ces valeurs étaient également susceptibles de changer en fonction de l'état de stress de l'animal, de sa température, son environnement et le site de prélèvement (Campbell 2015).



**Figure 7 : Photographies microscopiques d'hématies de différentes espèces de requins.**

Érythrocytes provenant de ponctions de la veine caudale. (A1, A2 et A3) érythrocytes matures et immatures (flèche) d'un requin-nourrice, *Ginglymostoma cirratum* en coloration de May-Giemsa, (A4) érythrocyte en division (flèche) dans le sang périphérique d'un requin-zèbre, *Stegostoma fasciatum* en coloration de RAL. Échelle : 10  $\mu$ m. Source : ©Camille Sibout.

La **lignée blanche** (Figures 8 et 9) est définie par les granulocytes, les lymphocytes, et les monocytes. Il semblerait également qu'en fonction de l'espèce, différents granulocytes soient présents ou non. Leur nombre est variable en fonction de l'espèce, mais aussi fonction de facteurs physiologiques tels que l'âge (jeunes avec plus de cellules), la densité de population et des facteurs pathologiques comme le stress, les pathologies infectieuses, ou tout processus inflammatoires et troubles nutritionnels.

Concernant les granulocytes, ils sont constitués des mêmes types cellulaires que chez les mammifères, avec néanmoins un type cellulaire supplémentaire : les **cellules hétérophiles**. Il existe également des confusions concernant les cellules polynucléaires neutrophiles. En effet, certains papiers évoquent ces cellules comme synonyme d'hétérophiles (Weiss, Wardrop 2010 ; Smith *et al.* 2014). Ceci s'explique par l'observation à plusieurs reprises de cellules granulocytaires similaires aux hétérophiles, mais ne présentant aucune granulation cytoplasmique. Aujourd'hui, on ne se sait pas s'il s'agit d'un type cellulaire distinct de type neutrophile, ou s'il s'agit de cellules hétérophiles encore en cours de différenciation n'ayant pas encore développé de granulations (Weiss, Wardrop 2010). Ces granulocytes **neutrophiles**, encore nommés G2 ou de type 2 sont également décrits comme des cellules de grande taille, rondes, avec un noyau polylobé ou non, et un cytoplasme incolore abondant neutre ou légèrement éosinophile (Dove *et al.* 2010). Il a été démontré chez les requins, la fonction de phagocytose de ces cellules (Smith *et al.* 2014).

Du fait de la difficulté de différencier les éosinophiles et hétérophiles, un consensus est aujourd'hui établi selon lequel les **hétérophiles** constituent la lignée granulocytaire prédominante représentant 10 à 30 % de la lignée blanche (Weiss, Wardrop 2010).

Les hétérophiles sont des cellules au noyau excentré, irrégulier et généralement non lobé (bien qu'il puisse l'être pour certaines espèces) présentant un cytoplasme faiblement coloré chargé en fines granulations rondes à ovale de type éosinophilique (Thrall *et al.* 2012 ; Campbell 2015). L'activité phagocytaire de ces cellules a été démontrée, mais leurs autres fonctions restent controversées. Elles semblent occuper le même rôle que les neutrophiles des mammifères (Weiss, Wardrop 2010). De manière plus générale, la fonction des granulocytes et leurs relations chez les élastombranches est inconnue (Campbell 2015).

Dans la lignée granulocytaire figure également des **éosinophiles** dont la proportion a été évaluée de 0 à 10 % de la lignée blanche (Smith *et al.* 2004). Il s'agit de grandes cellules au noyau généralement polylobé

(selon les espèces) et avec un cytoplasme faiblement basophile rempli de grossières granulations fortement éosinophiliques rondes ou en forme de bâtonnets (Thrall *et al.* 2012 ; Campbell 2015).

Selon les ouvrages consultés, la description de la forme des granules cytoplasmiques des cellules hétérophiles et éosinophile est très hétérogène (Thrall *et al.* 2012 ; Smith *et al.* 2014 ; Campbell 2015). La comparaison de différents frottis est importante dans la détermination de la nature de ces cellules. Les anticoagulants, les colorants, et autres facteurs pré-analytiques peuvent affecter l'apparence des frottis sanguins.

Un dernier type cellulaire granulocytaire peut être observé, il s'agit des **cellules basophiles**, caractérisées par leur fort rapport nucléo-cytoplasmique et leur cytoplasme fortement basophile. Le noyau peut être rond, mais également polylobé. Leur proportion est estimée de 0 à 1 %. Leur fonction n'a pas été démontrée expérimentalement.

Le type cellulaire majoritairement présent et représentant 50 à 75 % des leucocytes est représenté par **les lymphocytes**. Il s'agit de petites cellules bien rondes au rapport nucléo-cytoplasmique élevé et au cytoplasme basophile. Le cytoplasme peut présenter des granulations azurophiles et peut parfois émettre des pseudopodes (excroissances de la membrane). La morphologie des lymphocytes varie en fonction de leur stade de maturation. Plus les lymphocytes sont petits, plus ils sont matures. Les lymphocytes réactifs sont, eux, caractérisés par leur grande taille. Il a été démontré que ces cellules ne présentent pas d'activité phagocytaire.

**Les monocytes** sont les plus gros leucocytes retrouvés chez les élasmobranches et représentent 0 à 4 % des leucocytes totaux. Il s'agit de grandes cellules rondes mononucléaires avec un large noyau souvent en forme de rein, avec un abondant cytoplasme légèrement basophile non granuleux pouvant présenter des vacuoles et parfois des pseudopodes. La chromatine monocyttaire présente un aspect plus granuleux que celle des lymphocytes. Leur activité phagocytaire a clairement été démontrée.

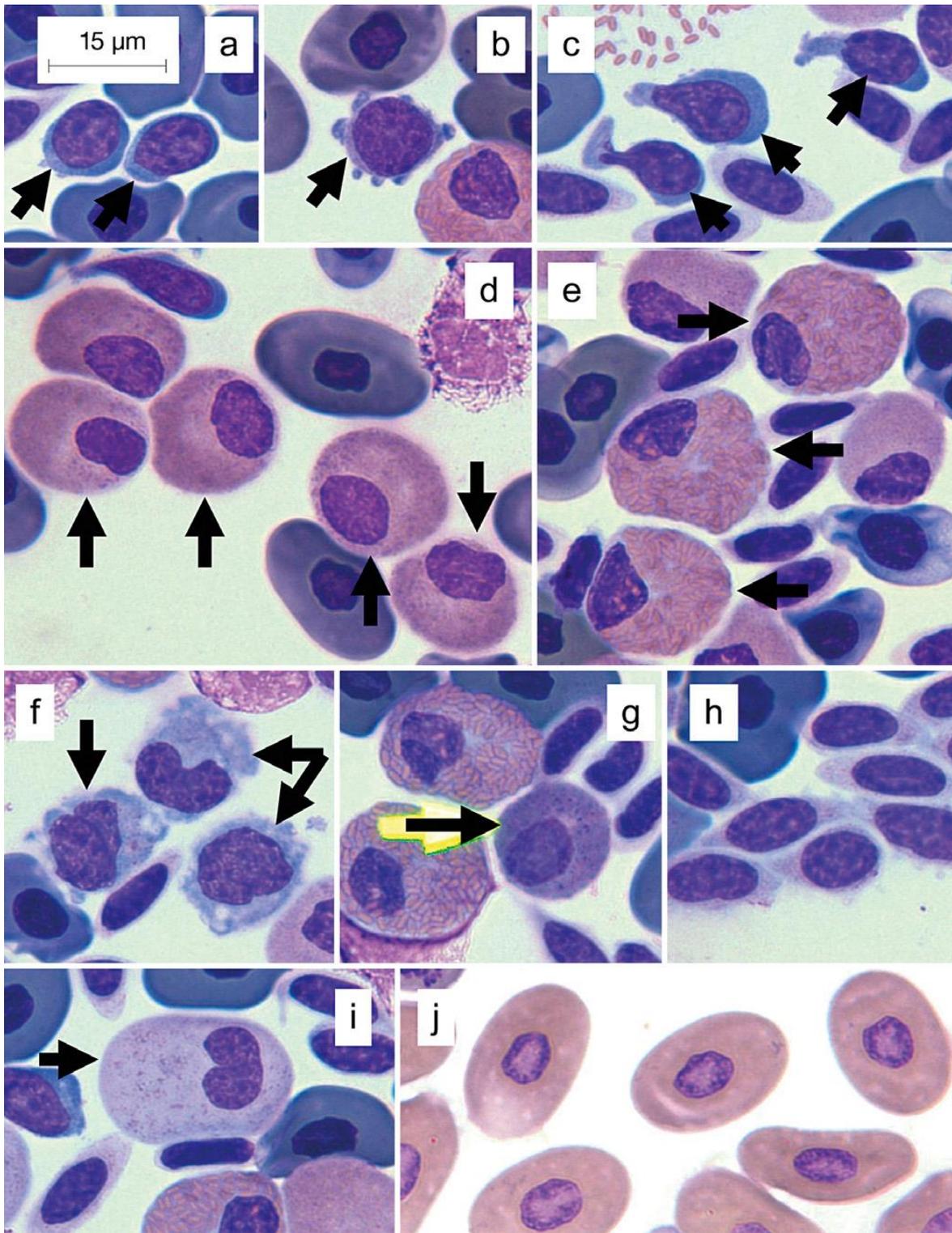
*A contrario* des téléostéens, les élasmobranches ne présenteraient qu'un seul type de thrombocytes. Ce fait est cependant controversé puisqu'il est rapporté chez les raies, l'existence de deux précurseurs thrombocytaires (Zapata 1980 ; Weiss, Wardrop 2010). Les thrombocytes sont des cellules nucléées incolores arrondies à fusiformes de taille inférieure à celle des érythrocytes, morphologiquement différentes en fonction de leur degré de maturité. De manière générale, chez tous les poissons, les thrombocytes ronds sont considérés comme immatures, les cellules allongées ou ovoïdes sont considérées comme des cellules matures non réactives, et les cellules fusiformes comme des thrombocytes matures réactifs. Leur cytoplasme apparaît très faiblement basophile et peut parfois contenir des vacuoles ou des petites granulations éosinophiliques (Campbell 2015). Ces cellules peuvent être facilement confondues avec des lymphocytes matures. Chez certaines espèces, une fonction immunitaire a également été mise en lumière par l'observation de capacité de phagocytose (Smith *et al.* 2014).

Le temps de coagulation des requins et des raies est beaucoup plus lent que celui des téléostéens, ils sont respectivement de 20 minutes ou plus, contre 5 minutes. Les mécanismes de la coagulation semblent être les mêmes que chez les mammifères, seulement, la voie extrinsèque de la coagulation semble être la voie principale (Campbell 2015).

Le tableau 1 (ci-dessous) résume l'ensemble des caractéristiques des cellules sanguines des élasmobranches, tandis que les figures 8 et 9 présentent microscopiquement les différents leucocytes chez différentes espèces de requins.

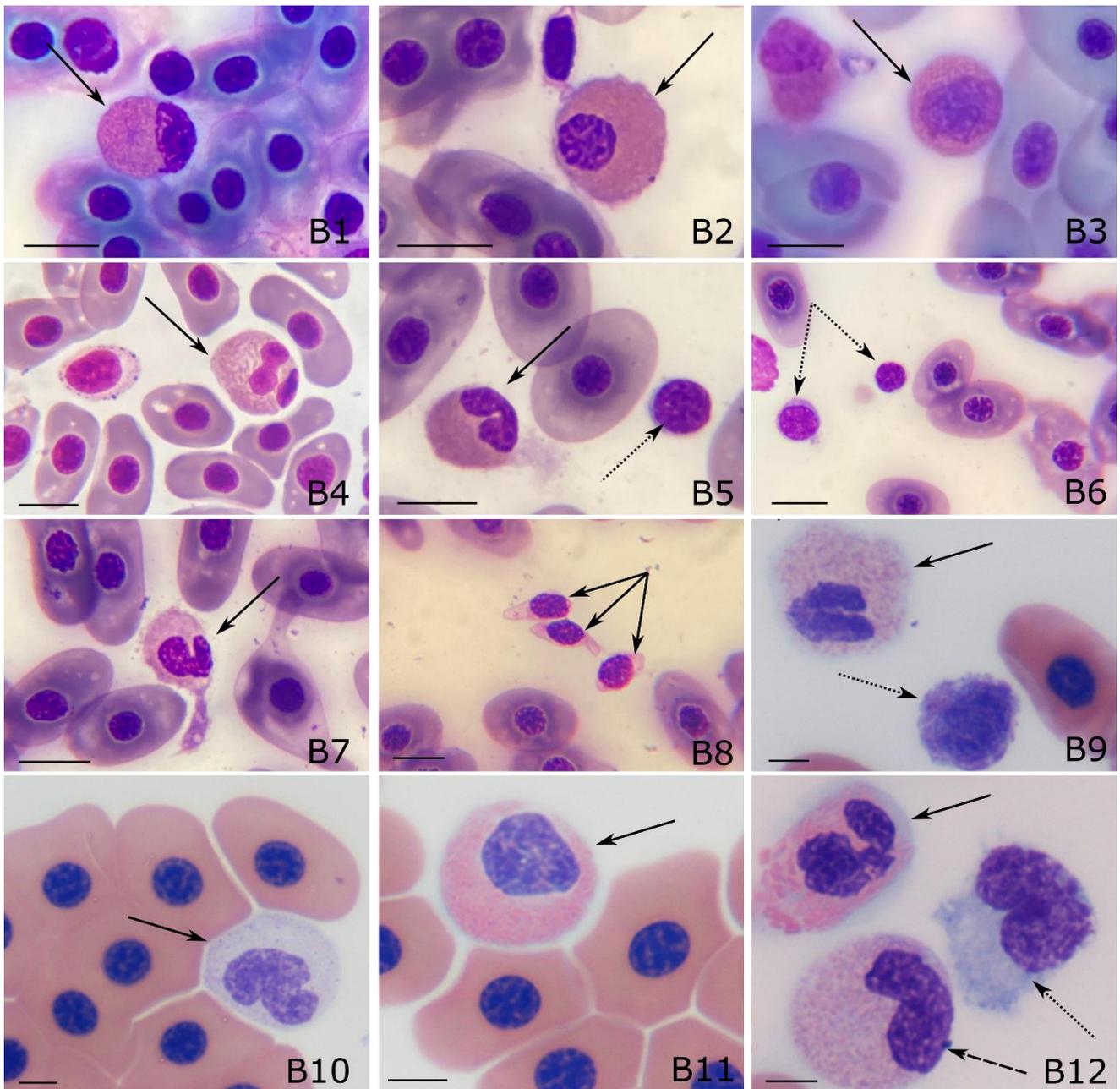
**Tableau 1 : Tableau synthétique des différents types cellulaires sanguins retrouvés chez les élastombranches.**

Type cellulaire	Valeurs usuelles	Description
<b>Erythrocyte</b>	<b>0,2-0,6 x 10<sup>6</sup> cellules/μL</b>	Cellules elliptiques avec un noyau central, un cytoplasme éosinophile pâle avec parfois des inclusions foncées, bleutées, ou des vacuoles chez les érythrocytes matures.
<b>Erythrocyte immature</b>	<b>Non renseignées</b>	Cellules rondes, plus petites que les érythrocytes matures, avec un rapport nucléo-cytoplasmique élevé et un cytoplasme légèrement basophile.
<b>Erythroblaste</b>	<b>2 % des érythrocytes chez le requin-nourrice</b>	Cellules rondes, avec un rapport nucléo-cytoplasmique élevé et un cytoplasme basophile.
<b>Lymphocyte</b>	<b>50-75 % des leucocytes totaux</b>	Cellules bien rondes au rapport nucléo-cytoplasmique élevé et basophile. La morphologie est différente en fonction du stade de maturation (plus il est petit, plus il est mature).
<b>Neutrophile (G2)</b>	<b>Non renseignées</b>	Cellules ressemblant aux granulocytes neutrophiles des mammifères avec un cytoplasme faiblement coloré sans granulation et avec un noyau polylobé.
<b>Eosinophile (CEG : Coarse Eosinophilic Granulocyte)</b>	<b>0-10 % des leucocytes totaux</b>	Cellule au noyau polylobé (ou non chez certaines espèces), avec un cytoplasme faiblement basophile rempli de grossières granulations fortement éosinophiliques rondes ou en forme de bâtonnets.
<b>Hétérophile (FEG : Fine Eosinophilic Granulocyte)</b>	<b>10-30 % des leucocytes totaux</b>	Cellules au noyau excentré, souvent non lobé avec un cytoplasme faiblement coloré présentant de fines granulations rondes à ovale de type éosinophilique.
<b>Basophile</b>	<b>0-1 % des leucocytes totaux</b>	Cellules avec un cytoplasme basophile et parfois quelques granulations visibles.
<b>Monocyte</b>	<b>0-4 % des leucocytes totaux</b>	Le plus large leucocyte retrouvé. Cellules avec un large noyau souvent en forme de rein, avec un abondant cytoplasme légèrement basophile non granuleux pouvant présenter des vacuoles.
<b>Thrombocyte</b>	<b>Non renseignées</b>	Cellules nucléées de taille inférieure à celle des érythrocytes, morphologiquement différentes en fonction de leur degré de maturité. Leur cytoplasme apparaît faiblement basophile.



**Figure 8 : Différentes cellules sanguines provenant de ponction de la veine caudale d'un requin *Rhincodon typus*.**

(a, b et c) lymphocytes (flèches) ; (d) hétérophiles (flèches) ; (e) éosinophiles (flèche), (f) monocytes (flèches) ; (g) basophiles (flèche), (h) thrombocytes ; (i) neutrophile (flèche) ; et (j) érythrocytes. Échelle : 15 µm. Source : DOVE, ARNOLD, et CLAUSS, 2010. Blood cells and serum chemistry in the world's largest fish: the whale shark *Rhincodon typus*. In : *Aquatic Biology*. 2010. Vol. 9, n°2, pp. 177-183. DOI 10.3354/ab00252 © Inter-Research 2010. Image used with permission.



**Figure 9 : Différents leucocytes sanguins provenant de ponctions de la veine caudale de requins-nourrices *Ginglymostoma cirratum* et de requins-zèbres *Stegostoma fasciatum*.**

(B1 et B3) éosinophiles d'un requin-nourrice *Ginglymostoma cirratum* en coloration de RAL et (B2) et en coloration de May-Giemsa. (B4) éosinophile d'un requin-zèbre *Stegostoma fasciatum* en coloration de May-Giemsa. (B5 et B6) lymphocytes (flèches en pointillés) et hétérophile (flèche pleine) d'un requin *Ginglymostoma cirratum* en coloration de May-Giemsa. (B7) monocyte (flèche pleine) d'un requin *Ginglymostoma cirratum* en coloration de May-Giemsa. (B8) thrombocytes d'un requin *Ginglymostoma cirratum* en coloration de May-Giemsa. Échelle : 10 µm. Source : ©Camille Sibout.

Chez un requin-zèbre, *Stegostoma fasciatum*, en coloration de Wright Giemsa : (B9) hétérophile (flèche pleine) et basophile (flèche en pointillés), (B10) neutrophile, (B11) éosinophile, (B12) éosinophile (flèche pleine), monocyte (flèche en pointillés), et hétérophile (flèche en tirets). Échelle : 5 µm. Source : ©Jill Arnold – ZooQuatic Laboratory. Images used with permission.

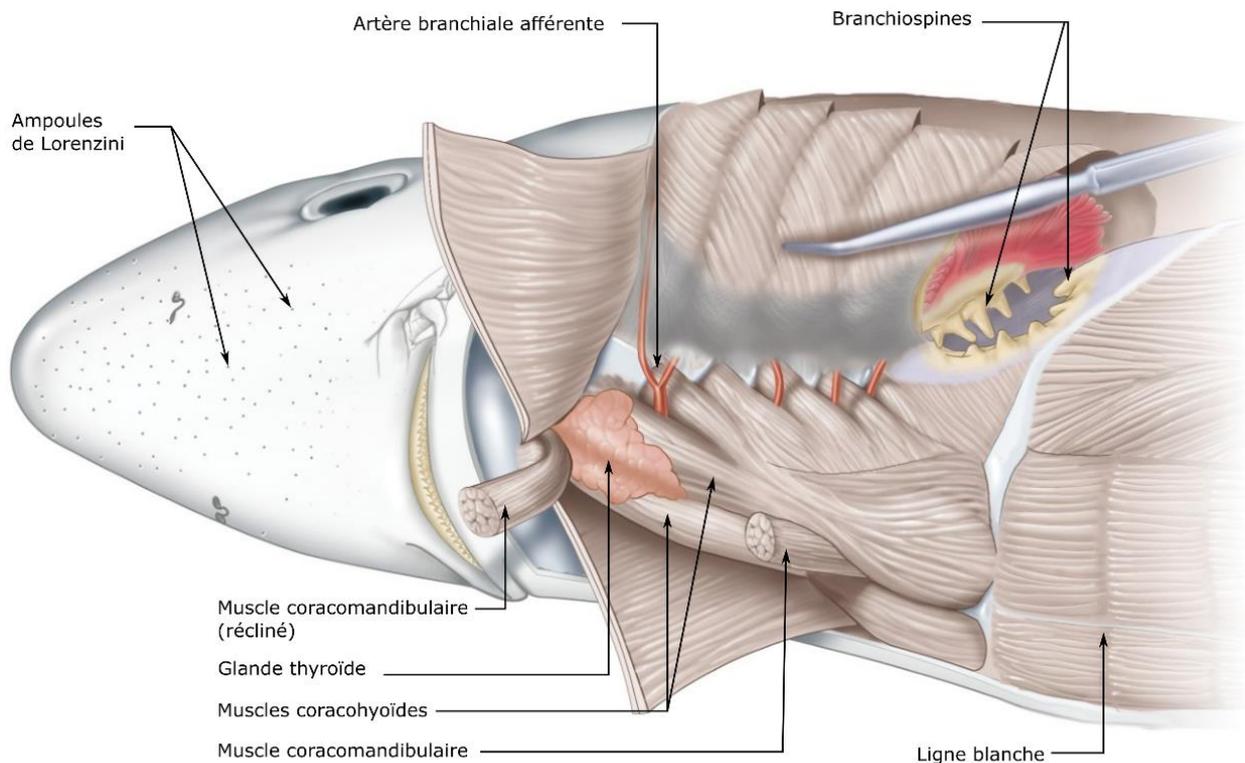
## 2. La thyroïde

À la bifurcation de l'aorte ventrale se trouve la thyroïde (Figures 10 et 11). Il s'agit d'une glande unique, plate, triangulaire, rouge claire située sur la ligne médiane ventrale entre les muscles coracohyoïdiens et coracomandibulaires. Les glandes parathyroïdes n'ont pas été retrouvées chez les chondrichthyens.



**Figure 10 : Thyroïde d'un requin *Carcharhinus plumbeus* – topographie suite au retrait du muscle coracomandibulaire.**

Source : cet article a été publié dans *Pathology of Wildlife and Zoo Animals*, édité par Karen A. Terio, Denise McAloose, Judy St. Leger, page n°1016.e8, Copyright Elsevier (2018) – images used with permission.



© Dino Pulerà & Gerardo De Iulius, image used with permission  
Source: De Iulius, Gerardo, and Dino Pulerà. 2019. *The Dissection of Vertebrates: A Laboratory Manual, Third Edition*. Amsterdam: Elsevier/Academic Press

**Figure 11 : Illustration des muscles thoraciques et de la thyroïde sur un requin en vue ventro-latérale.**

### 3. Les organes hématopoïétiques

Les élasmobranches ne possèdent **pas de moelle osseuse, de ganglions lymphatiques, et de système lymphatique** (Campbell 2015). Divers tissus jouent donc, chez ces espèces, le rôle de tissu hématopoïétique. La rate et le thymus font partie de ces organes comme chez les mammifères. En revanche, d'autres tissus, dont certains uniques aux requins, jouent également ce rôle. Parmi eux, deux organes lymphomyéloïdes : **l'organe épigonal** présent chez tous les individus et **l'organe de Leydig**. Il existe en parallèle d'autres organes lymphoïdes annexes tels que : les méninges, divers sites de la muqueuse intestinale, la glande rectale et l'orbite de l'œil (Smith *et al.* 2004 ; 2014).

L'hématopoïèse des élasmobranches semble se faire de la même manière que chez les mammifères, mais contrairement à eux, elle s'effectue principalement dans des organes hématopoïétiques primaires : l'organe épigonal, l'organe de Leydig, et dans les capillaires sinusoides de la pulpe rouge de la rate.

Comme mentionné précédemment, l'érythropoïèse a lieu dans la rate et dans le sang périphérique (Campbell 2015). En revanche, certains articles soulignent :

- une érythropoïèse possible dans l'organe épigonal, suite à l'observation fréquente d'une activité mitotique érythrocytaire dans cet organe chez la raie *R. rhinobatos* (Bircan-Yildirim *et al.* 2011),
- une érythropoïèse active dans l'organe de Leydig consécutive à une splénectomie chez le requin pèlerin, *Cetorhinus maximus* (Manca *et al.* 2019).

#### a) L'organe de Leydig

L'organe de Leydig est un des principaux foyers de la granulopoïèse. Macroscopiquement, il peut être visible et apparaît comme une masse allongée blanche dans la sous-muqueuse œsophagienne. À l'histologie on peut y observer des précurseurs myéloïdes et lymphoïdes. Cet organe n'est pas présent chez toutes les espèces, c'est le cas par exemple du requin-nourrice. Certains élasmobranches présentant des organes épigonaux réduits peuvent, en contrepartie, présenter un organe de Leydig particulièrement développé (Terio *et al.* 2018).

#### b) L'organe épigonal

L'organe épigonal est un foyer de lymphopoïèse et de granulopoïèse. Il est anatomiquement situé dans le mésentère des gonades caudalement à ces dernières. Morphologiquement, il présente deux lobes, un droit et un gauche, sa taille et sa forme sont relativement différentes en fonction des espèces. De manière générale, il est facilement visible chez les mâles matures sexuellement, mais difficilement observable chez les femelles avec des ovaires actifs. C'est un organe clé dans l'hématopoïèse avec l'observation possible à l'histologie de précurseurs de la lignée myéloïdes et lymphoïdes. Lors d'infections bactériennes sévères et aiguës, une diminution des précurseurs myéloïdes peut être observée (Terio *et al.* 2018).

#### c) La rate

La rate des requins est allongée et positionnée le long de la marge extérieure du cardia et du pylore de l'estomac. Elle est macroscopiquement rouge foncé/violacée et peut-être bilobée. Elle est histologiquement similaire à celle des vertébrés avec deux régions reconnaissables : la pulpe rouge et la pulpe blanche. La pulpe blanche présente une accumulation dense de petits lymphocytes avec des artères centrales asymétriques. Les zones de la pulpe blanche sont entourées de zones moins denses, la pulpe rouge dans laquelle se trouvent des sinus veineux remplis d'érythrocytes et dans une moindre mesure des lymphocytes. La rate est également le lieu de la thrombopoïèse et de la lymphopoïèse en plus de son activité d'érythropoïèse (Zapata 1980 ; Weiss, Wardrop 2010 ; Terio *et al.* 2018). La rate semblerait également impliquée dans la granulopoïèse, mais dans une moindre mesure (Zapata 1980 ; Smith *et al.* 2014).

#### d) Le thymus, un organe lymphoïde

Le thymus des requins (Terio *et al.* 2018) est un organe pair situé dorso-médialement aux arcs branchiaux. Chez les jeunes individus, il est particulièrement visible tandis qu'il est difficilement identifiable chez les individus âgés. Chez les élastombranchés, il est protégé d'une enveloppe de tissu conjonctif et composé de lobes distincts avec une médulla interne et un cortex externe. Il s'agit du premier tissu lymphoïde à se développer chez ces espèces (Smith *et al.* 2014).

#### 4. Le système digestif

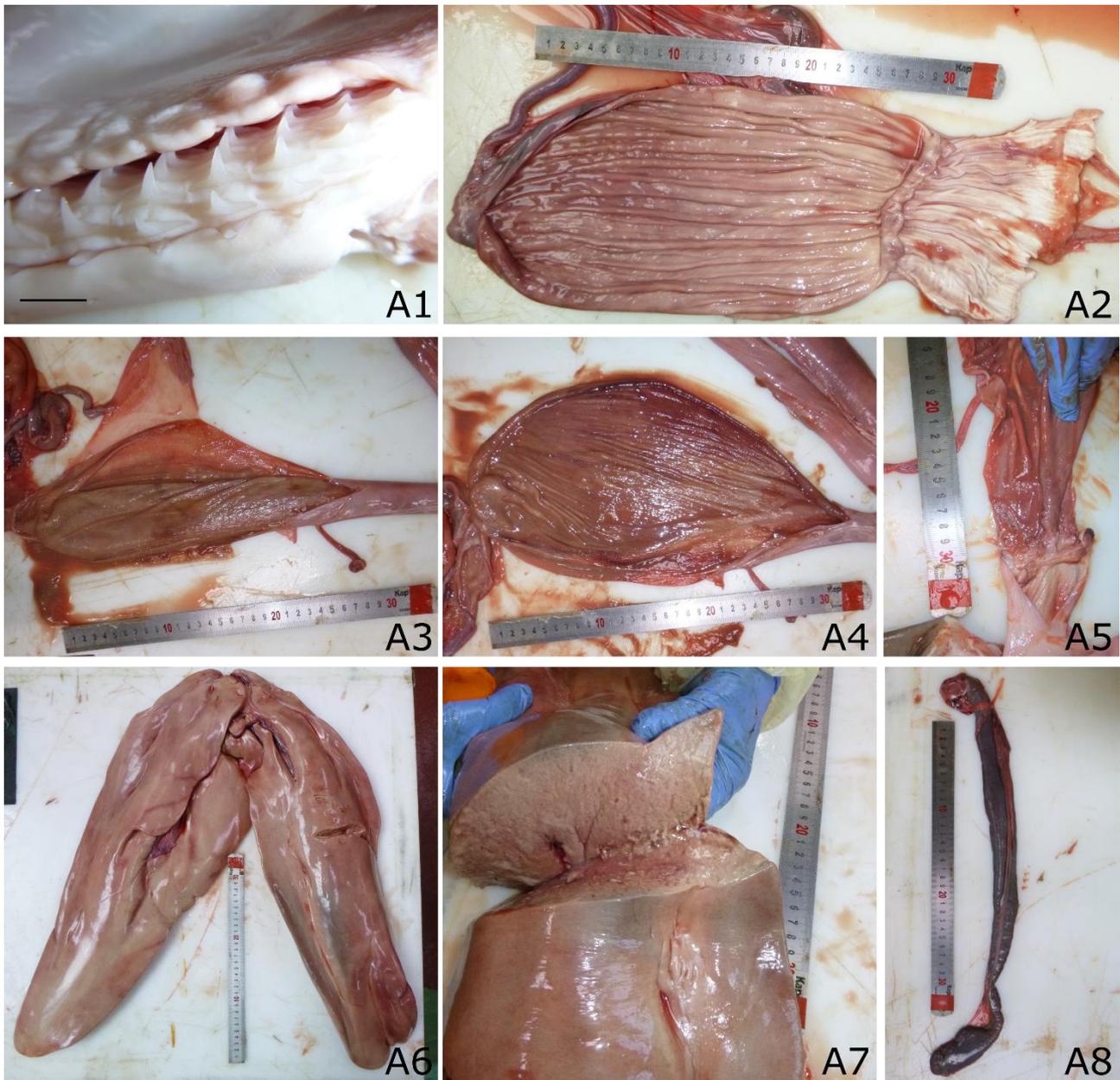
Les **dents** des élastombranchés ne sont autres que des écailles placodes modifiées rangées dans la cavité buccale (Figure 12-A1). Elles sont remplacées continuellement par de nouvelles rangées, les dents émergentes avançant vers le rostre, ce qui engendre la perte des anciennes dents. Leur morphologie est variable en fonction du régime alimentaire de l'espèce.

Il existe également certaines caractéristiques d'espèces, par exemple, la présence d'appareils de filtration pour capter les proies chez les requins se nourrissant uniquement par ventilation « bélière » (*Rhincodon typus*, *Cetorhinus maximus*, *Megachasma pelagios*).

C'est la cavité pleuro-péritonéale qui contient les viscères et les différentes structures digestives (Figure 12). Le système digestif des requins est constitué crânialement par la bouche contenant une langue primaire, la cavité orale, le pharynx menant à l'œsophage, puis l'estomac. Extérieurement et avant l'ouverture des organes, il n'existe pas de différences externes visuelles entre l'œsophage et l'estomac. À l'ouverture de ces deux organes, le *distinguo* œsophage-estomac prend différentes formes en fonction des espèces (Figure 12-A2). Chez l'espèce *Squalus acanthias* par exemple, l'œsophage est composé de multiples papilles tandis que l'estomac est revêtu de sillons longitudinaux appelés « replis muqueux ».

L'**estomac** présente généralement une forme de J ou de U et est constitué du corps de l'estomac et de la région pylorique marquée par une striction menant aux intestins. Chez la plupart des élastombranchés, l'œsophage est court et non glandulaire, tandis que l'estomac présente un corps glandulaire. L'estomac comprend majoritairement deux types cellulaires : les cellules colonnaires et les cellules oxynicopeptiques. Les premières sécrètent un mucus protecteur des sucs gastriques tandis que les secondes sécrètent des sucs gastriques et du pepsinogène (Leigh *et al.* 2017).

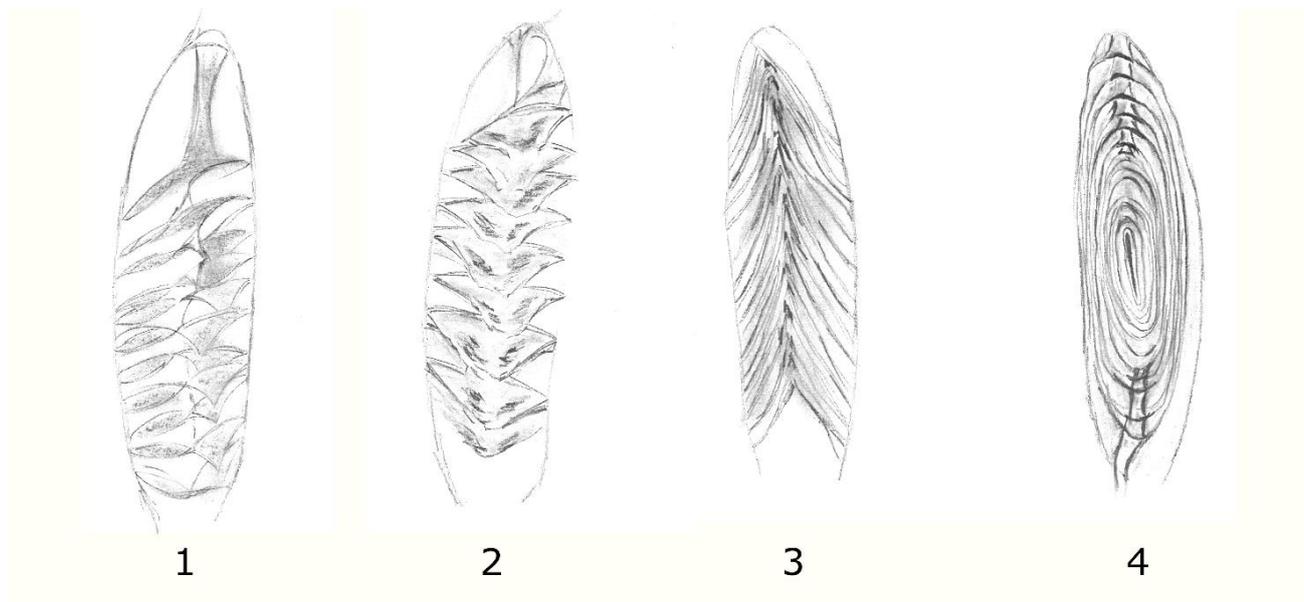
À cette jonction estomac-intestin, on observe facilement la rate (Figure 12-A8) et le pancréas.



**Figure 12 : Photographies des différentes portions du tractus digestif et des organes annexes d'un requin d'espèce *Carcharhinus plumbeus*.**

(A1) photographie de rangées de dents (mâchoire inférieure) échelle : 1 cm ; (A2) œsophage et corps de l'estomac (allongé – à gauche) poursuivi par le pylore long et fin ; l'intestin grêle est un segment très court reliant le pylore et (A3-A4) l'intestin spiralé (A5) extrémité distale du tube digestif ; (A6-A7) foie entier (la vésicule biliaire n'est pas observable ici) et coupe transverse ; (A8) rate. Source : ©Camille Sibout.

Chez certaines espèces, le pylore est relativement long et ne doit pas être confondu avec l'intestin (Terio *et al.* 2018). L'intestin des requins est composé d'un duodénum très court, d'une valve spirale (Figure 12- A3-A4-A5) de quatre types possibles (Figure 13) suivant les espèces : colonnaire, en entonnoirs orientés vers le bas, en entonnoirs orientés vers le haut, cylindrique/en rouleau, qui se termine au colon (Figure 12-A5).



**Figure 13 : Dessins des quatre types morphologiques de valve spirale.**

Valves spirales de type (1) colonnaire, (2) en entonnoirs orientés vers le bas, (3) en entonnoirs orientés vers le haut, (4) cylindrique/en rouleau. Source : ©Catherine Pautre inspiré de (Leigh *et al.* 2017)

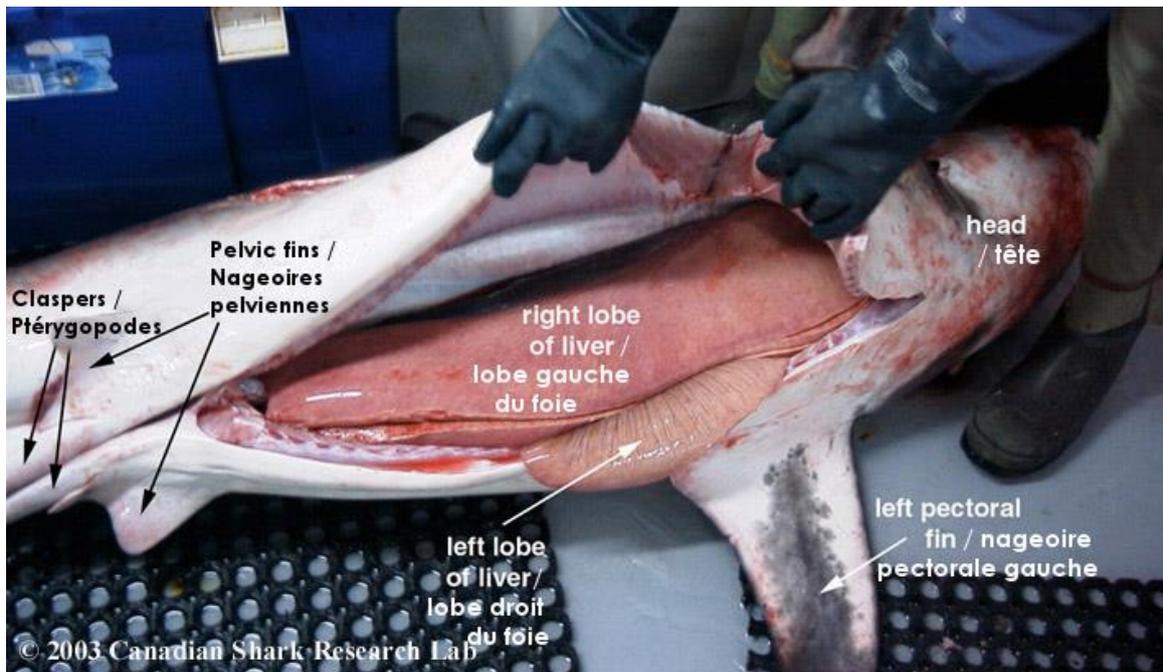
Ces différentes morphologies des valves spirales permettent l'augmentation des échanges intestinaux et le ralentissement du passage de la nourriture (Leigh *et al.* 2017). La dégradation enzymatique et l'absorption dépendent du temps de passage des aliments dans le tube digestif. Le canal biliaire se déverse dans la partie proximale de la valve spirale.

Le colon se prolonge par le rectum au niveau du cloaque, laissant apparaître une glande digitiforme, la **glande rectale** (Figure 18-B2). Il s'agit, chez les élastombranchés, du seul organe sécrétant du sel. Cette glande a pour principal objectif la sécrétion d'une solution iso-osmotique au plasma très fortement concentrée en NaCl.

Le **pancréas**, parfois discret chez certaines espèces, est constitué de deux parties, un lobe dorsal et un lobe ventral adhérent au duodénum. Il est généralement à proximité de la rate et du pylore.

Le **foie** prend une place importante dans l'abdomen, c'est le premier organe observable à l'ouverture de la cavité pleuro-péritonéale (Figure 12-A6-A7 et Figure 14). Il est composé de 2 à 3 lobes marron clair à jaune (suivant les espèces), les lobes droits et gauches sont volumineux et localisés latéralement, ils fusionnent au niveau du hile. Le lobe médian est de taille restreinte et localisé sur le plan médian, il contient la vésicule biliaire inconstante en fonction des espèces de requins (Murray 2010 ; Terio *et al.* 2018). Le foie peut correspondre jusqu'à 25 % du poids corporel de l'animal. Il a pour fonction première le stockage lipidique, cette graisse permettant entre autres la flottabilité du requin. En effet, les requins ne présentent pas de tissus adipeux ou encore de vessie natatoire comme les poissons, la flottabilité chez ces espèces est donc imputable en grande partie au squelette et au foie (De Luliis, Pulerà 2011). La couleur est variable selon les espèces : il doit être jaune ou marron clair et doit flotter quand il est placé dans un fixateur. Un foie de faible taille, brun, qui ne flotte pas dans le fixateur, est indicateur d'un mauvais état nutritionnel (Terio *et al.* 2018). Avec l'âge, lors de déficit nutritionnel, le taux de macrophages pigmentés présents dans le foie peut augmenter.

*A contrario* des autres espèces, le foie des élastombranchés est naturellement très fortement chargé en lipides, ce qui indique un bon état nutritionnel de l'animal (Garner 2013 ; Terio *et al.* 2018).



**Figure 14 : Photographie d'un requin-taupo mâle *Lamna nasus* – topographie à l'ouverture abdominale.**

Source : ©« Heather Bowlby, Canadian Atlantic Shark Research Laboratory, Fisheries and Oceans, Canada » – images used with permission (Bowlby 2016).

Les poissons cartilagineux ne présentent qu'un seul conduit excréteur : le cloaque. Il relie ainsi les reins, les gonades et le tractus digestif (Campbell 2015).

Noter la présence de pores abdominaux situés de part et d'autre du cloaque (emplacement inconstant suivant les espèces) permettant un accès direct à la cavité péritonéale. Leurs fonctions physiologiques ne sont pas claires, mais ils seraient impliqués dans les mécanismes d'osmorégulation (García-Salinas *et al.* 2021).

## 5. Le système urinaire et reproducteur

Les **ovaires ou testicules** sont anatomiquement situés crânialement et dorsalement au foie (Figures 15, 16 et 18).

Chez les **mâles** (Figure 15), les testicules représentent 1 à 5 % du poids vif de l'animal et sont intégrés aux lobes droit et gauche de l'organe épigonal (Shuttleworth 1988) (Figure 18-B1). Ils sont, chez les individus matures, de forme nodulaire, blancs (Figure 17-B5-B7 et Figure 18-B3). Les testicules sont soutenus par un mésentère, le mesorchium, contenant dans sa partie crâniale les canaux efférents transportant les spermatozoïdes vers le canal archinéphrique aussi appelé conduit déférent (De Iuliis, Pulerà 2011). Une fois sortis des testicules, les spermatozoïdes passent ainsi par les conduits efférents, par l'épididyme, puis par les canaux déférents (très tortueux chez les individus matures). Ces conduits s'élargissent ensuite pour former les ampoules déférentes aussi appelées vésicules séminales. Il s'agit du lieu de stockage des spermatozoïdes *via* les spermatophores<sup>5</sup>. Ventralement à ces vésicules, deux excroissances peuvent être présentes suivant les espèces, et forment deux poches : les sacs spermatiques (Figure 17-B6). Ces deux sacs sont le lieu de stockage des spermatozoïdes. Ils se rejoignent ensuite au sinus urogénital, se transformant en papille urogénitale, confluent vers le cloaque (Shuttleworth 1988 ; García-Salinas *et al.* 2021).

<sup>5</sup> Faisceaux sphériques ayant pour but la protection des spermatozoïdes

Les glandes de Leydig constituent la partie antérieure des reins, et permettent la sécrétion du liquide séminal déversé dans le canal déférent ou canal archinéphrique. (Terio *et al.* 2018 ; García-Salinas *et al.* 2021).

La fécondation est interne chez les chondrichthyens. Pour se faire, les mâles présentent pour l'accouplement une paire de ptérygopodes aussi appelés pinces. Il s'agit, d'une modification anatomique des bords internes des nageoires pelviennes formant des appendices copulatoires en forme de tube. Les spermatozoïdes sont éjectés dans le cloaque de la femelle grâce à un organe musculaire : le siphon (sauf exception chez certaines espèces) ( Shuttleworth 1988 ; García-Salinas *et al.* 2021).

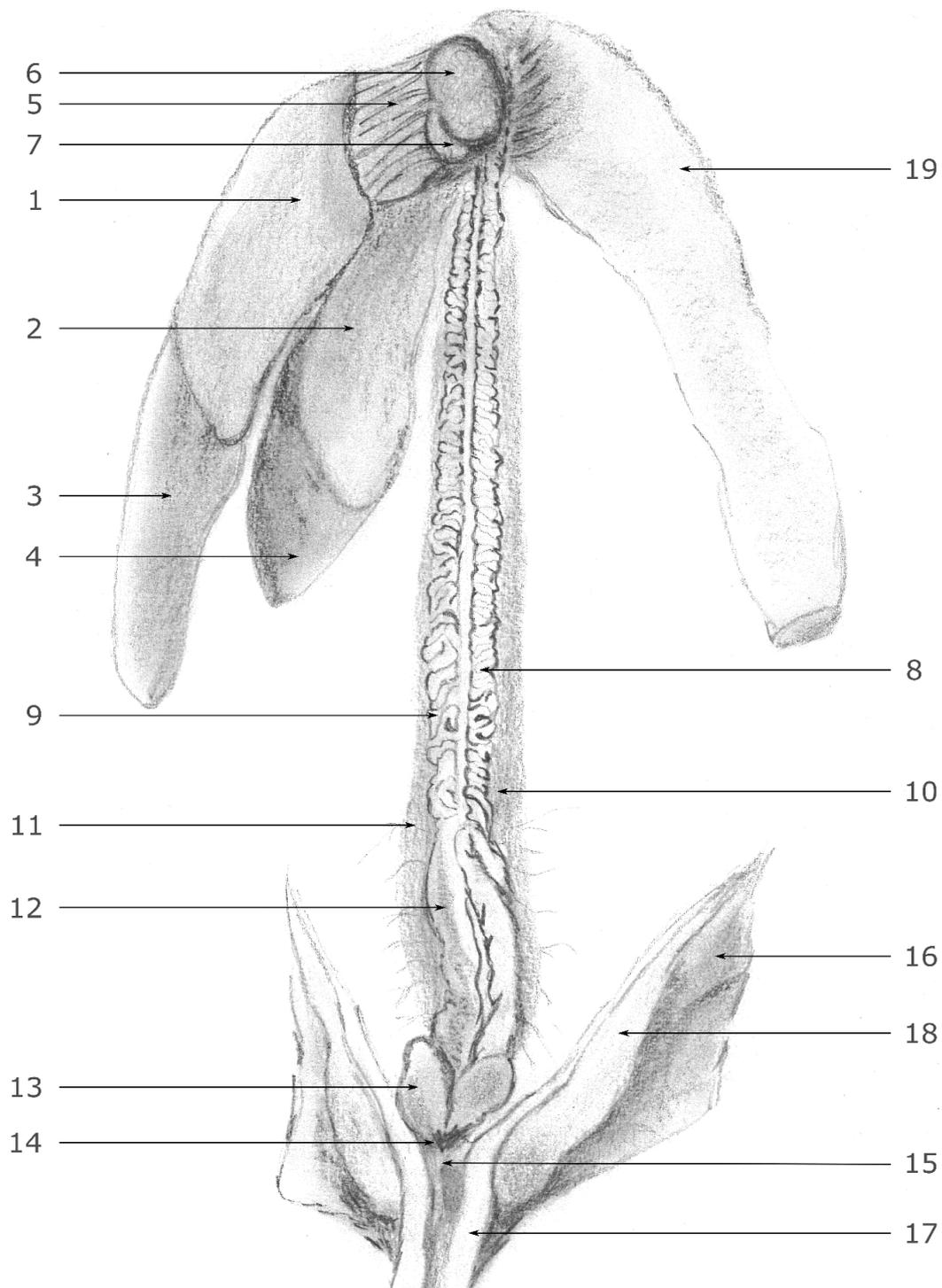
Chez les **femelles** (Figure 16), les ovaires sont maintenus par le mesovarium, en position crâniale de la cavité pleuro-péritonéale (Figure 17-B3). Ils sont macroscopiquement enchâssés dans l'organe épigonal et sont de couleur blanchâtre-jaune et d'apparence très variable selon le cycle de reproduction et surtout selon l'espèce (Figure 18-A1-A2-A3). Les ovocytes produits par la femelle sont ensuite captés par l'ostium avant de poursuivre leur chemin vers les oviductes et la glande oviducale, cette dernière permet la production de la coque de l'œuf selon les espèces, la fécondation de l'œuf et le stockage des spermatozoïdes (Figure 17-B3-B4). Ces deux éléments sont placés en face ventrale des reins. Chez certaines espèces, seul l'ovaire droit est fonctionnel par exemple chez le requin bleu, *Prionace glauca*. Selon l'espèce, la glande oviducale peut être séparée de l'utérus grâce à un sphincter : l'isthme. L'utérus des requins est pair, allongé, et fusionne dans la partie dorsale du cloaque. Le sperme peut être stocké par la femelle dans les glandes oviducales (Shuttleworth 1988 ; García-Salinas *et al.* 2021).

Il existe chez ces espèces trois modes différents de reproduction : la viviparité placentaire, la viviparité aplacentaire, et l'oviparité. Chez les animaux vivipares, la taille des portées varie d'une espèce à l'autre, on enregistre par exemple, des portées de 300 nouveau-nés chez le requin-baleine (Terio *et al.* 2018). Concernant la viviparité aplacentaire, différentes modalités existent (Shuttleworth 1988) :

- la ponte intra-utérine (ovoviparité) où la seule nourriture à disposition du fœtus est le sac vitellin (cas par exemple des *Squalus acanthias*),
- le développement des embryons grâce à des structures analogues au placenta, par exemple *via* les sécrétions utérines.
- chez certaines espèces, comme le requin-taupe ou le requin-tigre de sable, les ovules surnuméraires (fécondés ou non selon l'espèce) peuvent être consommés par les embryons, on parle alors de cannibalisme intra-utérin (Shuttleworth 1988 ; García-Salinas *et al.* 2021).

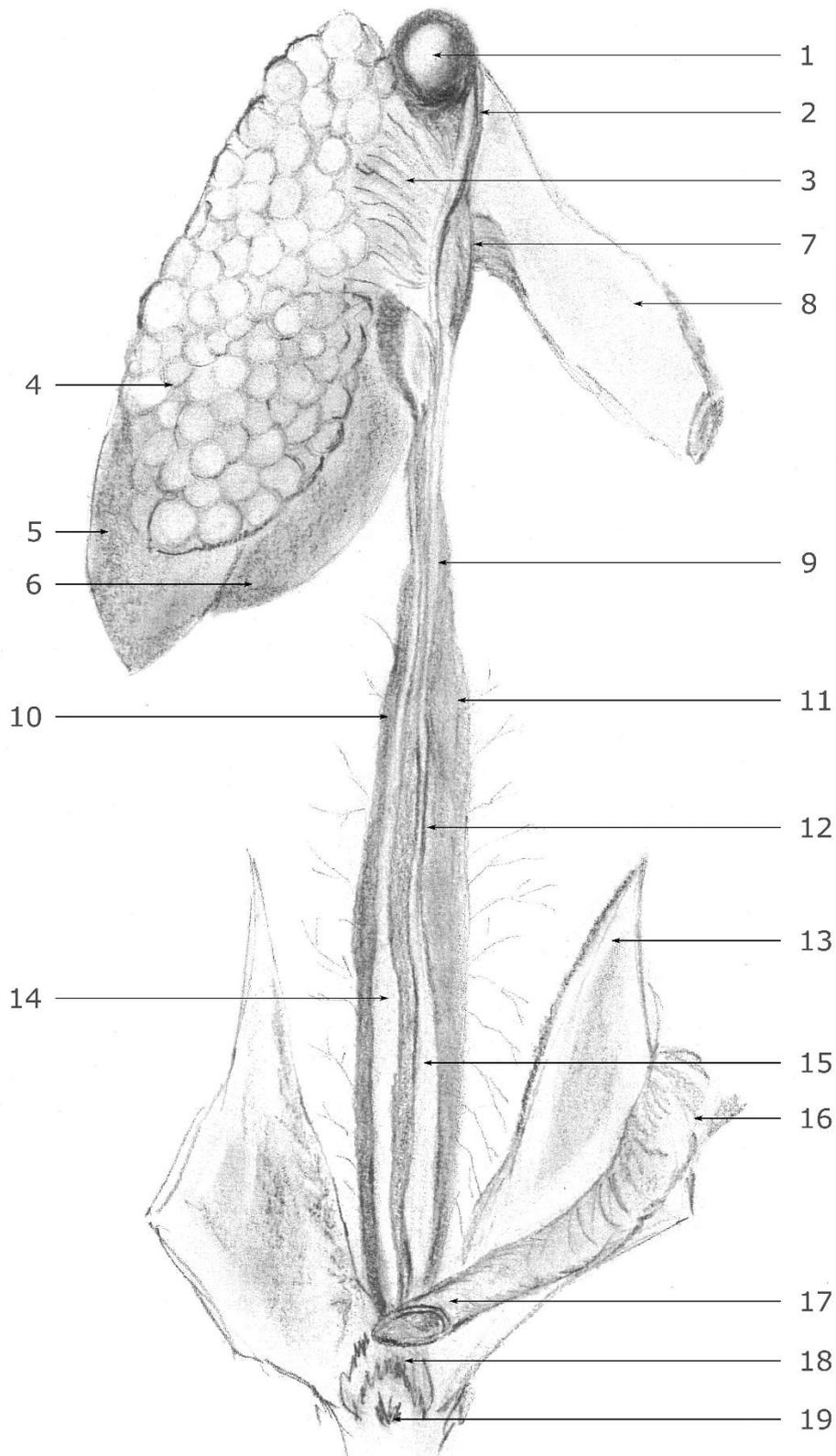
Les principales espèces vivipares placentaires appartiennent aux Sphyrnidae, Carcharhinidae, Leptochariidae, Triakidae... Chez ces espèces, en plus du sac vitellin disponible pour les fœtus, la muqueuse utérine développe de nombreuses projections afin de faciliter les échanges du fœtus (Terio *et al.* 2018).

Parmi les espèces ovipares, on retrouve certains Heterodontiformes (*Heterodontus francisci* par exemple), Orectolobiformes (le requin-zèbre, *Stegostoma fasciatum* par exemple), Scyliorhinidae (*Scyliorhinus canicula* par exemple).



**Figure 15 : Dessin anatomique simplifié de l'appareil reproducteur mâle adulte. Différentes topographies et morphologies sont observables suivant les espèces.**

Les testicules (1) gauche et (2) droit sont intégrés aux lobes (3) gauche et (4) droit de l'organe épigonal. Ils sont maintenus par (5) le mésorchium et se prolongent par les conduits efférents, par l'épididyme (6) gauche et (7) droit, puis par les canaux déférents (8) gauches et (9) droits. Le canal déférent se situe ventralement aux reins (10) gauche et (11) droit. Il se poursuit ensuite vers la vésicule séminale aussi appelée ampoule déférente, ici (12) la droite. Ces canaux sont en continuité avec deux excroissances, les sacs spermatiques, (13) à droite, se rejoignant *via* le sinus urogénital puis (14) la papille urogénitale confluant vers (15) le cloaque. (16) nageoire pelvienne gauche. Une paire de mixoptérygiens, en (17) le gauche, permet la fécondation interne de la femelle. L'éjection des spermatozoïdes est permise par (18) le siphon. (19) Œsophage. Source : ©Catherine Pautre inspiré de (Shuttleworth 1988 ; García-Salinas *et al.* 2021 ; De Iulius, Pulerà 2011) et de photographies de dissection.



**Figure 16 : Dessin anatomique simplifié de l'appareil reproducteur femelle adulte. Différentes topographies et morphologies sont observables suivant les espèces.**

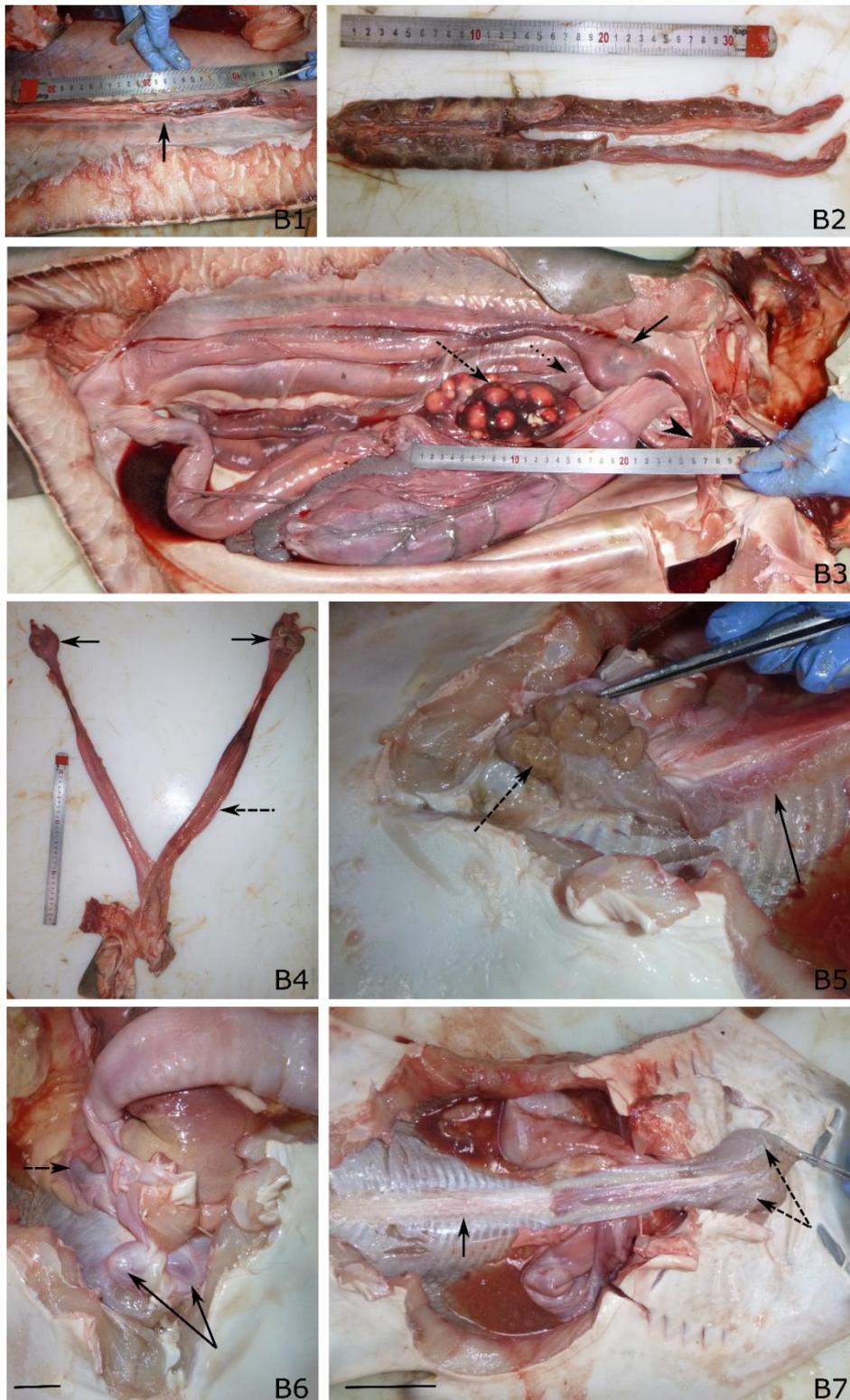
(1) Ostium maintenu par le ligament falciforme, se poursuivant par (2) l'oviducte, ici gauche. (3) Mesovarium maintenant (4) l'ovaire gauche en continuité avec (5) l'organe épigonal. (6) l'organe épigonal droit. (7) glande oviducale gauche poursuivie par (9) l'oviducte gauche, puis par (12) l'isthme gauche. (8) Œsophage. Les reins (10) droit et (11) gauche sont situés dorsalement aux utérus (14) droit et (15) gauche. (13) nageoire pelvienne. (16) Colon se prolongeant par (17) le rectum au niveau du (18) cloaque laissant apparaître (19) la papille urinaire. Source : ©Catherine Pautre inspiré de (García-Salinas *et al.* 2021 ; De Iuliis, Pulerà 2011) et de photographies de dissection.

Les **reins** sont des structures paires, étroites et allongées crânialement (Figure 17-B1-B2) et s'élargissant progressivement vers l'arrière pour fusionner (Terio *et al.* 2018). Ils sont, situés comme chez les mammifères dans l'espace rétropéritonéal. Chez le mâle, les reins présentent deux parties distinctes, la partie la plus crâniale est composée des glandes de Leydig (De Iuliis, Pulerà 2011 ; Terio *et al.* 2018 ; García-Salinas *et al.* 2021). L'autre partie du rein, la partie postérieure, présente une fonction rénale classique d'excrétion. Il n'existe pas de vessie urinaire chez les requins. L'urine est drainée par le canal urinaire accessoire jusqu'au sinus urogénital (De Iuliis, Pulerà 2011).

Chez la femelle, les reins ne comportent pas de partie utile à la reproduction, la partie crâniale est donc considérablement réduite par rapport à celle des mâles. Le canal archinéphrique est cependant présent (mais indépendant des organes reproducteurs) et transporte l'urine. Certaines femelles présentent néanmoins des canaux urinaires accessoires selon l'espèce (De Iuliis, Pulerà 2011).

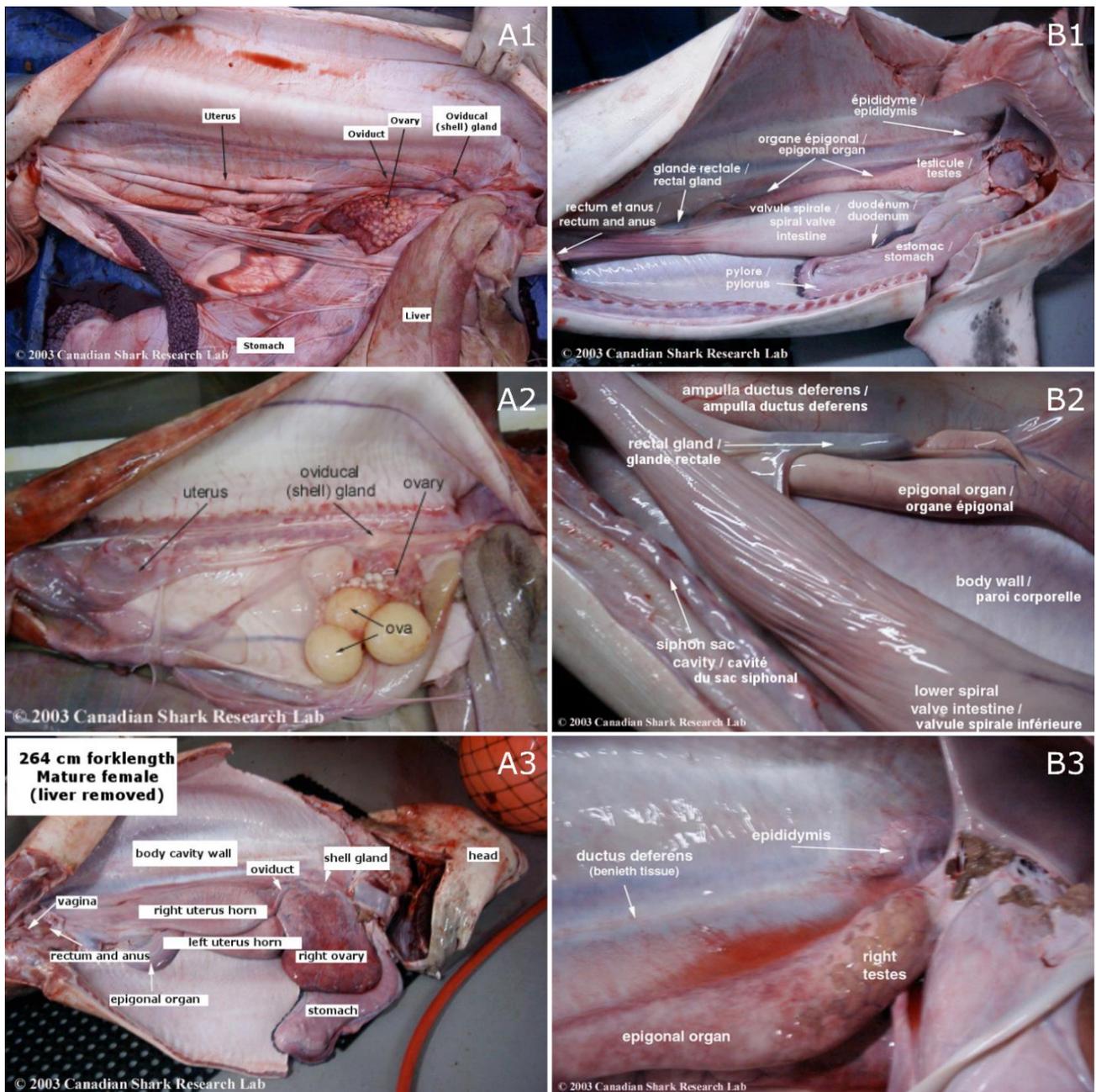
Les reins des élasmobranches sont constitués comme chez les mammifères de glomérules, de tubules proximaux et distaux, et des canaux collecteurs. Les tubules proximaux peuvent sécréter du NaCl possiblement réabsorbé par les tubules distaux afin d'établir un gradient osmotique permettant notamment la réabsorption de l'urée. Ceci explique par ailleurs les forts taux d'urée retrouvés dans le plasma de ces espèces. La présence de triméthylamine dans le sang permet de neutraliser les effets toxiques de l'urée. Ces deux produits sont des produits du foie et maintenus bas par une faible perméabilité branchiale et une réabsorption rénale (Thrall *et al.* 2012). Le tissu interrénal, est un organe allongé, jaune-vert, producteur de corticoïde, notamment de la 1 $\alpha$ -hydroxycorticostérone (Terio *et al.* 2018).

Une étude a également permis la mise en évidence de la persistance d'une activité de néphrogénèse chez les élasmobranches adultes qui peut être activée lors de l'ablation d'une partie du tissu rénal (Haller *et al.* 2005).



**Figure 17 : Photographies des reins et des appareils reproducteurs mâle et femelle de deux élasmobranches.**

*Carcharhinus plumbeus* (B1) photographies des reins en vue ventrale ; (B2) reins *ex situ* avec le pôle crânial plus effilé en vue ventrale ; appareil génital femelle en vue topographique après retrait du foie (B3) ovaire droit (flèche en tirets), maintenu par le mésovarium (flèche pointillée), glande oviducale droite (flèche pleine), ostium (tête de flèche), (B4) les deux glandes oviducales (flèches pleines) et l'utérus droit (flèche pointillée). *Rhynchobatus djiddensis* appareil génital mâle, en vues ventrales (B5) testicules (flèche pointillée) et canal archinéphrique (flèche pleine) ; (B6) sacs spermatiques (flèches pleines) et glande rectale (flèche pointillée) attachée au rectum - échelle : 3 cm ; (B7) testicules (flèches pointillées) et reins (flèche pleine) échelle : 6 cm. Source : ©Camille Sibout.



**Figure 18 : Photographies de la topographie interne de l'appareil reproducteur adulte chez la femelle et chez le mâle de différentes espèces de requins.**

(A) Topographie interne de l'appareil reproducteur femelle adulte (A1) d'un requin bleu, *Prionace glauca* après retrait du foie ; (A2) d'un requin Aiguillat commun, *Squalus acanthias* après retrait du foie, (A3) d'un requin-taupo *Lamna nasus* après retrait du foie. (B) Appareil reproducteur mâle d'un requin-taupo adulte *Lamna nasus*, (B1) topographie après retrait du foie ; (B2) glande rectale et appareil reproducteur bas ; (B3) photographie rapprochée du testicule droit, de l'épididyme, et du canal déférent. Source : © « Heather Bowlby, Canadian Atlantic Shark Research Laboratory, Fisheries and Oceans, Canada » – images used with permission (Bowlby 2016).

*L'anatomie des élasmobranches est unique et présente de nombreuses différences comparées à celle des téléostéens.*

*Certaines particularités anatomiques sont particulièrement importantes à mentionner afin de ne pas les interpréter comme des caractéristiques pathologiques. Il est donc primordial de rappeler les grandes particularités suivantes :*

*– le foie correspond à 25 % du poids de l'animal, sa fonction primaire est le stockage lipidique. Les requins présentent donc un état de stéatose hépatique de manière physiologique. Cette caractéristique compense notamment l'absence de vessie nataoire.*

*– les élasmobranches ne procèdent pas de moelle osseuse, de ganglions lymphatiques, et de système lymphatique. Certains tissus assurent donc les fonctions hématopoiétiques. Pour se faire, les élasmobranches présentent ainsi deux organes uniques : l'organe de Leydig et l'organe épigonal.*

*– le système digestif est également caractéristique avec la présence de la valve spirale de quatre types possibles.*

*– le système reproducteur est variable suivant les espèces et le stade de développement de l'individu, il n'existe pas de vessie urinaire chez les requins.*

*Connaître ces particularités anatomiques physiologiques est primordial pour le personnel exerçant auprès de ces espèces. Il est en effet indispensable de connaître l'aspect normal des différents organes afin de reconnaître l'anormal. Cette connaissance permettrait ainsi une meilleure collecte des informations sur les anomalies rencontrées, notamment lors des autopsies et analyses histopathologiques. De nombreuses inconnues persistent aujourd'hui sur diverses structures anatomiques et leurs rôles physiologiques.*

*L'objectif de cette première partie est ainsi d'offrir aux différents opérateurs de manière non exhaustive, les bases anatomiques et physiologiques afin de faciliter les différentes observations macroscopiques, microscopiques, et les autopsies chez ces espèces*

## II. Les dominantes pathologiques des requins

Dans cette partie, seront caractérisées de « dominantes » les maladies ayant des conséquences significatives sur la santé des requin (mortalité possible).

### A. Les pathologies infectieuses

#### 1. Particularités du microbiome des requins et bactérioses

##### a) Particularités du microbiome des requins

Les requins entretiennent une relation particulière avec leur flore bactérienne. Contrairement à beaucoup d'espèces, il a été démontré que les requins possèdent une **flore autochtone dans de nombreux organes** tels que **la rate, le foie, les intestins, les reins, le pancréas, la peau, et les dents**. Cette relation requin-bactéries s'expliquerait entre autres, par l'implication des bactéries dans le métabolisme de l'urée, produit du métabolisme des requins. Ce microbiome leur permettrait notamment, chez différentes espèces, de se prémunir d'agents pathogènes digestifs par sécrétion de métabolites antimicrobiens, leur permettrait une extraction maximale des nutriments dans certaines circonstances, protégerait leur peau des pathogènes opportunistes, ou encore, favoriserait la cicatrisation des plaies...(Mylniczenko *et al.* 2007 ; Zhang *et al.* 2016 ; Perry *et al.* 2021).

La compréhension du microbiome et son interaction avec le système immunitaire du requin s'inscrit aujourd'hui dans les priorités de recherche chez ces espèces. Les différentes flores rencontrées seraient déterminées par le milieu de vie de l'animal, sa nourriture, et ses parents.

Bien que le sang soit considéré comme stérile chez un grand nombre d'espèces, les élasmobranches échappent à cette règle et hébergent leur propre flore sanguine.

Mylniczenko *et al.* en 2007 ont ainsi pu mettre en évidence, par ordre décroissant, la présence de *Photobacterium damsela*, *Staphylococcus epidermidis*, et *Vibrio alginolyticus* dans le sang de requins et de raies captifs ou non, en bonne santé apparente. Ils ont montré par la même occasion que, chez les requins, la prévalence d'hémoculture positive était significativement plus élevée chez les espèces pélagiques que chez les espèces sédentaires.

L'étude a également mis en évidence sur des individus prélevés à plusieurs reprises, une irrégularité, des espèces bactériennes isolées, marquant une bactériémie spontanée ou, de plus ou moins courte durée. Des explications possibles à ce phénomène sont :

- une bactériémie due à la mise en circulation d'une flore bactérienne issue de divers tissus,
- les dents qui pourraient être une source de bactériémie étant donné leur constant renouvellement à l'origine de multiples ruptures gingivales.

Concernant la flore cutanée, cette même étude a permis de mettre en évidence que les espèces suivantes : *Photobacterium Damsela*, *Vibrio alginolyticus*, et *Staphylococcus epidermidis*, étaient les espèces les plus fréquemment isolées (Mylniczenko *et al.* 2007). Certains pathogènes opportunistes des téléostéens ont également été trouvés chez des requins sains, parmi eux : *Aeromonas spp.*, *Pseudomonas spp.* et *Vibrio spp.* Il est donc admis que de multiples facteurs de stress exogène, notamment la qualité de l'eau, l'alimentation, une rupture tégumentaire, permettent l'expression du caractère pathogène de ces différents agents opportunistes.

Deux études récentes des pathologies rencontrées en aquarium chez les requins mettent en évidence l'importance des pathologies bactériennes, plaçant ces maladies comme « *les plus courantes* ».

Les affections causées par des *Vibrio spp.* restent de loin les maladies bactériennes les plus fréquentes en aquarium (Garner 2013 ; Smith *et al.* 2017).

Les autres bactérioses pathogènes rencontrées sont : *Photobacterium damsela*, *Aeromonas spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Citrobacter spp.*, *Flavobacterium spp.*, *Streptococcus agalactiae*, et *Serratia marcescens* (Smith *et al.* 2017).

### b) Les septicémies (bactérioses dominantes)

Les septicémies sont fréquemment diagnostiquées chez les requins à l'examen *post-mortem*. Retrouver l'agent responsable relève néanmoins du défi. Il est couramment admis que l'hémoculture est un outil diagnostique intéressant dans le diagnostic *ante-* et *post-mortem* chez les requins lors de maladies infectieuses systémiques. En revanche, à la vue de la relation particulière des requins à leur microflore, une septicémie ne peut pas être conclue par une seule hémoculture. Le recueil des commémoratifs, de l'anamnèse, des signes cliniques de l'animal, des lésions d'autopsie et d'histologie sont indispensables au diagnostic de septicémie.

Chez les requins, les hémocultures ont permis de mettre en évidence une série de bactéries responsables de maladies systémiques de type septicémie. Les espèces les plus fréquemment retrouvées sont : *Citrobacter freundii*, *Corynebacterium pseudointeriticum*, *Micrococcus spp.*, *Aeromonas salmonicida*, *Streptococcus Lancefield groupe B* et *Streptococcus acidominus* (Mylniczenko *et al.* 2007).

Les *Vibrio spp.*, notamment celles produisant de l'uréase, sont également fréquemment répertoriées comme causes de septicémie.

Briones *et al.* en 1998, ont permis la mise en évidence d'un cas de septicémie à *Aeromonas salmonicida* sur un requin à pointe noire (*Carcharhinus melanopterus*). En revanche, cette bactérie a été, à de nombreuses reprises, isolée chez diverses espèces de requins dans divers tissus sans toutefois révéler de caractère pathogène (Buller 2014).

Certains évènements comme le transport, un traumatisme, ou encore une mauvaise qualité de l'eau peuvent être des déclencheurs de septicémies.

### c) Les vibrioses (bactérioses dominantes)

De nombreuses espèces de *Vibrio* appartiennent à la flore naturelle des requins. Grimes *et al.* 1985, rapportent notamment l'isolement des espèces suivantes : *V. alginolyticus*, *V. harveyi*, *V. furnissii*, *V. carchariae* chez diverses espèces de requins issus du milieu naturel sans pathologie observée. *Photobacterium damsela* subsp. *damsela* (famille des Vibrionaceae) est également concernée.

Pourtant, *V. carchariae*, *V. harveyi*, *Photobacterium damsela* subsp. *damsela* (et autres sous-espèces notamment *Photobacterium damsela* subsp. *piscicida*) ont montré leurs pouvoirs pathogènes à de multiples reprises (Grimes *et al.* 1984 ; Buller 2014). Dans ce contexte, il est possible que certaines situations de stress puissent engendrer la prolifération d'une flore opportuniste possiblement pathogène. Par exemple, des cas de mortalité dus à une espèce de *Vibrio spp* opportuniste appartenant à la flore commensale, ont été observés suite à une modification de la salinité dans le milieu chez des requins d'espèces *Heterodontus portusjacksoni* et *Hemiscyllium ocellatum* (Hurst 2016).

*Vibrio carcharia* est évoqué à de multiples reprises dans la littérature pour les méningites qu'il provoque (Smith *et al.* 2004). Les signes cliniques principalement répertoriés sont, de la léthargie, une anorexie, une désorientation progressive, un désintérêt pour l'environnement, une perte du contact visuel. Sans traitement, l'affection conduit à des convulsions, le coma, et la mort de l'animal. Certaines publications relatent également un tropisme cutané avec l'apparition de lésions cutanées surélevées remplies d'exsudat brun purulent. Une transmission possible par le trématode *Dermophthirius sp.* est également soulignée. Dans ce cadre, le diagnostic est majoritairement

histologique (méningite, nécrose rénale, entérite et lésions de la glande rectale), mais aussi bactériologique par l'isolement de l'agent dans le LCR, la rate, les reins, la peau.

#### d) Les bactérioses à *Streptococcus agalactiae* et à *Carnobacterium maltaromaticum* (bactérioses dominantes mais faiblement diagnostiquées)

*Streptococcus agalactiae* (appartenant aux *Streptococcus Lancefield groupe B*) est un pathogène important chez les poissons d'eau douce et d'eau de mer. Les cas décrits chez les éla-smobran-ches sont, en revanche, relativement pauvres. Morick *et al.* 2020, ont mis en évidence une affection multisystémique causée par cette bactérie chez un requin issu du milieu naturel, échoué sur une plage et mort dans les heures suivantes. Les lésions rapportées dans cette publication sont : une méningo-encéphalite diffuse, une vascularite sévère, une atteinte cardiaque caractérisée par des hémorragies et une inflammation granulomateuse. Des lésions de pyogranulomes multifocaux ont également pu être observées dans les organes génitaux (Morick *et al.* 2020).

*Streptococcus agalactiae* appartient à la famille des Carnobacteriaceae, comprenant également la bactérie *Carnobacterium maltaromaticum* responsable de méningo-encéphalites mortelles chez les requins-taupes (notamment en milieu naturel). Dans ce contexte, les méninges apparaissent macroscopiquement rouges et épaissies. Le foie de l'animal présente également de multiples foyers blanc-jaune en tête d'épingle (Terio *et al.* 2018).

#### e) Les affections dues aux épithéliocystes

Les épithéliocystes (Blandford *et al.* 2018), sont à l'origine de maladies des branchies et de la peau, chez les poissons de mer et d'eau douce. Bien qu'ils soient à l'origine de nombreuses pertes d'individus en aquaculture, leur rôle pathogène sur les poissons sauvages n'est pas clairement établi, malgré la prévalence grandissante de cette maladie. Les cas de mortalité signalés sont causés par une altération significative des branchies caractérisées par, une inflammation, une hyperplasie, une nécrose des lamelles branchiales, et la présence de kystes branchiaux. Macroscopiquement, de multiples lésions nodulaires blanches peuvent être observées sur les branchies. Cliniquement, les poissons atteints manifestent une baisse de la prise alimentaire, une production excessive de mucus, des difficultés respiratoires, une faiblesse, et une léthargie. Des cas sont rapportés chez des requins-léopards, *Triakis semifasciata* (Smith *et al.* 2017). Des études récentes des pathologies rencontrées chez les requins, rapportent également l'observation dans les branchies, d'organismes « ressemblant grandement » à des épithéliocystes (Garner 2013 ; Smith *et al.* 2017).

L'étiologie précise et le mécanisme physiopathologique, restent encore aujourd'hui mal connus. Les différentes analyses moléculaires ont néanmoins permis de mettre en évidence l'implication de bactéries intracellulaires de l'ordre des Chlamydiales et des Rickettsia, mais aussi de nombreuses autres bactéries appartenant aux protéobactéries.

Peu de données sont aujourd'hui disponibles sur les traitements utilisables, et peu d'entre eux semblent efficaces. L'oxytétracycline à 25 ppm a cependant montré de bons résultats chez la perche d'Amérique, *Micropterus salmoides*, à raison de deux administrations par jour pendant 3 jours. Chez les requins, peu de données sont disponibles et l'oxytétracycline semble peu efficace (Blandford *et al.* 2018 ; Smith *et al.* 2017).

## f) Autres bactérioses non dominantes

D'autres bactérioses sont rencontrées chez les requins. Parmi ces dernières, bon nombre d'entre elles font partie de la flore commensale et sont peu importantes en termes de prévalence (Tableau 2).

Les infections mycobactériennes semblent peu fréquentes chez les élasmobranches, dans ce contexte, des granulomes cutanés ou viscéraux ont pu être observés (Terio *et al.* 2018).

**Tableau 2 : Tableau récapitulatif des différentes bactéries plus ou moins pathogènes chez les requins.**

NR : non renseigné. Sources : (Grimes *et al.* 1984; Smith *et al.* 2004; Mylniczzenko *et al.* 2007; Janse, Kik 2012 ; Buller 2014 ; Florio *et al.* 2016 ; Smith *et al.* 2017).

Bactéries	Requins sains, isolement sur :			Requins malades	Pathologies
	la peau	le sang	différents organes		
<i>Vibrio carcharia</i>			x	x	Méningites
<i>Photobacterium damsela</i> <i>subsp. damsela</i>	x		x	x	Septicémie
<i>Vibrio alginolyticus</i>	x	x	x	x	Septicémie et méningite
<i>Vibrio harveyi</i>	NR	NR	x	x	Septicémie et méningite
<i>Carnobacterium maltaromaticum</i>				x	Méningo-encéphalite
<i>Streptococcus agalactiae</i>				x	Méningo-encéphalite
<i>Serratia marcescens</i>				x	Cellulite nécrosante et septicémie
<i>Micrococcus spp</i>	x	NR	NR	x	Septicémie
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	x	x	NR	x	Inconnu
<i>Citrobacter freundii</i>				x	Septicémie et méningite
<i>Aeromonas salmonicida</i>	x			x	Septicémie
<i>Streptococcus acidominimus</i>				x	Méningo-encéphalite et septicémie
<i>Tenacibaculum maritimum</i> Famille des Flavobactérie				x	Lésions cutanées nécrotiques allant jusqu'à 5 cm de diamètre Pas de mortalité
<i>Mycobacterium avium</i>				x	Granulomes mycobactériens

## 2. Les viroses

Les viroses des élasmodontes sont fréquemment rencontrées chez de nombreux individus simultanément. Elles se manifestent, en général, à l'issue d'événements stressants et souvent lors d'une immunodépression. Le diagnostic est généralement complexe : la culture et l'identification nécessitent des équipements spécifiques. Aucun traitement n'est disponible à ce jour. Certaines viroses présentées ici, sont relativement fréquentes et bien décrites chez les élasmodontes, tandis que d'autres, apparaissent comme moins fréquentes mais possiblement sous-diagnostiquées.

### a) Dermatite virale et herpes virus

Différents cas de dermatite virale à herpes virus ont été rapportés chez les Émissoles lisses, *Mustelus canis* (Leibovitz, Leboutz 1985 ; Stoskopf 1993 ; Smith *et al.* 2004 ; 2017) et chez d'autres espèces de requins (Garner 2013). Cette maladie, observée en aquarium et en milieu naturel est caractérisée par le développement de lésions cutanées sphériques, définies par des zones de dépigmentations blanches à grises surélevées, de 1 mm à 1 cm de diamètre. La localisation des lésions est aléatoire selon les individus, elles seraient plus importantes à la queue et aux nageoires. Les lésions disparaissent avec le temps et ne semblent provoquer aucune mortalité. Le diagnostic peut être établi par observation de particules virales au microscope électronique à transmission sur les tissus cutanés touchés. L'histologie des lésions rapporte une nécrose épithéliale, une désorganisation de l'épiderme marquée par une dégénérescence cellulaire avec un œdème intracellulaire, de l'acantolyse, et des corps d'inclusions éosinophiles. Des hémorragies intradermiques sont également observées.

### b) Les maladies à papillomavirus

Garner a également pu mettre en évidence la présence de papillomavirus chez certains individus, notamment chez *Chiloscyllium spp.*, *Carcharias taurus*, *Triakis semifasciata*, *Triaenodon obesus*. La maladie se manifestait par une atteinte cutanée multicentrique sur le tronc et était caractérisée par des lésions surélevées allant jusqu'à 1 cm de diamètre. Des lésions d'hyperplasies, sans inclusion virale, étaient observées avant de disparaître complètement (Garner 2013).

### c) La nécrose érythrocytaire virale

La nécrose érythrocytaire virale est causée par un iridovirus responsable d'une hémolyse et donc d'une anémie (incubation de 5 à 30 jours). Cette virose a été mise en évidence chez des Émissoles lisses, *Mustelus canis*, et chez des requins-léopards, *Triakis semifasciata* (Smith *et al.* 2004). À l'autopsie, la maladie se manifeste par des branchies et des organes viscéraux pâles. Le frottis sanguin est un examen complémentaire indispensable qui permet de visualiser des inclusions éosinophiles érythrocytaires et des inclusions basophiles dans les cytoplasmes des macrophages. Cette affection peut être à l'origine d'une forte mortalité notamment chez les jeunes individus (Stoskopf 1993 ; Smith *et al.* 2004 ; 2017).

### d) Les adénoviroses

Dans de rares cas, en milieu naturel, comme en aquarium, des adénoviroses ont pu être identifiées. Bowman *et al.* 2008, rapportent notamment chez sept individus de l'espèce *Mustelus canis* (provenant du milieu naturel), une anorexie et de multiples lésions de dermatites ulcéreuses multifocales colonisées par des protozoaires ciliés. À la mort de ces sept requins, placés en quarantaine, une septicémie a été objectivée chez tous les individus. Une récente publication (Garner 2013) relate également des affections par des adénovirus chez diverses espèces de requins, notamment chez *Mustelus mustelus*, où des inflammations des branchies et des dermatites à inclusions intranucléaires virales ont pu être observées.

### 3. Les mycoses

#### a) Les fusarioses à *Fusarium solani* (dominante pathologique)

Cette mycose est bien connue chez les requins-marteaux, *Sphyrna tiburo* et *Sphyrna lewini* (Stoskopf 1993 ; Smith *et al.* 2004). Chez ces espèces, elle provoque principalement des lésions oculaires, notamment le long des deux extensions extérieures de la tête des requins-marteaux : les deux céphalofoils, une nécrose du cartilage de la tête, et touche régulièrement les organes sensoriels tels que le système de la ligne latéral, et les ampoules de Lorenzini (Terio *et al.* 2018). Cliniquement, elle est également caractérisée par : une léthargie, une légère désorientation, une perte de poids, le développement de pustules blanches le long de la ligne latérale et à d'autres localisations cutanées. L'apparition d'ulcères cutanés et de papules contenant un exsudat purulent blanc, est également rapportée. Des hémorragies de la peau, du cartilage, des muscles profonds (accompagnées de myosites chroniques ou même de nécroses musculaires), peuvent être observées conjointement.

Ce pathogène opportuniste s'exprime à la faveur d'un stress ou d'un changement environnemental, et touche notamment les individus « d'eau chaude » maintenus dans des « eaux plus froides » en aquarium (par exemple, chez les requins *Sphyrna tiburo* maintenus à des températures inférieures à 24,5°C). Les traumatismes cutanés sont, par ailleurs, des facteurs prédisposant à ce type d'affection.

Le diagnostic différentiel doit être fait avec : *Aspergillus*, *Acremonium*, *Pseudallescheria*, et *Penicillium*. Une analyse cytologique sur le liquide prélevé dans les pustules, une analyse histopathologique, et une culture mycologique sont les principaux examens diagnostiques.

À l'histologie, des lésions de nécrose et d'ulcération sont observables, et sont accompagnées d'une infiltration granulocytaire et de macrophage (Terio *et al.* 2018).

Aujourd'hui, malheureusement, aucun traitement n'est efficace contre *Fusarium solani*. Cet agent présente également un caractère immunosuppresseur et prédispose donc les animaux aux pathogènes opportunistes.

#### b) Les microsporidioses

Malgré le fait que cette pathologie soit fréquemment rencontrée chez les téléostéens, peu de cas ont été décrits chez les élasmobranches (Smith *et al.* 2004). En revanche, des cas de mortalité ont été déterminés chez des animaux captifs présentant des lésions branchiales. Garner 2013, évoque également sa découverte d'une microsporidiose systémique chez des requins-léopards. Chez ces derniers, l'affection se manifestait par le développement de nodules (xénomes) remplis d'un liquide caséux blanc-jaunâtre (Garner 2013).

#### c) Autres affections fongiques peu dominantes

Les autres affections fongiques retrouvées chez les élasmobranches sont répertoriées dans le tableau 3 (ci-dessous). Les affections à *Exaphilia pisciphila*, *Mucor circinelloides* et *Paecilomyces lilacinus* sont aujourd'hui des maladies fongiques nouvellement diagnostiquées (Smith *et al.* 2004 ; Noga 2010 ; Marancik *et al.* 2011 ; Buller 2014 ; Smith *et al.* 2017).

**Tableau 3 : Autres affections fongiques répertoriées dans la littérature à l'origine de maladies et de mortalités chez les requins.**

Agents	Retrouvés chez :	Pathologies	Références
<i>Exophiala pisciphila</i>	(1) <i>Stegostoma fasciatum</i> (2) <i>Squalus acanthias</i> (3) <i>Mustelus canis</i>	(1) Nécrose de la rate, des branchies (2) Ulcères cutanés et nécroses focales de certains organes (3) Lésions cutanées et au cerveau	(Noga 2010; Marancik <i>et al.</i> 2011 ; Buller 2014 )
<i>Mucor circinelloides</i>	(1) <i>Stegostoma fasciatum</i>	Non renseignée	(Marancik <i>et al.</i> 2011)
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	<i>Sphyrna mokarran</i>	Nécrose hépatique, cardiaque, et des branchies	(Marancik <i>et al.</i> 2011)
<i>Chrysophycophyta spp</i> Dermatite d'été	<i>Squalus acanthias</i>	Pétéchies et ecchymoses cutanées observables sur l'ensemble du corps et se transformant en vésicules de 1-3 mm	(Stoskopf 1993)
<i>Aureobasidium spp</i>	Raies : <i>Pteroplatytrygon violacea</i>	A l'origine d'ascite, hépatomégalie et splénomégalie Dans certains cas : multiples foyers nécrotiques hépatiques	(Stoskopf 1993)

## 4. Les parasitoses

Étant donné l'ampleur des parasites connus chez les élasmobranches, ne sera présentée ici qu'une infime partie d'entre eux. Seuls les agents problématiques et les agents nouvellement diagnostiqués sur le terrain seront présentés en « détails ».

Noter que la grande majorité des infestations parasitaires des requins d'aquarium provient du milieu naturel (capture d'animaux).

### a) Les parasitoses à protozoaires

Les protozoaires infectant les élasmobranches appartiennent à différents phylums : les Rhizopoda, les Apicomplexa, les Ciliophores, et les flagellés. Aujourd'hui, les principales protozooses recensées proviennent du milieu naturel, en revanche, le nombre de cas répertorié à ce jour en aquariums, ne cesse d'augmenter.

#### (1) Les affections à trypanosomes

Ces hémoflagellés, longs et fusiformes, se retrouvent chez les élasmobranches dans le plasma sanguin *via* l'intermédiaire de divers vecteurs comme les sangsues, par exemple (Smith *et al.* 2004 ; Clauss *et al.* 2008 ; Smith *et al.* 2017).

#### (2) Les parasitoses dues aux amibiens

Bien qu'il n'existe que quelques cas d'affection par des amibes rapportés chez les élasmobranches, celle-ci mérite d'être évoquée à la vue de sa pathogénicité chez les téléostéens. Chez ces derniers, les amibes se localisent dans les branchies, et dans les intestins en créant parfois des affections systémiques à l'origine de mortalité. Chez les élasmobranches, des cas de mortalité potentiellement dus à des amibes ont été répertoriés (affections hépatiques et cérébrales) (Smith *et al.* 2004 ; 2017).

#### (3) Les affections à apicomplexes

Les hémoparasites apicomplexiens renferment la grande classe des Coccidies. Parmi ces dernières, se retrouvent notamment les Haemogregarines, parasites des hématies et des leucocytes des vertébrés, et des épithéliums intestinaux de vecteurs invertébrés tels que les sangsues. Elles sont à l'origine d'hémolyse et donc de possibles phénomènes anémiques (Stoskopf 1993 ; Smith *et al.* 2004 ; 2017 ; Terio *et al.* 2018).

Différentes espèces d'*Eimeria spp.* affectant les élasmobranches ont également été décrites (Stoskopf 1993). La plupart sont des parasites du tractus digestif (intestin grêle, valve spirale) sans conséquence associée. *Eimeria southwelli* est dans ce cadre une des espèces d'*Eimeria* les plus fréquemment rencontrées sur le péritoine de divers organes coelomiques tels que le foie, la rate, l'intestin. Peu de signes d'infection sont observés en général. Seule une distension coelomique accompagnée par des effusions séreuses à séro-hémorragiques, peuvent être vues et associées à l'endommagement des séreuses de divers organes. L'observation microscopique de ce liquide d'épanchement (objectif x 40) peut laisser voir des oocystes (Terio *et al.* 2018).

#### (4) Les affections dues aux ciliés

Ces affections sont rarement rencontrées et décrites chez les élasmobranches.

Stidworthy *et al.* 2014, rapportent en revanche l'émergence de la scuticociliatose chez les requins d'aquariums, responsable de mortalité. Cette pathologie est bien connue chez les téléostéens marins puisqu'elle est responsable de pertes économiques majeures en aquaculture. Cette pathologie est due au protozoaire histophage, *Philasterides dicentrarchi* de la sous-classe des *Scuticociliatida*, et du phylum des *Ciliophora*. *Philasterides dicentrarchi* a déjà été décrit dans la littérature pour ces lésions de vascularite nécrosante, d'hépatite nécrosante, et de méningo-encéphalite (Smith *et al.* 2017). Cet article vient de nouveau enrichir ces connaissances par la découverte, de décès successifs de différentes espèces de requins (2 requins *Stegostoma fasciatum*, 3 requins *Heterodontus*

*portusjacksoni*, et 1 requin *Heterodontus Japonicus*) suite à cette infection (Stidworthy *et al.* 2014). Ces requins sont tous morts de manière brutale, ou suite à des signes cliniques non spécifiques, notamment de la léthargie et de l'anorexie. Les résultats d'autopsie mettent néanmoins l'accent sur : des lésions hépatiques sévères multifocales de nécroses et d'hémorragies associées dans deux cas à des épanchements coelomiques. Des lésions d'ecchymoses cutanées, de pancréatite nécrosante, d'hypertrophie de la rate et des reins ont également pu être observées. Les résultats histopathologiques confirment également dans cette étude l'existence d'une triade : hépatite nécrosante, une méningo-encéphalite nécrosante, et une inflammation branchiale thrombosante. L'observation des protozoaires a été faite sur de nombreuses coupes histologiques. L'extraction de l'ADN de ces coupes et l'amplification de l'ADNr 18 S ribosomal a permis l'identification de *Philasterides dicentrarchi*. Cet article souligne l'émergence nette ou la sous-estimation de ces affections en aquarium (Stidworthy *et al.* 2014).

## b) Les parasitoses problématiques dominantes

Les infections provoquées par ces parasites sont problématiques de par les conséquences pathologiques qu'ils engendrent et de par leur caractère mortel sur l'animal. Ils permettent souvent le passage d'agents opportunistes pathogènes comme certaines bactéries ou champignons.

### (1) Les trématodoses monogéniques ou affections aux monogènes

Il s'agit d'un groupe particulièrement pathogène chez les élasmobranches captifs, et sont responsables de mortalité. Il s'agit de vers plats mesurant entre 1 et 20 mm, représentés par plus de 2 200 espèces répertoriées, dont 200 espèces connues aujourd'hui pour infecter les élasmobranches (chiffres sans aucun doute sous-estimés) (Smith *et al.* 2004). Les monogènes présentent une forte spécificité d'hôte. Il existe deux sous-classes de vers monogènes : les Monopisthocotylea et les Polyopsthocotylea. Suivant les espèces, certains se fixent sur la peau, dans la cavité buccale, sur les branchies, sur les sacs olfactifs. Bien qu'il s'agisse d'ectoparasites, les individus adultes de nombreuses espèces sont des endoparasites et peuvent infecter (en fonction de l'espèce), la glande rectale, le rectum, la cavité péricardique, les cavités cardiaques, l'oviducte, les zones urogénitales, le coelome et autres cavités de l'organisme (Smith *et al.* 2004 ; Hurst 2016 ; Terio *et al.* 2018 ; Smith *et al.* 2017). Les Polyopsthocotylea ne se fixent qu'aux branchies (sauf quelques rares exceptions).

Le mécanisme physiopathologique impliqué est en revanche mal connu, et divers articles soulignent des infections mortelles en aquarium engendrées par de très fortes infestations des branchies (Figure 19) ou de la peau (Smith *et al.* 2017). Certains auteurs soulignent, en effet, que les individus sauvages abritent ces parasites sans effet néfaste majeur. La captivité représenterait un milieu de vie optimal, marqué par des cycles successifs favorisant de fortes infestations (Smith *et al.* 2004).



**Figure 19 : Monogènes branchiaux chez une raie *Aetobatus narinari*.**

Les filaments branchiaux sont pâles, épaissis, et un exsudat jaune est observable sans observation macroscopique des parasites. Source : cet article a été publié dans Pathology of Wildlife and Zoo Animals, édité par Karen A. Terio, Denise McAloose, Judy St. Leger, page n°1014, Copyright Elsevier (2018) — images used with permission.

Les Polyopsthocotylea, localisés aux branchies, sont des hématophages stricts, et sont donc responsables d'une spoliation de sang. Les Monopisthocotylea se nourrissent, quant à eux, de l'épiderme et peuvent être responsables de lésions inflammatoires, nécrotiques, d'exfoliation des cellules épithéliales au site d'attachement, et donc d'une perturbation des échanges voire de déséquilibres osmotiques (Terio *et al.* 2018 ; Klimpel *et al.* 2019). Le diagnostic se fait visuellement par la détection de la localisation des parasites, mais n'est cependant pas toujours évident étant donné le faible taux d'infestation en milieu naturel. Dans ce cadre, une quarantaine est fortement recommandée avec idéalement un traitement en conséquence. Malgré le fait que le praziquantel semble être la molécule la plus efficace, il a été montré que son efficacité n'est pas la même sur toutes les espèces de monogènes. De plus, les œufs de monogènes sont résistants au praziquantel (traitement à ajuster en fonction du cycle parasitaire).

Noter que les trématodes digéniques, endoparasites, sont rares, mais à l'origine de parasitisme du tractus gastro-intestinal, du cœlome, de la glande rectale, des viscères, et du système cardiovasculaire des élasmobranchés.

## (2) Les affections dues aux sangsues

Les sangsues, principalement celles de la famille des Piscicolidae, peuvent, elles aussi, être responsables de mortalité des requins détenus en captivité. Ces agents, mesurant de quelques millimètres à une dizaine de centimètres, peuvent se fixer grâce à leur ventouse, sur différents sites. Bien qu'aucune donnée ne soit disponible concernant la spécificité d'hôte et du site de fixation des sangsues sur les différentes espèces de requins, ces dernières peuvent se fixer à divers endroits comme : la peau, le cloaque, les cavités branchiales, buccales, et olfactives. Leurs actions pathogènes s'exercent par leur régime hématophage, à l'origine d'anémie par hémorragies multiples localisées (phénomène bien décrit chez les téléostéens surtout), mais aussi par les multiples déséquilibres osmotiques qu'ils permettent. Ces infestations favorisent également le passage dans la circulation d'un grand nombre d'agents pathogènes opportunistes (bactéries, champignons, protozoaires hématophages ou virus). En aquarium, les infestations à *Branchellion torpenidis* sont aujourd'hui de

plus en plus diagnostiquées, et touchent de multiples espèces de requins tels que les *Stegostomas* et les *Orectolobus*.

En captivité, pour s'en prémunir, une quarantaine est indispensable dans un premier temps. Les insecticides de la famille des organophosphorés (trichlorfon, dichlorvos) sont, aujourd'hui, les molécules les plus efficaces contre les sangsues. En aquarium, des filtres mécaniques (grilles) peuvent également être utilisés pour s'en prémunir puisqu'elles passent une partie de leur cycle dans l'environnement, difficile à traiter (Smith *et al.* 2004 ; Clauss *et al.* 2008 ; Hurst 2016 ; Smith *et al.* 2017 ; Terio *et al.* 2018).

### (3) Les parasitoses dues à *Argulus spp.*

Seuls quelques articles rapportent l'infestation de raies par des parasites de la famille des Argulidae (Smith *et al.* 2004 ; 2017). Leur présence chez certains requins n'est cependant pas à exclure bien qu'aucune donnée ne soit disponible à ce sujet. Ces agents à faible spécificité d'hôte et capables de se multiplier très rapidement pourraient donc représenter une menace pour les requins captifs. Ces parasites de quelques millimètres à 2 cm présentent des ventouses leur permettant l'adhésion à leur hôte à différentes localisations comme : la peau, les cavités buccale et branchiales, les yeux. Chez les téléostéens leur pouvoir pathogène est principalement dû aux dommages tissulaires qu'ils induisent entraînant notamment, de multiples hémorragies et des désordres d'osmorégulation (Smith *et al.* 2004 ; 2017).

### (4) La «maladie de velours» ou les infections à *Amyloodinium ocellatum*

Ce dinoflagellé ectoparasite affecte principalement les branchies, la peau, les yeux, la cavité branchiale, et le tractus digestif. Les cas de mortalité enregistrés chez les élasmobranches concernent des raies captives (*Dasyatis sabina*) très fortement infectées. Les branchies étant le principal site d'affection, la respiration est compromise (Stoskopf 1993).

## c) Les parasitoses dominantes nouvellement diagnostiquées

Sont répertoriées ci-dessous les parasitoses dominantes nouvellement diagnostiquées, déjà rencontrées chez les requins et pouvant être à l'origine de maladies voire, causer la mort de certains individus.

### (1) Les nématodoses

La découverte de fortes infestations par des nématodes de requins du milieu naturel et captifs, malades, présentant à l'autopsie des nématodes branchiaux et cérébraux, fait aujourd'hui de ces parasites une préoccupation majeure en aquarium, très semblablement sous-estimée. Une centaine d'espèces est aujourd'hui connue pour infecter les chondrichthyens. Aussi, différents tissus peuvent être colonisés par ces vers ronds en fonction de l'espèce. Certains sont retrouvés dans le tube digestif, d'autres dans divers organes tels que la peau. Malgré le manque d'information sur leur pathogénicité, les lésions causées par ces derniers dans divers organes comme le cerveau, le pancréas, les ovaires, l'utérus, l'estomac, les intestins, les branchies, le cœur, la rate et les reins laissent suggérer leur fort pouvoir pathogène. Quatre espèces de nématodes du genre *Huffmanella* sont aujourd'hui connues pour infecter les élasmobranches dont :

- *H. carcharhini* : œufs retrouvés chez les requins d'espèce *Carcharhinus plumbeus* (sans problématique majeure associée),
- *H. lata* : œufs retrouvés dans les branchies et sur la peau de requins d'espèce *Carcharhinus amblyrhynchos*,
- *H. markgracei* : retrouvés sur la peau de requins du milieu naturel *Rhizoprionodon terraenovae*.

Les œufs des nématodes du genre *Huffmanella* sont très caractéristiques et facilement reconnaissables, ils forment sur la peau, des motifs ressemblants à de multiples lignes noires entremêlées (Smith *et al.* 2004 ; 2017 ; Terio *et al.* 2018).

Des cas de méningo-encéphalites impliquant des larves de Spiruridés chez des requins-nourrices sauvages ont par ailleurs été signalés. Dans ce contexte, les méninges étaient à l'histologie, infiltrées d'agrégats nodulaires de larves de nématodes et entourées de granulocytes et lymphocytes... (Terio *et al.* 2018)

## (2) Les infestations à copépodes

Les copépodes sont bien connus chez les téléostéens pour être à l'origine de mortalité. Chez les chondrichthyens néanmoins, aucun cas de mortalité ne semble décrit en captivité malgré les nombreux cas d'infestation déjà répertoriés chez les requins du milieu naturel. Seuls les copépodes des ordres des Poecilostomatoidea et Siphonostomatoidea sont connus aujourd'hui pour infecter les chondrichthyens.

Leur pouvoir pathogène est variable en fonction du site d'infestation. Lors de parasitose des branchies, une hyperplasie de ces dernières est généralement observée avec, indéniablement des perturbations des échanges branchiaux. La couleur rouge de certains représentants de l'espèce souligne également leur caractère hématophage. Le copépode *Anthosoma crassum* est également connu pour induire des stomatites sévères chez ces hôtes et possiblement, dans de graves cas, des pertes de dents, de denticules, et l'inflammation des tissus nerveux (Smith *et al.* 2004 ; 2017).

Certains copépodes, comme *Ommatokoita elongata*, peuvent se fixer à la cornée de certains requins pour provoquer des kérato-conjonctivites. À l'histologie, une hyperplasie, une ulcération, et une érosion cornéenne sont observables (Terio *et al.* 2018).

## (3) Les infestations aux isopodes

Les isopodes représentent une menace pour les élasmobranches du fait de leur grande capacité d'infestation des requins du milieu naturel. Leurs principales localisations sont : les branchies, les cavités buccales et branchiales, les organes olfactifs, le cloaque et la peau (Smith *et al.* 2004 ; 2017).

Les larves de l'isopode *Gnathia spp* sont hématophages et se nourrissent également de tissus mous. De fortes infestations sont alors à l'origine d'anémie.

*Cirolana borealis*, est quant à lui connu pour parasiter la peau des requins et notamment les muscles squelettiques. Il peut pénétrer dans les différentes cavités corporelles pour se nourrir des différents tissus. Chez ces requins, l'autopsie peut laisser apparaître des isopodes, dans et à l'extérieur du cœur, révélant à l'histologie une nécrose du myocarde et une inflammation lymphocytaire péricardique. Cette parasitose entraîne ainsi régulièrement, la mortalité des requins infectés, surtout de manière périodique en milieu naturel (Terio *et al.* 2018).

## d) Les autres parasitoses, peu dominantes

Ces parasitoses sont toutes rencontrées chez les requins, mais ne sont pas à l'origine de pathologies notables ou de mortalité. Ces différents parasites sont répertoriés dans le tableau ci-dessous (Tableau 4). Ces agents peuvent néanmoins, dans certaines situations, se révéler pathogènes et peuvent parfois provoquer des lésions considérées comme dangereuses pour les requins.

Les cestodes peuvent être à l'origine de nécrose de l'épithélium, d'ulcération, d'hémorragie au site d'attachement du parasite.

**Tableau 4 : Liste des parasitoses peu dominantes connues chez les élasmobranches**

<b>Listes des parasitoses non pathogènes :</b>	<b>Localisation principale</b>
<b>Les myxozoaires</b>	Lumière de la vésicule biliaire
<b>Les turbellariés</b>	Peau
<b>Les aspidogastrea</b>	Divers organes en fonction des espèces notamment le foie (canaux biliaires), la vésicule biliaire, la glande rectale
<b>Les digènes ou Digenea</b>	En fonction des espèces : -yeux -intestin -estomac -grandes cavités, -foie, -ovaire, -rectum -péricarde -branchies
<b>Les Cestodes</b>	Tube digestif principalement Certaines espèces : -estomac -vésicule biliaire
<b>Les acanthocéphales ou Acanthocephala</b>	Estomac et intestin
<b>Les acariens</b>	Un unique cas répertorié : acarien retrouvé dans la cavité cardiaque d'un requin nourrice
<b>Les ostracodes</b>	Branchie et sacs olfactifs
<b>Les amphipodes</b>	Peau, cavité buccale et branchique, branchies, sacs olfactifs
<b>Les gastropodes</b>	Peau
<b>Les craniés ou craniates</b>	Peau

## **B. Les pathologies non infectieuses**

### **1. Les pathologies nutritionnelles**

L'alimentation des élasmobranches est d'une importance cruciale pour le maintien des requins en captivité. De manière courante en aquarium, les poissons frais sont congelés avant d'être décongelés pour alimenter les différents individus. Les intérêts majeurs sont, dans ce cadre, d'éviter l'apport de parasites *via* l'alimentation, et une facilité d'organisation (disponibilité des ressources alimentaires). Ce procédé réduit néanmoins considérablement les teneurs de ces aliments en acides aminés, en vitamines hydrosolubles, notamment les vitamines C et E relativement importantes chez ces espèces, et en vitamine B1, la thiamine. Il est également préférable de décongeler les poissons à l'air plutôt que dans l'eau où une perte supplémentaire en vitamine et une possible contamination microbiologique, sont possibles. Les carences nutritionnelles sont rarement décrites.

Pour assurer les besoins nutritionnels, l'alimentation doit être composée de :

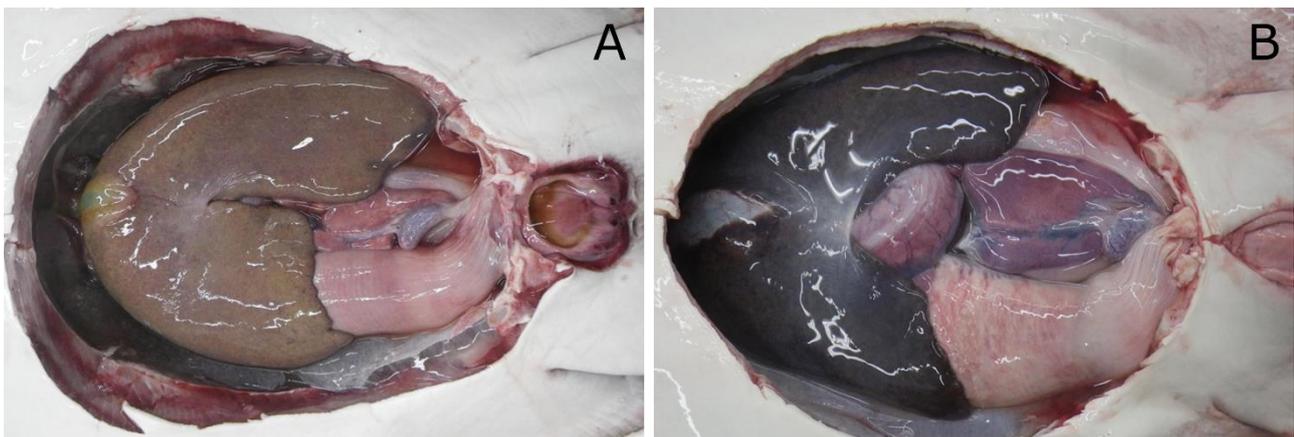
- protéines : elles représentent un apport indispensable en acides aminés notamment les acides aminés essentiels tel que l'arginine, l'isoleucine, la lysine, la phénylalanine, le tryptophane, la valine, l'histidine, la leucine, la méthionine, la thréonine. Les besoins en protéines chez les poissons sont bien plus importants que chez les oiseaux et les mammifères, en effet, un repas doit contenir 35 à 55 % de protéines chez les poissons, contre 12 à 25 % de protéines chez les oiseaux et mammifères (cet apport variant en fonction du statut physiologique) (Stoskopf 1993).
- lipides : ils sont stockés en très grande quantité chez le requin dans les muscles et surtout, dans le foie.
- glucides : sont présents en très faible quantité dans le régime alimentaire des requins.
- vitamines et minéraux : quatre vitamines liposolubles c'est-à-dire les vitamines A, D, E et K, et onze vitamines hydrosolubles sont connues pour être nécessaires chez les poissons. Concernant les minéraux, le calcium, le chlore, le magnésium, le phosphore, le potassium et le sodium sont également reconnus comme indispensables.

Diverses marques proposent dans ce sens des suppléments vitaminiques, à destination des élasmobranches captifs, à ajouter à la nourriture.

#### a) Les maladies hépatiques

Concernant les lipidoses hépatiques, aucun consensus ne semble aujourd'hui trancher sur l'existence de stéatoses induites par ingestion d'un excès de consommation d'alimentation grasse chez les requins.

Les autres maladies nutritionnelles majeures rencontrées dans des études rétrospectives sont souvent des états d'amaigrissement sévères dus à une mauvaise alimentation (Figure 20). L'organe indicateur est bien sûr, le foie, où un manque de réserve lipidique peut être constaté. Garner, note par ailleurs dans son étude rétrospective que certaines espèces étaient plus concernées que d'autres par ce manque de réserve lipidique, à savoir : les requins bambou (*Chiloscyllium spp.*), les requins-marteaux tiburo (*Sphyrna tiburo*), et les raies d'eau douce (*Potamotrygon motoro*) (Garner 2013).



**Figure 20 : Différents aspects de foies sain et pathologique chez une raie *Rhinoptera bonasus*.**

(A) foie normal de couleur brun clair-beige foncé permettant le recouvrement total de l'estomac ; (B) foie atrophié de coloration brun foncé dû à un faible stockage des lipides et ne permettant pas le recouvrement total de l'estomac encore visible entre les lobes du foie. Source : cet article a été publié dans Pathology of Wildlife and Zoo Animals, édité par Karen A. Terio, Denise McAloose, Judy St. Leger, page n°1016.e5, Copyright Elsevier (2018) — images used with permission.

De manière générale lors de l'observation d'animaux en amaigrissement chronique, une maladie concomitante est généralement identifiée.

## b) Les vitaminoses

Concernant les déficits vitaminiques, ils peuvent être à l'origine (Smith *et al.* 2004) :

- d'anémie : c'est dans ce cadre que SeaWorld Ohio ont pu corriger l'anémie de leurs requins *Heterodontus francisci* par adjonction d'acide folique dans leur alimentation.
- de retard de croissance : les carences en vitamines A, D, E, B1, en acide folique, en choline, en inositol, et en riboflavine ont toutes un effet négatif sur la croissance.
- de déformation de la colonne vertébrale : c'est le cas chez certains élasmobranches présentant des déficits en vitamine C.
- de symptômes neurologiques tels que des convulsions, de l'ataxie, des spasmes musculaires observés lors de carences en thiamine.

Dans ce sens, il est connu qu'une alimentation riche en acides gras insaturés augmente les besoins en vitamine E. Il en est de même lors de carence alimentaire en vitamine C et sélénium. À trop forte dose en revanche, la vitamine E peut interagir avec la vitamine K ce qui peut induire un effet anticoagulant (Smith *et al.* 2017).

Malgré le manque de seuil de toxicité de la vitamine A, une supplémentation excessive a cependant montré un ralentissement de la croissance, de l'anémie, une croissance vertébrale anormale et de la mortalité. Les élasmobranches d'aquarium consommant des poissons gras sont moins sujets aux carences en vitamines A et D étant donné la richesse de ces poissons en ces vitamines. Une supplémentation sera nécessaire en cas de consommation majoritaire de mollusques, crabes et autres crustacés (Smith *et al.* 2017).

La présence de graisses rances, produits de l'auto-oxydation durant le stockage de l'aliment peut être à l'origine d'une dégénérescence lipidique hépatique, d'une stéatose, et d'une anémie microcytaire (Smith *et al.* 2004).

Les déformations de la colonne vertébrale sont fréquentes, notamment chez les requins de l'espèce *Carcharias taurus*. Il ne s'agit pas, dans ce cadre d'une pathologie nutritionnelle *sensu stricto* puisque la littérature rapporte une étiologie inconnue, possiblement traumatique, ou résultant d'une carence en vitamines C, E, en zinc et en potassium. Chez ces individus, une scoliose, une subluxation des vertèbres peuvent être observées. Les requins affectés par cette maladie présentent notamment, à long terme, des difficultés à la nage, ce qui nécessite une règle générale, une euthanasie (Smith *et al.* 2017).

## 2. Les maladies dégénératives

### a) L'artériosclérose

L'artériosclérose coronarienne touche les animaux sauvages et captifs (Terio *et al.* 2018). Macroscopiquement, le diagnostic n'est pas probant, c'est l'analyse histologique des points de ramifications des artérioles coronaires qui permet la visualisation d'une perte de la lame élastique interne, de la prolifération du muscle lisse de l'*intima* et du tissu conjonctif. Tout cela réduit considérablement la lumière vasculaire. Elle peut également être observée, chez les vieux individus, dans les vaisseaux choroïdiens méningés et oculaires. Au niveau des méninges, l'artériosclérose peut être observable macroscopiquement. Chez les vieux animaux, des lésions cardiaques peuvent également être présentes telles que des lésions de prolifération valvulaire et de fibrose myocardique.

### b) La glomérulosclérose

Elle se traduit par une augmentation de la cellularité glomérulaire ou du stroma mésangial. Seule l'histologie permet ce diagnostic. La pathogénie de cette affection reste cependant inconnue (Terio *et al.* 2018).

### 3. Les intoxications

#### a) Les intoxications aux composés volatils organiques

Ces composés ont été à maintes reprises des causes de mortalité accidentelle chez les élaémobranches. Dans ces composés, sont inclus, par exemple, les polluants chimiques issus des peintures, des colles, et différents produits d'enduits pour le sol. On retrouve notamment les composés suivants : l'acétone, le toluène, le tétrahydrofurane, le 2-butanone, le 1,2,3-trichloropropane, le 1,1,1-trichloroéthane et le méthylisobutylcétone. Les lésions associées sont principalement des lésions branchiales (Smith *et al.* 2004 ; 2017).

#### b) Les intoxications aux métaux lourds

L'intoxication par les métaux est une problématique majeure chez les requins d'aquarium, mais également chez les requins du milieu naturel. En tant que prédateurs placés en haut de la chaîne alimentaire marine, ils peuvent, dans ce contexte, accumuler un grand nombre de métaux toxiques. Les requins captifs peuvent, quant à eux, présenter des signes d'intoxication par contamination *via* les tuyaux de canalisations délivrant parfois des taux très importants de cuivre dans les bassins. Il en est de même pour les eaux d'approvisionnement qui s'avèreraient très fortement contaminées dans certains aquariums de manière saisonnière (Smith *et al.* 2004 ; 2017). Les deux organes les plus bioaccumulateurs des métaux sont le foie et la glande rectale (Wosnick *et al.* 2021). Ce même article met en évidence chez vingt requins, que les taux de cobalt étaient plus importants dans les branchies et muscles de certains requins, et que les taux de cuivre et de fer étaient plus importants dans les muscles et les branchies.

Cet article a permis la corrélation entre l'accumulation de certains métaux et l'augmentation de certains paramètres biochimiques. L'accumulation de cobalt dans le foie de certains requins était corrélée positivement à une augmentation des ALAT (alanine aminotransférase), l'accumulation de fer avec une augmentation des triglycérides et des PAL (phosphatases alcalines), et l'accumulation de mercure avec une augmentation des PAL. Dans les branchies, l'accumulation de fer et de mercure était positivement corrélée avec les taux d'urée et de lactate. Dans la glande rectale, l'accumulation de cobalt, de manganèse et de mercure était corrélée positivement à une augmentation des taux de phosphore. Cet article a pu mettre en évidence une baisse des concentrations hépatiques en nickel et en fer en fonction de la taille des requins suggérant ainsi, que les requins pourraient bénéficier de systèmes de détoxification hépatique *via* possiblement la synthèse de métallothionéines.

Chez l'Aiguillat commun, *Squalus Acanthias*, il a été démontré, les effets secondaires du plomb s'accumulant dans les branchies, les muscles, le foie, la glande rectale, déstabilisant ainsi les mécanismes osmorégulateurs et respiratoires de ces requins. Chez les deux espèces *Scyliorhinus canicula* et *Squalus Acanthias*, une accumulation d'argent et de cuivre dans les muscles, le foie, les intestins, les branchies, la glande rectale, la peau a également démontré une modification du métabolisme anaérobie, une accumulation de lactate et une alcalose. Il a également été montré chez ces mêmes requins un gonflement des hématies avec une hémolyse (Wosnick *et al.* 2021).

Le zinc a montré sa toxicité à de nombreuses reprises par son accumulation dans les branchies (des 0,80 mg/L chez la truite arc-en-ciel) et dans d'autres organes internes tels que les reins, le foie, les muscles. Il est également à l'origine d'hypoxie par dépression respiratoire. Chez les requins *Scyliorhinus canicula* certains auteurs suggèrent également que le sexe de l'animal puisse influencer l'effet de la toxicité du zinc. Les mâles de cette espèce accumulent jusqu'à trois fois plus de zinc dans leurs arcs branchiaux (Smith *et al.* 2004).

La toxicité du cuivre et du zinc est à l'origine de modifications hématologiques chez les élaémobranches (Weiss, Wardrop 2010). L'ensemble de ces modifications sont développées par la suite et ne seront pas représentées ici.

Les effets synergiques entre le cuivre et le zinc sont une préoccupation majeure en aquarium. Aussi, un excès de zinc dans un bassin augmentera la toxicité du cuivre d'intérêt thérapeutique (par exemple) (Smith *et al.* 2004).

### c) L'intoxication à l'ammoniaque et aux nitrites

Les intoxications à l'ammoniaque se déroulent, en règle générale, pendant le transport. Dans ce cadre, il est recommandé de ne jamais dépasser des concentrations de 1,0 mg/L. Chez les requins, les forts taux d'ammoniaque sont à l'origine d'une toxicité chronique provoquant des lésions rénales. Sa toxicité augmente avec le pH, elle peut également varier avec la température et la salinité de l'eau (Smith *et al.* 2004). Cette intoxication est également responsable chez les téléostéens, d'anémie microcytaire normo- ou hypo- chrome et d'un défaut de l'érythropoïèse (Clauss *et al.* 2008).

Les intoxications au nitrite se doivent également d'être mentionnées puisqu'elles aboutissent à l'oxydation de l'hémoglobine en méthémoglobine (incapable alors de transporter l'oxygène), à l'origine d'une anémie hémolytique hypochrome (Clauss *et al.* 2008).

### d) L'intoxication au fenbendazole

Le fenbendazole (Panacur ND) est couramment utilisé chez les élasmobranches dans le traitement du parasitisme intestinal. Il est également utilisé et recommandé lors des étapes de quarantaine à des doses de 25 mg/kg *per os* trois fois par semaine, pendant 3 semaines (Smith *et al.* 2017).

Depuis quelque temps, et chez de nombreuses espèces comme chez certains oiseaux, reptiles, ou mammifères, son utilisation a révélé une toxicité (Myers *et al.* 2007). Son emploi chez certains requins aux doses présentées ci-dessus a également montré l'apparition de signes de toxicité aiguë chez ces animaux sous 24 heures, et des mortalités sous 1 semaine.

Lors de toxicité aiguë, une anorexie, une léthargie, une nécrose des marges des nageoires pectorales et caudales, une polypnée, des lésions ventrales érythémateuses peuvent être observées. Les profils érythrocytaires et leucocytaires se sont également montrés modifiés avec l'apparition d'une leucopénie sévère caractérisée par une granulocytopenie et une anémie.

À l'examen histologique, les lésions observées étaient une destruction des cellules basales de la muqueuse gastro-intestinale, ainsi que des tissus hématopoïétiques de la glande épigonale. Ces lésions peuvent également permettre le passage de bactéries pathogènes opportunistes possiblement à l'origine de septicémies mortelles (Myers *et al.* 2007).

### e) L'intoxication au chlore et à la chloramine

Diverses intoxications à l'eau chlorée ont été mentionnées dans la littérature (Smith *et al.* 2004). Le mécanisme physiopathologique engagé n'est, en revanche, pas connu.

Les chloramines sont les produits de la réaction entre le chlore et d'autres matières organiques. Aussi, si une eau chlorée ou une eau traitée aux chloramines est utilisée dans un bassin, il est primordial d'utiliser des filtres à charbon (Smith *et al.* 2004).

### f) L'intoxication à l'ozone

Elle se produit dans un contexte accidentel de défaillance des équipements. C'est un composé toxique pour les branchies, et à l'origine d'hémolyse par peroxydation des membranes des érythrocytes conduisant à la formation de méthémoglobine. Une hypoxie peut dans ce contexte être observée, entraînant la mort de l'animal. Lors de ces intoxications, aucune lésion macroscopique présageant de cette intoxication n'est observable. À l'histologie néanmoins, une nécrose aiguë de l'épithélium branchial peut-être présente et associée parfois, à une congestion des lamelles et une atrophie (Terio *et al.* 2018).

#### g) Autres intoxications

Peuvent être évoquées ici, les intoxications rencontrées lors de « marées rouges » à *Karenia brevis* (Terio *et al.* 2018). Elles sont fréquemment rencontrées au large de la Floride et à l'origine de forte mortalité de requins. Ce dinoflagellé marin est à l'origine de lésions non spécifiques, mais l'intoxication peut être diagnostiquée par dosage de forte concentration de brevétoxine dans le foie, les branchies, et les muscles squelettiques.

#### 4. Les maladies inflammatoires non infectieuses

Divers cas d'inflammation des sacs et des pores endolymphatiques sont observés sans cause identifiée. Cette inflammation est à l'origine d'une obstruction des pores endolymphatiques provoquant une accumulation d'endolymphe et conduisant à une distension des pores et une rupture de ces structures. Une accumulation d'endolymphe dans les oreilles peut être à l'origine de troubles caractérisés par une anomalie de la nage chez ces animaux, par compression, voire par destruction des canaux semi-circulaires. Ces affections sont fréquemment compliquées d'atteintes bactériennes secondaires. Un exsudat peut être observé au niveau sous-cutané et dans les oreilles (Figure 21). Le diagnostic se fait notamment *via* une analyse histologique (Terio *et al.* 2018).



**Figure 21 : Otite interne chez un requin de récif à pointe blanche *Triaenodon obesus*.**

Un exsudat inflammatoire est observable et secondaire à une inflammation chronique des conduits endolymphatiques. Source : cet article a été publié dans Pathology of Wildlife and Zoo Animals, édité par Karen A. Terio, Denise McAloose, Judy St. Leger, page n°1008, Copyright Elsevier (2018) — images used with permission.

#### 5. Les traumatismes

Ils sont couramment observés chez les individus sauvages et captifs. Les agressions les plus fréquemment rencontrées sont généralement entre mâles, ou entre mâle et femelle pendant l'accouplement. Elles peuvent également être observées pendant les nourrissages (lors de compétition alimentaire notamment), lors de surdensité de population, ou lors de comportements de dominance hiérarchique, de prédation... (Smith *et al.* 2017).

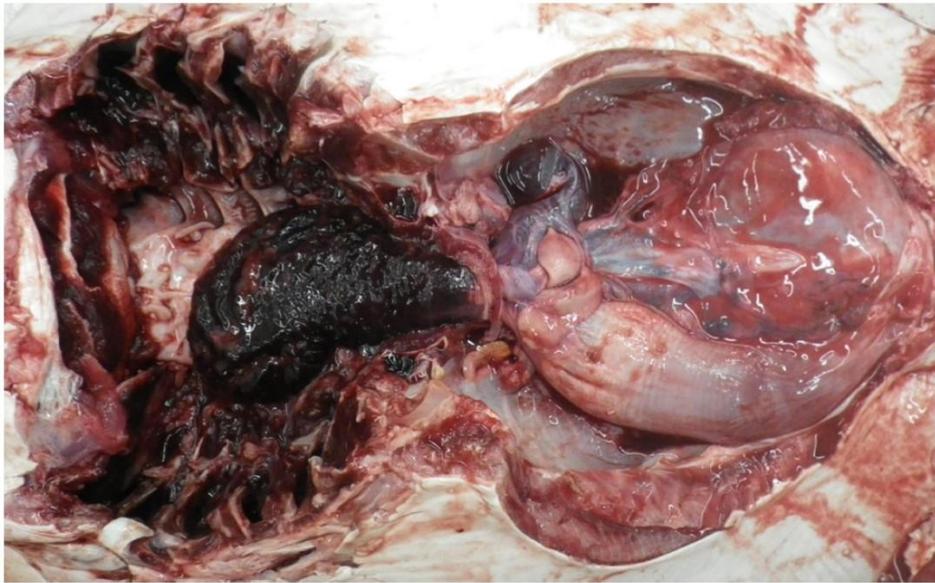
Les morsures sur les nageoires pelviennes sont fréquemment enregistrées. Pendant l'accouplement, le requin mâle mord la femelle, ce qui engendre des blessures généralement peu profondes et souvent non compliquées, localisées surtout à la tête, sur le torse et les pectorales (Terio *et al.* 2018).

Des ruptures hépatiques peuvent néanmoins causer la mort de l'animal lors de blessure(s) par objet contondant. Dans ces situations, une perte de sang par les pores abdominaux (hémorragie intracœlomique) de l'animal peut être observée (Terio *et al.* 2018).

Les blessures liées au décor, à un bassin non adapté, sont également des traumatismes observables en captivité. Pour les individus sauvages et les individus captifs prélevés dans la nature, les traumatismes par corps étranger de type hameçon sont également fréquents. Des occlusions

digestives par certains poissons, des becs de crevette, de calamar, du plastique, de la ficelle, sont également observables en captivité et en milieu sauvage.

De nombreux élasmobranches ont la capacité d'éverser une portion de leur tractus digestif et de le replacer volontairement. L'estomac glandulaire peut ainsi être éversé par la bouche, tandis que la valve spirale et le rectum peuvent s'éverser par le cloaque. Ce comportement naturel peut en revanche s'avérer mortel dans le cas où l'estomac n'est pas remis en place et se bloque à travers les fentes branchiales ou reste coincé dans la cavité buccale (Figure 22).



**Figure 22 : Éversion gastrique avec entrappement oropharyngé et infarcissement de l'estomac chez une raie *Rhinoptera bonasus*.**

Topographie des organes après retrait du foie mettant en évidence un déplacement crânial de la rate, du pancréas et de la valve spirale. Source : cet article a été publié dans Pathology of Wildlife and Zoo Animals, édité par Karen A. Terio, Denise McAloose, Judy St. Leger, page n°1008, Copyright Elsevier (2018) — images used with permission.

Lors de dévagination cloacale, la mort est également possible par morsure de la partie dévaginée par un autre individu. Une mort par hémorragie ou par septicémie peut alors s'en suivre (Terio *et al.* 2018).

## 6. Les pathologies de la reproduction

Globalement, il s'agit des mêmes affections possiblement rencontrées chez les mammifères. Certaines espèces sont néanmoins capables de parthénogenèses et donc peuvent présenter des troubles de la parturition sans mâle dans le même environnement. Les dystocies sont possibles chez les femelles vivipares et peuvent conduire à la mort des petits et de la mère. Chez les femelles ovipares, des impactions utérines par les œufs peuvent également être observées et sont souvent concomitantes avec une infection (cause primaire non identifiée). Lors d'infection utérine, cette dernière se propage en général à l'ovaire avant d'atteindre l'organisme de manière systémique (Terio *et al.* 2018).

## 7. Les néoplasies

La découverte de néoplasies chez les élasmobranches est rare, mais possible. Parmi les néoplasies référencées dans la littérature (Smith *et al.* 2017) se trouve :

– un cas de sarcome des tissus mous, indifférencié, sur la peau d'une raie Mourine américaine, *Rhinoptera bonasus*.

- un cas de lymphosarcome intestinal chez une Émissole lisse, *Mustelus mustelus*
- un cas de tumeur de la rate chez une raie brunette, *Raja undulata*
- un cas de carcinome cutané chez une raie bouclée, *Raja clavata*.

Dans son étude rétrospective, Garner a ainsi pu identifier six élasmobranches sur 1 546, morts de néoplasie. Chez les requins étudiés, des fibromes multicentriques dermiques ont été identifiés sur des requins à pointes noires, *Carcharhinus melanopterus*, un adénocarcinome pancréatique chez un requin-léopard, *Triakis semifasciata*, un adénome hypophysaire chez un requin-zèbre, *Stegostoma fasciatum*, ont été diagnostiqués (Garner 2013).

Par ailleurs, d'autres auteurs signalent également, en milieu naturel et en captivité, des cas de papillomes cutanés. Bien qu'une origine virale soit suspectée, aucun diagnostic précis n'a pu la mettre en évidence aujourd'hui (Terio *et al.* 2018).

Concernant le lymphosarcome, il a été identifié par d'autres auteurs sur des requins captifs et des requins sauvages. Son caractère est polymorphe : il peut se présenter comme multicentrique avec notamment une atteinte intestinale étendue ou comme une leucémie. Des mélanomes cutanés ont également été décrits chez les élasmobranches, et se manifestent macroscopiquement par des plaques en relief, multilobulaires ou sessiles. Des cas de lymphosarcomes thymiques ont également pu être diagnostiqués (Terio *et al.* 2018).

## 8. Les pathologies environnementales et d'origine anthropique

### a) Le goitre

Le goitre n'est pas une pathologie nutritionnelle *sensu stricto* mais plutôt une maladie environnementale. Cette maladie est fréquemment rencontrée en captivité et en milieu naturel (Figure 23). Il peut être de trois types : par hyperplasie de la thyroïde, colloïdal diffus, ou colloïdal multinodulaire (Smith *et al.* 2004).



**Figure 23 : Goitre chez un requin-Léopard *Triakis semifasciata***

Source : cet article a été publié dans Pathology of Wildlife and Zoo Animals, édité par Karen A. Terio, Denise McAloose, Judy St. Leger, page n°1004, Copyright Elsevier (2018) — images used with permission.

Les facteurs de risque de carence en iode sont nombreux. Certains poissons tels que le hareng ou l'éperlan sont des aliments pauvres en iode, et des carences en vitamine C réduisent l'absorption d'iode. Il a également pu être démontré que des concentrations en nitrate trop élevées dans l'environnement peuvent perturber l'utilisation de l'iode par la thyroïde. C'est le cas également

d'autres éléments tels que : le bromure, le calcium, le fluorure, le cobalt, les sulfures et le manganèse. De même, l'ozone provoque la conversion de l'iodure en iodate, composé beaucoup moins absorbable (Smith *et al.* 2004; 2017).

L'hyperplasie de la thyroïde peut être la conséquence de multiples facteurs tels qu'une hyperthyroïdie, une hypothyroïdie, une thyroïdite, une tumeur, ou une anomalie congénitale.

Lors d'hyperthyroïdie, la formation d'un goitre sous la mâchoire inférieure peut être remarquée. Il peut être à l'origine d'une difficulté de la prise alimentaire, une anorexie, et parfois la mort de l'animal. Dans ce contexte d'hyperplasie, la glande thyroïdienne peut atteindre jusqu'à 300 fois sa taille normale.

Les goitres par hyperplasie de la thyroïde sont la conséquence d'une carence en iode ou d'agent bloquant l'utilisation de l'iode par la thyroïde comme vu précédemment.

Le goitre peut également être de type colloïdal diffus. Dans ce contexte, un apport d'iode est fait à l'organisme jusque-là en hyperplasie de la thyroïde : il y a alors un stockage de l'iode dans les follicules thyroïdiens déjà hypertrophiés. Une autre origine possible est la croissance lente d'un goitre colloïdal diffus suite à l'apport intermittent et faible d'iode. Ces goitres se transforment pour la plupart, à terme, en des goitres colloïdaux multinodulaires.

Les goitres peuvent être prévenus par des maintiens de concentration d'iode proche de 0,06 mg/L et par des concentrations de nitrate inférieures à 10 mg/L. Un traitement oral (PO) de 10 à 30 mg/kg PV/semaine a permis de prévenir l'apparition du goitre chez certains requins.

Le danger d'une supplémentation trop importante en iode est cependant à noter puisqu'elle peut être à l'origine d'hypertrophie de la glande thyroïdienne et de nécrose rétinienne.

#### b) La maladie des bulles de gaz ou « sursaturation gazeuse »

La « maladie des bulles de gaz » (Smith *et al.* 2004) est provoquée par une augmentation des gaz dissous à savoir, l'azote principalement. Les sursaturations en oxygène sont généralement bénignes.

La maladie est à l'origine :

- dans sa forme aiguë : de désorientation, d'emphysème sous-cutané, d'embolie, d'exophtalmie, d'un brunissement de la peau, avant de conduire à la mort.
- dans sa forme chronique : d'une mort asymptomatique.

Plus de précision sont disponibles en Partie 2 (page **Erreur ! Signet non défini.**).

#### c) Les fuites électriques

Comme vu précédemment, les requins sont capables de détecter les faibles champs électriques, leur permettant la localisation de leurs proies et leurs déplacements. Une étude effectuée en 2013-2014 a été réalisée dans l'objectif d'apprécier une possible corrélation entre les fuites électriques mesurées et des comportements inhabituels chez certains animaux. Dans cette étude, 41 systèmes de 17 institutions ont été étudiés. Le potentiel électrique le plus élevé mesuré était de 482 mV et 74,6 % des installations étudiées comprenaient des fuites électriques de 100 mV. Dans cette étude, 40 % des élasmobranches étudiés présentaient des comportements inhabituels tels que de l'inappétence, des comportements de stéréotypie, une nage anormale (nage inclinée), une bouche ouverte, une mâchoire relâchée, des comportements de frottement sur les bords des cuves... Ces comportements pouvant être à l'origine de blessures sur le rostre et sur les extrémités des différentes nageoires. Aucune corrélation certaine n'a pu être clairement établie. Deux structures rapportent que ces comportements ont été attribués à un défaut d'installations de chauffage défectueux. D'autres aquariums ont également observé l'arrêt de ces comportements lors de retrait de pompes émettrices de forts champs magnétiques. Des structures ont également incriminé ces fuites électriques dans la mort de plusieurs animaux aux comportements inhabituels (Smith *et al.* 2017).

La sensibilité de ces animaux aux fuites électriques serait fonction des espèces, notamment de la quantité et de la disposition des ampoules de Lorenzini. Les espèces pélagiques telles que les requins-marteaux seraient des espèces plus sensibles. Les rythmes biologiques peuvent également intervenir dans cette sensibilité (notamment pendant la période de reproduction) (Smith *et al.* 2017).

À l'autopsie, aucune lésion ou anomalie significative n'est généralement signalée, seuls les comportements anormaux sont notés du vivant de l'animal. Ce type d'affection doit faire partie du diagnostic différentiel des morts subites. Peu d'information sont aujourd'hui disponibles sur les effets des fuites électriques et effets des champs électromagnétiques en aquarium. Ce défaut d'information provient du manque de retour d'expérience des différents aquariums et de la difficulté à établir une corrélation solide avec les signes cliniques observés [Communication Personnelle – Dr N. D. Mylniczenko DVM-DACZM et Mary McCarthy Senior Aquarist – Monterey Bay Aquarium].

#### d) Réponse au stress et myopathie de capture

Le stress peut se manifester sous différentes formes chez les élaémobranches, des cas de gastrites ou des entérites ont notamment été rapportés dans la littérature (Smith *et al.* 2017). Ces dernières étaient caractérisées par des lésions ulcératives de l'estomac et de l'intestin proximal dues à la production constante d'acides gastriques pendant de potentielles périodes de jeûne. Des gastroprotecteurs tels que du sucralfate ou encore de la ranitidine peuvent être utilisés dans cet objectif.

Certains requins sont particulièrement sensibles au stress de capture et aux manipulations (famille des Carcharhinidés notamment) ce qui affecte notamment leur équilibre acido-basique et peut être responsable de morbidité voire de mortalité en aquarium ou en milieu naturel à l'occasion de pêche accidentelle.

La capacité aérobie des requins étant relativement faible, un passage en mode anaérobie est généralement observé lors de la capture ou de manipulations. Lors de ces dernières, le métabolisme anaérobie peut être exacerbé, allant parfois jusqu'à l'épuisement de l'animal. Dans ces situations, une acidose métabolique est observée (baisse du pH sanguin avec augmentation des lactates dans le sang). Les requins qui ont besoin de nager pour respirer présentent une respiration réduite, voire arrêtée lors de stress de capture engendrant une augmentation du dioxyde de carbone sanguin. Chez ces requins, l'augmentation de la pCO<sub>2</sub> est alors à l'origine d'une baisse du pH sanguin conduisant à une acidose respiratoire (Hyatt *et al.* 2011).

Les requins d'espèce *Sphyrna tiburo* (requin-marteau tiburo) et *Carcharhinus limbatus* (requin bordé) sont très sensibles aux stress. *A contrario*, les requins de l'espèce *Carcharhinus leucas* (requin-bouledogue) sont capables de résister plus facilement au stress de capture. Étant donné l'absence de dosage sanguin de l'hormone de stress 1 $\alpha$ -hydroxycorticostérone chez les élaémobranches, on comprend ici la nécessité de se référer aux gaz du sang pour chaque espèce afin de monitorer au mieux les manipulations de ces requins en aquarium (Hyatt *et al.* 2011).

La myopathie de capture peut être rencontrée chez les animaux sauvages ou domestiques suite à une capture, une poursuite, une contention ou un transport. Comme décrite précédemment elle est à l'origine d'une acidose lactique et d'après Otway 2019, d'une augmentation de la concentration sérique en sodium, de l'hématocrite, du trou anionique, d'une hyperkaliémie, d'une augmentation des CK (créatine kinase) et ASAT (aspartate aminotransférase). Comme chez les mammifères, elle se caractérise par une rhabdomyolyse d'effort, compliquée dans de graves cas par une myoglobulinurie, et par une insuffisance rénale aiguë. Elle peut ainsi conduire à des difficultés à la nage par rigidité musculaire et à la mort immédiate de l'animal ou sous 2 à 4 jours (Otway 2019).

À l'autopsie, une rhabdomyolyse aiguë des muscles épaxiaux peut être observée de manière inconstante. Dans les cas graves, une nécrose tubulaire rénale semblerait pouvoir être observée

[Communication personnelle — Dr Michael Hyatt, DVM, Dipl. ACZM]. L'augmentation des CK, dans un contexte de capture, de manipulations, ou tout autre stress, ainsi qu'une coloration rouge-brune des urines sont des critères d'alerte. Certains articles recommandent même la prise d'urine chez ces animaux par prélèvement dans le sinus urinaire dorsal *via* la papille urinaire (Otway 2019).

## 9. Le syndrome anémique

Cette thèse, proposée par l'Institut Océanographique de Monaco, avait comme premier objectif, l'étude de cas cliniques suite au décès de requins au cours de ces dernières années. Deux cas sont ainsi présentés en Partie 2. Le syndrome anémique étant commun aux deux requins d'étude, il est étudié ci-après.

### a) Rappels sur le syndrome anémique, sa terminologie, ses grands mécanismes

#### (1) Le syndrome anémique

Le syndrome anémique se définit par une diminution en deçà des valeurs usuelles du taux d'hémoglobine fonctionnelle circulant dans le sang. Cette baisse de teneur en hémoglobine conduit ainsi à un état d'hypoxie tissulaire et se manifeste par des signes cliniques associés. Cette hypoxie cellulaire peut être à l'origine d'une pâleur des muqueuses caractérisée chez les requins, par une pâleur des branchies. L'hypoxie peut également se révéler par une bradycardie, une augmentation de la fréquence et de l'amplitude respiratoires, une augmentation de la vitesse de la nage, avec ouverture concomitante de la gueule chez les requins à ventilation forcée, une fatigabilité, une diminution de l'activité chez les requins sédentaires (Schadwick *et al.* 2016). La capacité de l'animal à compenser ces différentes anomalies, l'intensité, et l'évolution de l'anémie, vont ainsi déterminer la présence ou non, de ces différents signes cliniques.

Pour objectiver l'anémie chez un requin, les valeurs de numération globulaire et d'hématocrite doivent être prises en compte. Comme évoqué plus bas, le diagnostic d'anémie chez les requins n'est pas toujours aisé à la vue des facteurs de variation de l'hématocrite.

L'anémie chez le requin peut néanmoins se définir par une baisse de son hématocrite en deçà des valeurs de références. L'hématocrite est conventionnellement quantifié aux environs de 20 % bien que, certaines espèces connaissent des valeurs usuelles d'hématocrites inférieures.

#### (2) Sa terminologie

Différents critères permettent de caractériser cette anémie. Cette terminologie permet de fournir de précieuses pistes quant à l'étiologie de l'anémie.

Comme chez bien d'autres espèces, il peut être intéressant de se référer à la taille des hématies. Aussi, la terminologie d'anémies microcytaires, macrocytaires et normocytaires, s'applique également chez les poissons. Lors d'anémie microcytaire, le Volume Globulaire Moyen (VGM) est inférieur aux valeurs usuelles, tandis qu'en cas d'anémie macrocytaire, le VGM est supérieur à la valeur usuelle maximale.

La concentration en hémoglobine des hématies, donnée par la Teneur Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine (TCMH) ou la Concentration Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine (CCMH), permet de qualifier une anémie d'hypochrome ou de normochrome. Cette terminologie s'applique également chez les poissons. Lors d'anémie normochrome, les hématies contiennent une quantité normale d'hémoglobine (TCMH normal), tandis que lors d'anémie hypochrome, les hématies contiennent une quantité d'hémoglobine inférieure aux valeurs usuelles (TCMH diminuée).

La mesure du taux des réticulocytes circulants est également un indicateur crucial. Ce critère permet en effet de savoir, si le tissu hématopoïétique est capable de faire face à cette anémie en produisant

de nouvelles hématies. Il donne ainsi le caractère régénératif ou non de l'anémie. Chez les requins, il existe bien des érythrocytes immatures circulants estimés (en fonction des revues bibliographiques) à 2 % (Aldana, Vergara 1998). Ce paramètre est néanmoins difficilement interprétable chez ces espèces où peu de données bibliographiques sont disponibles.

L'anémie est considérée comme régénérative dans le cas où, la numération réticulocytaire est supérieure à la valeur usuelle. L'anémie est alors en phase de restauration : le tissu hématopoïétique est capable de fournir une réponse en fabriquant de nouveaux globules rouges. Chez les poissons, une augmentation des érythrocytes immatures du sang ne signifie pas systématiquement une réponse régénératrice (Campbell 2015). En effet, une augmentation de la production de ces cellules peut être une réponse à divers stimuli : toxines, pathologies infectieuses, ou stress environnementaux comme l'hypoxie.

Les poissons ayant une anémie régénérative présentent une grande quantité dans la circulation périphérique d'érythrocytes polychromatophiles et de cellules immatures.

Une anémie est *a contrario*, qualifiée de non régénérative, dans le cas où aucun processus de restauration n'est mis en place : le tissu hématopoïétique ne répond pas à l'anémie.

Il existe également des anémies hyporégénératives où le tissu hématopoïétique présente une activité érythroblastique de base, mais sans augmentation de son activité. Une anémie arégénérative est caractérisée par une activité érythroblastique diminuée du tissu hématopoïétique.

## b) Les grands mécanismes généraux de l'anémie chez les requins et les causes associées

Chez les mammifères, lors d'anémie, deux grands processus sont mis en place par l'organisme. Le premier, la compensation, engendre une polypnée et une tachycardie pour palier à l'hypoxie, puis une vasoconstriction périphérique. Le second, la restauration de l'hémogramme, se met en place progressivement et vise au retour d'une quantité normale d'hémoglobine circulante (tissus hématopoïétiques). Ces deux phénomènes ne sont pas rapportés chez les requins.

Lors d'anémie chez les mammifères, trois grands mécanismes peuvent être observés lors d'anémie :

- la perte de sang : l'hémorragie
- la destruction des hématies : l'hémolyse
- une érythropoïèse insuffisante

### (1) Les hémorragies

Lors de saignements aigus, l'anémie est généralement régénérative. En revanche, lors d'hémorragies chroniques, l'anémie est régénérative en début d'évolution avant de devenir hypo- ou arégénérative, à cause d'une carence progressive en fer.

De même, lors de saignements très importants, l'organisme perd sa première ressource de fer, à savoir les hématies, engendrant ainsi une anémie ferriprive.

Comme décrit précédemment, les hémorragies sont souvent à l'origine d'anémies microcytaires par la circulation des érythrocytes immatures.

Chez les requins, les hémorragies sont souvent la conséquence de traumatismes (dominance, reproduction, lésions lors de dévagination intestinale...), lors de lésions cutanées ulcérées, lors de parasitoses par des parasites hématophages, lors de septicémies, ou lors de carences nutritionnelles.

Des anémies hémorragiques peuvent également être observées lors de carences en vitamines K, B, en inositol, et en choline à l'origine de troubles de la coagulation (Campbell 2015). Les carences en vitamine K, sont responsables d'une augmentation du temps de coagulation et donc d'un allongement des saignements chroniques.

## (2) L'hyperhémolyse

L'anémie par hyperhémolyse est également caractérisée par une microcytose. Elle est souvent régénérative, dans un premier temps, puisque le fer peut être recapté par l'organisme et réintégré à l'hémoglobine.

L'observation d'érythrophagocytose est également un élément en faveur d'une anémie par hémolyse.

Ce type d'anémie est majoritairement observé lors de phénomènes infectieux. C'est notamment le cas lors de contact des hématies avec des toxines bactériennes, notamment les hémolysines des bactéries Gram négatives telles que *Pseudomonas spp.*, *Aeromonas spp.*, et *Vibrio anguillarum*. Certaines viroses et certains hémoparasites peuvent également être des causes d'anémies hémolytiques.

Le contact avec des polluants environnementaux est également un élément à prendre en considération lors d'observation d'hémolyse. Les intoxications au nitrite, aboutissant à l'oxydation de l'hémoglobine en méthémoglobine (incapable de transporter l'oxygène), sont capables d'induire une anémie hémolytique. Cette anémie s'accompagne, en outre, d'une cyanose marquée (Clauss *et al.* 2008).

Ces hémolyses peuvent également être constatées en cas de carences alimentaires, notamment en acide folique, en vitamine E, ou lors d'alimentation avec des acides gras rances. Dans ces différents contextes ont été observés des segmentations et fragmentations des érythrocytes. De même, chez la truite arc-en-ciel, il a été montré que des levures de l'alimentation pouvaient provoquer des lésions oxydatives des membranes érythrocytaires.

Chez les mammifères, d'autres causes peuvent également être suspectées lors d'hyperhémolyse, à savoir : les anémies hémolytiques à médiation immune, contre certains traitements ou agents infectieux, les anomalies membranaires à savoir, les angiopathies (lors de Coagulation Intra Vasculaire Disséminée, lors de vascularite avec apparition d'hématies de type schizocytes, acanthocytes), les déficits enzymatiques (origine congénitale). Ces troubles non évoqués dans la littérature chez les requins restent cependant à garder en mémoire.

## (3) Les défauts de production et anémies non régénératives

Les anémies non régénératives sont présentes lorsque les organes hématopoïétiques répondent insuffisamment à l'anémie, et ne produisent pas de réticulocyte.

Peuvent être en cause : un défaut de la production d'hématies (mauvaise stimulation, inhibition, altération de la différenciation), un défaut de la synthèse d'hémoglobine, ou de production d'hème. Chez les mammifères, l'observation du VGM permet alors d'affiner la ou les étiologies de cette anémie.

En cas de VGM normal (anémie normocytaire) trois causes majeures peuvent être suggérées.

La première cause, l'inflammation, provoque la libération de nombreuses cytokines (type Il1, TNF alpha) stimulant la production d'hepcidine par le foie. Cette protéine est à l'origine d'une séquestration du fer (élément important dans la prolifération bactérienne) dans les cellules du foie, afin qu'il soit indisponible pour les bactéries.

La deuxième cause est l'insuffisance rénale, pouvant en effet induire une insuffisance de production d'EPO, facteur de croissance hématopoïétique. Cette cause n'est pas documentée chez les élasmobranches, bien que l'utilisation d'EPO (Haller *et al.* 2005) soit tout à fait possible chez ces espèces avec de bons résultats associés.

La troisième étiologie à évoquer est une possible atteinte des tissus hématopoïétiques, d'origine infectieuse, toxique, ou néoplasique. À ce jour, le manque de connaissance sur les pathologies des

organes hématopoïétiques (rate, organes épigonaux et de Leydig), de marqueurs biochimiques spécifiques de ces mêmes organes, est un frein considérable à l'investigation des causes d'anémie.

Chez les requins, les grandes causes d'anémie non régénératives évoquées dans la littérature sont, les carences nutritionnelles, certains toxiques comme l'ammoniac et les métaux lourds (plombs, cuivre, cadmium), et la destruction des tissus hématopoïétiques.

### c) Focus sur certaines causes d'anémie impliquant plusieurs mécanismes

Il est, en général, impossible d'attribuer une seule cause à l'anémie observée. De multiples causes peuvent être soupçonnées et malheureusement, l'étiologie reste bien souvent inconnue. Caractériser une anémie chez les requins et les poissons de manière plus générale n'est pas une chose évidente puisque les « index érythrocytaires » classiquement utilisés chez les espèces terrestres sont bien souvent ininterprétables pour des raisons de manque de précision des appareils. Utiliser ces indices est très discuté, d'autant qu'il n'existe pas ou du moins, très peu de valeurs de référence chez les différentes espèces de requins. Les interprétations des différents résultats obtenus sont donc souvent à interpréter avec le recul nécessaire.

Les causes d'anémie sont variées, et de multiples étiologies peuvent être mises en cause de manière concomitante. L'objectif ici n'est pas de réaliser une liste exhaustive des causes d'anémies des requins, mais d'identifier les grandes étiologies documentées dans la littérature. Seront donc détaillées ici, certaines grandes causes d'anémie impliquant plusieurs mécanismes physiopathologiques.

#### (1) Le stress

L'hémogramme et les différentes valeurs biochimiques peuvent, en effet, être modifiés lors d'affections non infectieuses. Certaines publications appuient le fait que la captivité semblerait avoir un impact sur ces paramètres (Stoskopf 1993). Cela peut conduire, dans certains cas, à une anémie non régénérative, avec une baisse de la numération globulaire, de l'hémoglobine, et de l'hématocrite. Une leucocytose sévère est souvent conjointement observée. Dans ce cadre, faire *le distingo* entre un stress idiopathique et une maladie bactérienne n'est donc pas évident. Lors de leucocytose de stress, une hétérophilie associée à une éosinopénie est communément observée.

Certains papiers (Campbell 2015) rapportent également une anémie normochrome microcytaire lors de stress environnementaux liés à une surdensité. Le mécanisme physiopathologique engagé dans cette réponse érythrocytaire au stress, n'est cependant pas détaillé.

#### (2) Les intoxications : focus sur les métaux lourds

Comme évoqué précédemment, l'intoxication aux métaux lourds peut aussi être à l'origine de modifications hématologiques. Elle est notamment à l'origine d'anémies non régénératives. L'intoxication au cuivre est une affection à ne pas négliger du fait de la grande sensibilité des élasmobranches à cet élément et à sa récurrence en aquarium (les élasmobranches y sont en effet plus sensibles que la plupart des téléostéens). Ces intoxications peuvent être à l'origine d'anémies normocytaires normochromes (avec baisse de la numération globulaire, baisse de l'hématocrite, et stabilité des valeurs d'hémoglobine), lors d'exposition au cuivre à des concentrations sublétales de 2 ppm pendant 48 heures chez des Aiguillats communs (*Squalus acanthias*). À ces doses, une leucopénie et une chute du glucose sanguin étaient observées. Des concentrations plus élevées de l'ordre de 4, 6, 8 et 16 ppm étaient à l'origine de la mort des animaux avec un profil hématologique identique à celui évoqué précédemment, mais avec, en plus, une baisse du taux d'hémoglobine (Stoskopf 1993 ; Weiss, Wardrop 2010).

L'exposition au zinc chez la même espèce que citée précédemment a également montré l'apparition d'anémies microcytaires hypochromes avec une diminution de l'hémoglobine, un hématoците normal, une leucocytose, et une chute du glucose sanguin.

### (3) Les causes infectieuses

Chez les poissons, les bactéries à Gram négatif telles que les *Pseudomonas spp.*, *Aeromonas spp.* ou les Yersinioses sont fréquemment à l'origine d'anémies hémorragiques et de septicémies. Chez les poissons marins, cette dernière est responsable de septicémie caractérisée par une anémie, une leucocytose, et une réticulocytose. De nombreuses autres bactérioses peuvent être à l'origine d'anémies hémorragiques et hémolytiques sévères chez les poissons. C'est le cas notamment de certaines Vibrioses chez le Saumon d'Atlantique, ou encore d'infections à *Flavobacterium columnare* chez l'Omble de Fontaine capable de provoquer une anémie hypochrome macrocytaire. Aucune étude ne semble impliquer ces agents chez les requins.

Certaines viroses, développées précédemment, telles que les iridovirus, responsables de la nécrose érythrocytaire, sont à l'origine d'une hyperhémolyse. Cette affection est caractérisée par la phagocytose massive d'hématies, par les macrophages, présentant alors dans leurs cytoplasmes des corps d'inclusion basophiles.

De multiples parasites intraérythrocytaires, ou plasmocytaires, c'est le cas notamment des trypanosomes et des hémogrégarines intraérythrocytaires, peuvent être à l'origine d'anémies hémolytiques. Ces derniers provoquent, en général, des inclusions cytoplasmiques dans les érythrocytes. Les métazoaires sont également, chez les poissons, de grandes causes d'anémies (notamment par perturbation de l'hématopoïèse) (Claus et al. 2008).

Les parasites tels que les sangsues, les lamproies, les isopodes peuvent également être responsables de spoliation de sang.

### (4) Les causes nutritionnelles

Les carences en acides foliques sont répertoriées comme une cause d'anémie macrocytaire normochrome. Chez certains poissons comme les poissons-chats ou la barbotte de rivière, il a été démontré que des carences en acide folique pouvaient être à l'origine d'anémies hémolytiques chroniques (Campbell 2015). Il a également été rapporté par SeaWorld Ohio, chez des requins *Heterodontus francisci*, souffrant d'anémie, que l'apport d'acide folique avait permis la normalisation de l'hémogramme (Smith et al. 2004).

L'observation d'anomalies nucléaires peut signaler certaines carences nutritionnelles en acide folique, en vitamine E, ou un excès d'huiles rances dans l'alimentation. Diverses études rapportent notamment des cas d'anémie microcytaire par ingestion de gras rances présents dans l'alimentation (Campbell 2015).

Les carences en vitamines C et B12 ont été nommées comme des causes d'anémies hypochromes.

Concernant les carences en minéraux, peu de données sont aujourd'hui disponibles dans la littérature. Néanmoins, des cas de carence en fer, en cuivre, en cobalt, ou en sélénium ont pu mettre en évidence des anémies hypochromes (Smith et al. 2004 ; Claus et al. 2008).

*Peu de données sont aujourd'hui disponibles quant aux différentes pathologies rencontrées chez les requins. Ces données disponibles proviennent principalement des aquariums, qui occupent une place importante dans l'avancée de ces connaissances. Les pathologies et les causes de mortalité de ces individus en milieu naturel sont très rarement étudiées.*

*Malgré l'importance des maladies bactériennes chez ces espèces, le ou les agents responsables restent souvent non identifiés. Malgré la connaissance d'une flore microbienne complexe (dans le sang et d'autres organes), il reste encore aujourd'hui de nombreuses inconnues.*

*Les maladies parasitaires sont également une dominante pathologique chez ces espèces. Bien que les principaux parasites pathogènes soient aujourd'hui identifiés, certaines affections sont aujourd'hui émergentes et problématiques.*

*En aquarium, les pathologies nutritionnelles sont rares, voire accidentelles. De même, la littérature (Garner 2013, Smith et al. 2017) souligne la rareté des affections dégénératives, des intoxications, des pathologies liées à la reproduction, des néoplasies. Les pathologies traumatiques sont fréquemment rencontrées en captivité.*

### III. Gestions d'un animal malade et les traitements disponibles

#### A. Première conduite face à un animal malade

##### 1. Examen clinique de l'animal

###### a) L'examen à distance

À distance, plusieurs informations relatives à l'état de santé de l'animal sont disponibles et importantes à suivre dans le temps. Comme chez les animaux domestiques, le recueil de l'anamnèse et des commémoratifs est relativement important.

L'analyse de la note d'état corporelle peut être appréciée par différents moyens, il s'agit d'un élément clé dans l'évaluation de la santé générale de ces animaux. Visuellement, les muscles épaxiaux et les muscles de la ceinture pelvienne doivent être ronds et fermes. Une grille d'évaluation de la note d'état corporelle a été proposée pour la raie Léopard, *Eetobatus narinari* (Smith et al. 2017).

L'évaluation de l'appétit de l'animal est un critère important allant de pair avec ces observations. Plus d'informations sont disponibles dans le chapitre s'intéressant au gavage et la gestion de l'anorexie.

Comme chez les mammifères, la fréquence respiratoire peut être appréciée, les aquariums présentent en général leur propre base de données.

L'observation de la nage et des habitudes de nage est cruciale, de même que l'observation de comportements inhabituels sont des renseignements pertinents à prendre en considération pour le diagnostic.

Lors de l'examen à distance, des plaies ou autres éléments peuvent également être notés à distance. La prise de photos de ces animaux dans les bassins peut permettre une première approche sans avoir besoin d'immobiliser l'animal.

Toujours à distance, il convient de s'intéresser aux relations du requin avec son milieu : son interaction avec son environnement, avec ces congénères et autres espèces.

### b) L'examen rapproché

L'examen rapproché nécessite la manipulation de l'animal, il s'agit donc d'une potentielle source de stress.

Ceci permet l'examen rapproché de l'ensemble de l'animal, des lésions cutanées ou ophtalmiques. Il permet l'évaluation de la cavité buccale, des branchies, du cloaque avec la recherche de potentiels gonflements, de lésions, d'écoulements qui peuvent être observés au même moment. Toute manipulation de l'animal doit permettre d'optimiser au mieux l'ensemble des examens complémentaires à réaliser.

Concernant l'auscultation cardiaque, elle a peu d'intérêt chez ces espèces. La réalisation d'un électrocardiogramme, d'un doppler, ou encore d'une échocardiographie est en revanche relativement intéressante.

À la vue des objectifs actuels de gestion préventive de la santé des élasmobranches, de plus en plus d'examen complémentaires et de suivi de ces espèces sont effectués en aquarium. L'objectif ici n'est pas de faire une liste exhaustive de toutes les possibilités de diagnostic, mais de réaliser un état des lieux des pratiques actuelles dans le monde.

## 2. Isolement de l'animal

Une fois encore, aucun consensus n'a été formulé sur la stricte nécessité d'isolement d'un requin malade. Les différents arguments pour et contre doivent être posés systématiquement. L'état clinique de l'animal, sa relation avec les autres individus du bassin, le stress et sa capacité à y faire face, la contagiosité de la maladie suspectée, sont les principaux critères à prendre en compte. Aucun consensus n'est également établi aujourd'hui sur la durée optimale de cet isolement. Noter également que certains aquariums ne possèdent pas la capacité d'isoler un animal malade et que souvent, une ou plusieurs « zones d'isolement » sont aménagées dans le bassin pour pouvoir isoler l'animal (enclos dans le bassin en dur ou en filet...). La nécessité d'apporter des congénères dans le bassin d'isolement est également à discuter en fonction de la contagiosité de l'animal, du stress de son isolement...

## 3. Prise en charge de l'anorexie, cas particulier du gavage

Chez certaines espèces, en milieu naturel, des périodes de jeûnes sont rapportées. Connaître ces normes est relativement important lors de la prise en charge des cas et doit être fonction de l'espèce, du stade de vie, de l'état clinique de l'animal. Dans la littérature, une période de jeûnes jusqu'à trois mois a été rapportée chez le requin-tigre de sable (*Carcharias taurus*), et de cinq mois pour le requin-tigre (*Galeocerdo cuvier*). Lors d'anorexie, la priorité est de connaître l'origine de cette inappétence à savoir, physiologique, liée à un stress, à une maladie... l'objectif étant de cibler quand intervenir (Smith *et al.* 2004).

L'intérêt majeur du gavage est la reconstitution des réserves lipidiques hépatiques, et non la stimulation de la prise alimentaire. Divers indicateurs peuvent ainsi être utilisés pour évaluer si l'animal a besoin ou non, d'un gavage, à savoir : son état d'amaigrissement, le dosage des protéines totales et de l'urée sanguine (baisse en cas d'anorexie), et l'échographie permettant l'appréciation des réserves hépatiques. Ce dernier point est apprécié par échographie hépatique et notamment par

la mesure de la distance entre la marge caudale du foie et la marge crâniale du pelvis, associée à la mesure de la longueur du cœlome pour calculer un ratio foie/cœlome (Smith *et al.* 2017). Certains auteurs utilisent également l'échographie afin de déterminer le ratio d'échogénicité foie/rate (Greene *et al.* 2022).

Aucun consensus n'est aujourd'hui défini du moment opportun pour réaliser un gavage, les opinions diffèrent grandement sur ce point. Les paramètres présentés ci-dessus peuvent être utilisés dans cette optique. Il convient néanmoins d'agir le plus rapidement possible lors de perte d'état nutritionnel du foie. Smith *et al.* conseillent la mise en place d'une alimentation par sonde à partir d'une diminution du poids corporel de 5 %, certains aquariums la mettent en place en moyenne après 4 à 6 semaines d'anorexie grand maximum (Smith *et al.* 2004).

Cette manipulation peut être effectuée avec ou sans anesthésie en fonction de l'animal et de la formation du personnel. Une sédation s'avère cependant intéressante pour la réalisation d'autres examens complémentaires pendant la même intervention et pour mieux guider la prise d'alimentation [*Communication Personnelle — Dr N. D. Mylniczenko DVM-DACZM*].

Un animal malade nécessite en général en apport calorique plus important surtout lorsqu'une anorexie est observée. Il faut donc compenser ce déficit par une nourriture plus calorique (Smith *et al.* 2017).

Dans certaines structures, une complémentation vitaminique est souvent apportée en parallèle. Les besoins réels de l'animal sont en revanche mal connus et l'efficacité d'une telle supplémentation n'est pas démontrée. Certains rapportent également l'apport supplémentaire d'huiles de poisson, et même d'ail frais permettant de déclencher la prise alimentaire (Smith *et al.* 2004).

Différentes préparations sont disponibles sur le marché et peuvent être une alternative intéressante : Mazuri® Shark/Ray Gel, EmerAid® IC Piscivore diet, ou encore d'autres aliments fournis aux carnivores domestiques. Le gavage avec la ration habituelle est également possible à raison de 2 à 4 % de la masse corporelle de l'animal par repas. Les requins de fonds et d'eau froide peuvent être gavés une fois toutes les semaines (ou deux semaines). Il est couramment admis que la reprise spontanée de l'alimentation par l'animal peut prendre plusieurs mois (Smith *et al.* 2017).

L'apport de stimulants immunitaires et de pré- et probiotiques lors d'atteinte de l'état général est également controversé. À la vue de la complexité de la flore du requin et de ses différentes fonctionnalités, la dysbiose est un concept complexe chez ces espèces. Malgré le fait que des pré- et probiotiques soient couramment utilisés en aquaculture, il n'existe pas de littérature sur ce point. Certains spécialistes sont d'avis de ne pas fournir aux requins les mêmes aliments pré- et probiotiques que chez les téléostéens à la vue de la méconnaissance du microbiome ultracomplexe du requin. Aucun article ne fait part également de transfaunation, procédé bien décrit chez les mammifères, qui apparaît complexe à imiter chez les élasmobranches.

#### 4. Gestion des plaies

Comme décrit dans le paragraphe suivant, l'utilisation de nombreux désinfectants dont l'alcool ou encore la polyvidone iodée sur une plaie n'est pas recommandée. La Bétadine ND peut en revanche être utilisée dans des cas très spécifiques où des mycobactéries ou des champignons, ont été identifiés. Il ne faut pas oublier que l'aseptisation dans de tels milieux ne sera que temporaire. [*Communication personnelle — Dr N. D. Mylniczenko DVM-DACZM*].

Des « pansements » cutanés à base de gels ou de poudre peuvent également être utilisés (Smith *et al.* 2017). Noter que la capacité de régénération cutanée, selon les individus, est très inégale lors de coupures ou morsures.

## B. Les outils diagnostics et interprétations

### 1. La prise de sang

#### a) Réalisation des prises de sang

L'utilisation de l'alcool afin de désinfecter le site de la prise de sang (ou de l'injection lors d'administration de médicament) est très fortement contre-indiquée étant donné les risques de dermatites induites par l'alcool (Smith *et al* 2004). Des cas de dermatites modérées ont été rapportés lors de l'usage de la Bétadine solution ND [Communication personnelle - Dr Dieter Göbel et Dr Heidi Rößler – Dr N. D. Mylniczenko DVM-DACZM]. L'utilisation de la chlorhexidine est par ailleurs non évoquée dans la littérature. De manière générale, il est tout à fait possible de réaliser les prélèvements sanguins sans désinfection préalable afin de ne pas endommager le mucus et l'épithélium cutané. Une solution saline à 0,9 % peut également être utilisée avant chaque prélèvement [Communication personnelle – Dr N. D. Mylniczenko DVM-DACZM].

La prise de sang peut être faite à différents endroits (Smith *et al.* 2004 ; Mylniczenko *et al.* 2006 ; Campbell 2015 ; Smith *et al.* 2017) :

– en décubitus ventral dans le sinus dorsal : l'aiguille est alors insérée parallèlement au dos en arrière de l'aileron dorsal, à sa base et légèrement décalée de la ligne médiane. Ce site est couramment utilisé pour sa facilité d'accès.

– en décubitus dorsal dans la veine ou l'artère caudale : en effet, la proximité de l'artère et de la veine caudale rend difficile l'appréciation du site de ponction. Dans ce contexte, la mesure de la pO<sub>2</sub> n'est pas très précise, mais peut, à force d'échantillonnage, apporter une information intéressante. La veine caudale se situe ventralement à l'artère caudale. Pour la réalisation de la ponction, l'aiguille doit être insérée au niveau de la queue, perpendiculairement à la ligne médiane jusqu'à ce que l'aiguille « butte » sur la colonne vertébrale, il faut ensuite traverser l'arc hémal (Figure 2). Cette méthode n'est, en revanche, pas toujours aisée chez les grands requins.

– dans les veines ou artères radiales de l'aileron pectoral,

– dans la veine cutanée dorsale.

L'utilisation d'un anticoagulant peut être nécessaire pour réaliser des analyses hématologiques afin d'éviter une hémolyse. Dans ce cadre, un mélange d'héparine et d'EDTA peut être utilisé.

En fonction de l'animal, une sédation ou une anesthésie générale peut être pratiquée afin de réduire le stress de la manipulation.

#### b) Interprétation des index érythrocytaires

##### (1) L'hématocrite

L'hématocrite (valeur calculée) ou le PCV (Packed Cell Volume — valeur mesurée) de la plupart des téléostéens est compris entre 20 et 45 %. Chez les élasmobranches en revanche, cet hématocrite est plus bas. Le diagnostic des anémies chez les requins est donc souvent plus délicat étant donné l'absence de valeurs de références. Il est néanmoins couramment admis, que la plupart des espèces de requins ont un PCV souvent inférieur ou égal à 20 % (Clauss *et al.* 2008). À titre indicatif, l'hématocrite du requin bleu (*Prionace glauca*) est de 22,3 %, celui du requin-citron (*Negaprion brevirostris*) de 20,0 %, celui du requin-nourrice (*Ginglymostoma cirratum*) de 11,0 %, du requin mako (*Isurus oxyrinchus*) entre 20 et 31 %, de la grande famille des roussettes de 18 % (Stoskopf 1993 ; Schadwick *et al.* 2016).

La grande variabilité de ces valeurs d'hématocrite est néanmoins une difficulté majeure dans le diagnostic de l'anémie. En effet, ces valeurs sont susceptibles d'être modifiées au regard de plusieurs

facteurs. Ces derniers doivent ainsi être pris en compte lors de suspicion d'anémie, ce qui n'est pas toujours une chose évidente. Les facteurs de variation de l'hématocrite sont :

– le lieu de ponction : Mylniczenko *et al.* en 2006, ont montré chez 47 requins d'espèces différentes et issus de milieux différents, que l'hématocrite calculé sur le sang ponctionné au sinus crânien de la nageoire dorsale était significativement plus bas, que l'hématocrite calculé sur sang issu de l'artère caudale de la queue pour la plupart des espèces.

– l'activité de l'animal : les requins plus actifs avec un métabolisme aérobie présentent un hématocrite plus élevé que les requins sédentaires avec un métabolisme anaérobie.

– le stress : ses effets sur l'hématocrite ne sont pas décrits en détail dans la littérature. En revanche, chez le requin mako, l'hématocrite est capable de doubler suite à une capture, associée à un exercice intense. Ce phénomène n'est cependant pas décrit chez certaines espèces, comme chez les requins pointe-noire (*Carcharhinus melanopterus*) où l'hématocrite n'est pas augmenté suite à un exercice intense (Carrier *et al.* 2010). Le phénomène de contraction splénique (comme chez les téléostéens) est, pour le moment, controversé chez les requins. Aussi, l'hypoxie ne semblerait pas provoquer de modification de l'hématocrite (Schadwick *et al.* 2016).

– l'environnement et notamment de la saison : les facteurs qui semblent influencer l'hématocrite sont la variation de la température, des concentrations d'oxygène, la densité de population, la photopériode, la reproduction.

Ces différents facteurs doivent ainsi être pris en compte lors de suspicion d'anémie, ce qui n'est pas toujours une chose évidente.

Les valeurs d'hématocrite varient également en fonction : de l'âge de l'individu, de son sexe, de son alimentation.

Il est admis que les poissons ayant un hématocrite supérieur à 45 % sont considérés comme déshydratés, d'autant plus si les paramètres tels que le sodium, le chlorure, et les protéines totales sont augmentés.

## (2) Les érythrocytes immatures

Comme vu précédemment, les dernières étapes de la maturation érythrocytaire ont lieu, en partie, dans la circulation périphérique. Il est admis que les individus avec une anémie régénérative présentent une forte concentration d'érythrocytes immatures ou polychromatophiles. L'inverse n'est, en revanche, pas vrai puisqu'une augmentation des érythrocytes immatures du sang ne signifie pas une réponse régénératrice chez les poissons (Campbell 2015). Par ailleurs, il est admis que les individus atteints d'anémie non régénérative présentent peu ou pas d'érythrocytes immatures ou polychromatophiles.

## (3) Le Volume Globulaire Moyen (VGM), la Teneur Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine (TCMH), et la Concentration Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine (CCMH)

Le VGM est difficilement interprétable chez les élasmobranches, en effet, divers facteurs environnementaux peuvent l'influencer. Il a été démontré, par exemple, chez certaines espèces, notamment chez les requins-taureaux, qu'une diminution aiguë de la salinité du milieu de l'ordre de 50 % augmente le VGM (Weiss, Wardrop 2010). Une augmentation réactionnelle de la concentration en urée sérique était également observée.

La TCMH ou la CCMH sont également à interpréter avec précaution. Chez les téléostéens, une carence en fer, en cuivre, en vitamine C ou B12 peut être à l'origine d'anémie microcytaire hypochrome.

#### (4) La taille des hématies

Les anémies microcytaires sont classiquement rencontrées lors de phénomènes hémorragiques ou lors d'hémolyse. Ceci s'explique par la circulation abondante de cellules immatures, dans la circulation périphérique. Une polychromasie est, en général, conjointement observée.

Chez les mammifères, les anémies non régénératives microcytaires, apparaissent lorsque les hématies non saturées en hémoglobine continuent de se diviser. La cause majeure est un saignement chronique aboutissant à une carence en fer provoquant une baisse de la quantité d'hémoglobine disponible. Si les pertes sanguines persistent, ces hématies deviennent hypochromes. Toujours chez les mammifères, il existe d'autres causes de microcytose comme l'inflammation chronique, la dysérythropoïèse, et certains toxiques comme le plomb bloquant la synthèse de l'hème.

Ces différents cas ne sont pas rapportés dans la littérature chez les élasmobranches, mais sembleraient tout à fait plausibles.

Certains articles évoquent chez les poissons d'élevage, les risques d'anémie macrocytaire causée par la cyperméthrine, un insecticide appartenant à la famille chimique des pyréthrinoïdes de synthèse (Claus *et al.* 2008).

Chez les mammifères, les cas d'anémies non régénératives macrocytaires doivent en priorité faire penser à des artéfacts. Elles sont néanmoins présentes lors de carence en vitamine B12 (fait non rapporté dans la littérature chez les requins), de dysérythropoïèse, ou d'origine congénitale...

Outre les normocytoses vraies, des normocytoses apparentes, c'est-à-dire la présence conjointe de microcytes et de macrocytes dans la circulation sanguine, peuvent être observées chez les mammifères en phase de restauration. Ce phénomène n'est pas développé dans la littérature chez les requins.

#### c) Interprétation du leucogramme chez les requins

Vis-à-vis des phénomènes infectieux, les élasmobranches répondent globalement de la même manière que les mammifères. Lors d'infections bactériennes, est observée une leucocytose marquée et plus spécifiquement une hétérophilie. Il n'existe néanmoins pas de réelles études sur les modifications hématologiques lors d'affections virales ou parasitaires (Weiss, Wardrop 2010).

Lors d'une augmentation des granulocytes, il faut suspecter en priorité un processus inflammatoire puisque le rapport granulocytes/lymphocytes est en général inférieur à 0,5. De même, une leucopénie avec granulocytose (neutrophilies notamment) et une lymphopénie doit faire penser en priorité à une septicémie (Campbell 2015).

Une éosinophilie doit, par extrapolation, comme chez les mammifères, évoquer une parasitose bien qu'aucune donnée bibliographique ne soit disponible à ce sujet. Les infestations sévères par des trématodes peuvent être à l'origine de leucocytose sans qu'aucune relation de cause à effet n'ait été mise en évidence. Cette leucocytose détectée pouvant être la conséquence d'infections bactériennes secondaires ou encore l'effet du stress (Campbell 2015).

Aucun phénomène pathologique n'a été associé à une basophilie.

Comme chez les mammifères, les monocytes participent aux réponses inflammatoires aiguës et ont un rôle important dans la phagocytose. Une monocytose doit donc évoquer un processus inflammatoire ou infectieux (Campbell 2015).

Une neutrophilie est à associer à un processus inflammatoire, en revanche, il convient de se souvenir qu'ils n'ont pas d'activité phagocytaire.

Le stress est également un facteur non négligeable de modification du leucogramme, les données bibliographiques sont en revanche très divergentes sur ce point. Tandis que certains rapportent une

leucopénie marquée d'une lymphopénie (état immunosuppresseur), d'autres rapportent une leucocytose sévère (hétérophilie associée à une éosinopénie) voire dans certains cas, une anémie. Dans un contexte de leucocytose, faire le *distinguo* entre un stress idiopathique et une infection bactérienne n'est donc pas évident (Campbell 2015).

La salinité de l'environnement doit toujours être prise en compte lors d'analyses sanguines chez les élasmobranches. Même si les grands rôles des granulocytes chez les poissons ne sont pas clairement établis, le suivi du leucogramme dans le temps permet de suivre l'évolution du processus pathologique, la réponse au traitement, et donne une idée du pronostic.

Une lymphocytose peut être associée à un phénomène infectieux ou un processus néoplasique, notamment les leucémies lymphoïdes.

## 2. La biochimie

Très peu d'informations sont disponibles quant à l'interprétation des différents paramètres biochimiques chez les requins. Aussi, les interprétations des différents analytes utilisés chez les mammifères ne sont pas transposables chez les élasmobranches. Le tableau 5 récapitule l'ensemble des données présentées (Tableau 5).

### a) Les paramètres de la fonction hépatique et digestive

Concernant le dosage des paramètres biochimiques ASAT et ALAT chez les requins, peu de ressources bibliographiques sont aujourd'hui disponibles.

Chez les téléostéens en revanche, l'augmentation de ces deux paramètres semble cohérente avec une maladie hépatocellulaire. Chez ces mêmes espèces, l'augmentation d'activité des ASAT et des CK, est aussi compatible avec une blessure musculaire ou une activité musculaire trop importante. Cette dernière affirmation semble également vérifiée chez les requins (Otway 2019).

Chez les élasmobranches, divers articles soulignent l'utilisation des PAL, des ALAT, et des taux de bilirubine circulante pour l'évaluation du bon fonctionnement hépatique (Thrall *et al.* 2012 ; Otway 2019). Certains spécialistes des élasmobranches évoquent néanmoins la faible utilité de l'interprétation des valeurs d'ALAT et PAL chez les requins, et l'utilité des paramètres ASAT et GLDH (glutamate déshydrogénase) dans l'investigation des maladies hépatiques [*Communication personnelle — Dr Michael Hyatt, DVM, Dipl. ACZM*].

Les PAL sont synthétisées dans l'épithélium des canaux biliaires, et permettent la déphosphorylation des composés protéiques, nucléiques, et alcaloïdes. Une augmentation de ce paramètre serait donc en faveur, comme chez les mammifères, d'obstruction des voies biliaires, de cholestase intrahépatique ou de maladie hépatique infiltrante.

Les dosages de bilirubine s'avèreraient également intéressants dans l'évaluation des obstructions des voies biliaires, l'altération des hépatocytes, et la baisse de conjugaison ou de sécrétion de bilirubine.

L'analyse des GGT (gamma-glutamyltranspeptidase) s'avèrerait quant à elle intéressante dans le diagnostic des pancréatites chroniques [*Communication personnelle — Dr Michael Hyatt, DVM, Dipl. ACZM*].

Le dosage de l'amylase et de la lipase ne s'avèrerait pas utile.

### b) Les paramètres de la fonction urinaire

Comme vu dans le chapitre sur l'anatomie et la physiologie rénale des requins, ces derniers sont peu impliqués dans l'excrétion des déchets azotés, mais plutôt dans l'excrétion de divers ions et dans le phénomène d'osmorégulation. Aussi, chez ces espèces, de forts taux plasmatiques d'urée sont conservés pour un maintien de l'osmolarité (hyperosmolarité par rapport à l'environnement), par

réabsorption rénale. L'interprétation des valeurs plasmatiques d'urée, de créatinine, et d'acide urique est ainsi délicate chez ces espèces (Thrall *et al.* 2012 ; Otway 2019).

Il est cependant admis qu'une concentration élevée en urée est le reflet d'une maladie branchiale et non rénale. Chez les élasmobranches, une maladie hépatique, un amaigrissement ou une réduction de la prise alimentaire (baisse de la biosynthèse de l'urée) peuvent entraîner une diminution des concentrations plasmatiques d'urée. Une telle diminution peut également être la conséquence d'une atteinte rénale par baisse de réabsorption (Thrall *et al.* 2012).

Concernant la créatinine, il s'agit d'un déchet métabolique de la créatine produite par les muscles : elle serait donc le reflet d'une atteinte musculaire. Noter que le dosage de la créatinine ne serait pas utile dans l'évaluation de la fonction rénale, mais cette information reste très controversée. En effet, une augmentation de la créatinine a été rapportée chez des requins mako (*Isurus oxyrinchus*) ayant présentés une insuffisance rénale aiguë secondaire à une myopathie de capture (Otway 2019).

Il n'existerait à ce jour aucun analyte pertinent permettant l'exploration de la fonction rénale chez les requins.

### c) Les paramètres branchiaux

Comme décrit précédemment l'urée est un marqueur principal des anomalies des branchies.

Les lactates et l'urée, sont les marqueurs validés, reflétant une bioaccumulation des métaux dans les branchies (Wosnick *et al.* 2021).

### d) Les paramètres indicateurs du métabolisme

#### (1) La glycémie

La glycémie est en partie régulée par les corticoïdes, la 1 $\alpha$ -hydroxycorticostérone chez les élasmobranches. Cette sécrétion de corticoïde est par ailleurs stimulée face au stress, tel qu'une capture, une manipulation, le transport, le changement d'environnement engendrant une hyperglycémie rapide (Thrall *et al.* 2012).

#### (2) Les paramètres permettant l'analyse du statut nutritionnel

Comme chez les autres espèces, les taux de triglycérides sont intéressants à mesurer afin d'apprécier l'état nutritionnel de l'animal. En cas de dysfonctionnement hépatique, le taux de triglycérides peut être augmenté. De la même manière, le cholestérol est également un élément crucial à mesurer de par son rôle métabolique et son utilisation dans la synthèse des hormones stéroïdes. C'est également un indicateur du statut nutritionnel de l'animal. Une hypocholestérolémie peut être le reflet d'une baisse de l'état nutritionnel de l'animal, consécutif à une période de jeûne, ou tout simplement due à un état physiologique particulier de l'animal (reproduction, saison...) (Otway 2019).

### e) L'électrophorèse des protéines sériques

À la vue de la difficulté d'interprétation des paramètres biochimiques, l'électrophorèse des protéines sériques et l'évaluation des protéines de la phase aiguë de l'inflammation pourraient être réalisées en routine dans l'objectif de caractériser au mieux une inflammation. Peu de travaux ont été réalisés chez les élasmobranches pour pouvoir les utiliser, mais certains articles récents montrent leur intérêt prometteur. Une étude récente a permis la mise en place d'intervalle de référence, d'électrophorèse, de la protéine C réactive, et de l'haptoglobine chez les requins-marteaux *Sphyrna tiburo* (Hyatt *et al.* 2016). Elle a permis de montrer des fractions électrophorétiques différentes de celles observées chez les mammifères, sans albumine, et avec des fractions dont la nature reste à déterminer. Ainsi, la première fraction correspondrait à des lipoprotéines de fortes densités, la deuxième fraction était faiblement distincte, la troisième fraction correspondrait à des protéines non identifiées, mais possiblement comme chez les oiseaux, reptiles ou autres mammifères à des alpha-2 macroglobulines, des haptoglobines, ou encore des céruloplasmines. La fraction quatre était similaire à une migration

de bêta-globulines, enfin la dernière fraction serait assimilable à la migration de gamma-globulines notamment des IgM. Ce même article a également permis une comparaison avec des profils électrophorétiques d'animaux malades, mettant en évidence de profondes modifications. Lors d'un contexte d'inflammation ou d'infection, la troisième fraction notamment, était systématiquement significativement réduite, et la cinquième fraction significativement augmentée (suggérant l'activation des IgM). Contrairement aux oiseaux, reptiles et mammifères, la quatrième fraction n'était pas significativement augmentée.

Une base de référence propre à chaque espèce serait nécessaire afin de cibler notamment, certaines spécificités.

Lors de mesure des protéines totales, la valeur obtenue est souvent inexacte et surestimée. Elles ont tendance à diminuer en période d'anorexie (Smith *et al.* 2017).

**Tableau 5 : Tableau récapitulatif de l'interprétation des différentes valeurs biochimiques chez les élastombranches.**

Dosages	Diminution de la concentration plasmatique	Augmentation de la concentration plasmatique	Références
Na <sup>+</sup>	>Elasmobranches : déséquilibres acido-basiques	>Elasmobranches : -déséquilibres acido-basiques, -si augmentation conjointe des ions chlorures: dysfonctionnement de la glande rectale	(Otway 2019)
K <sup>+</sup>	>Elasmobranches : déséquilibres acido-basiques	>Elasmobranches : -déséquilibres acido-basique -arythmie cardiaque -insuffisance cardiaque	
Cl <sup>-</sup>	>Elasmobranches : déséquilibres acido-basiques	>Elasmobranches : -déséquilibres acido-basique, -si augmentation conjointes des ions chlorures : dysfonctionnement de la glande rectale	
Mg		>Téléostéens : la richesse des hématies en magnésium suggère qu'une augmentation plasmatique de Mg serait compatible avec un phénomène d'hémolyse. >Elasmobranches : augmentation possible en cas de stress	(Thrall <i>et al.</i> 2012) <i>Communication personnelle – Dr Michael Hyatt, DVM, Dipl. ACZM</i>
Protéines totales	>Elasmobranches : lors d'anorexie	>Elasmobranches : valeurs souvent surestimées	(Smith <i>et al.</i> 2017)
CPK Créatine kinase		>Elasmobranches : -indicateur d'une potentielle atteinte musculaire -diagnostic d'insuffisance rénale aiguë lors de myopathie de capture >Téléostéens : blessure musculaire ou une activité musculaire trop importante	(Thrall <i>et al.</i> 2012 ; Otway 2019)
Urée	>Elasmobranches : -maladie hépatique -amaigrissement, baisse de la prise alimentaire -insuffisance rénale -baisse de la salinité du milieu (augmentation de la clairance rénale de l'urée)	>Elasmobranches : -maladie branchiale	(Thrall <i>et al.</i> 2012)
Créatinine		>Elasmobranches : -blessure musculaire ou une activité musculaire trop importante : myopathie de capture -évaluation de la fonction rénale : controversée (augmentée en cas d'Insuffisance rénale aiguë secondaire à une myopathie de capture)	(Otway 2019 ; Wosnick <i>et al.</i> 2021)

Dosages	Diminution de la concentration plasmatique	Augmentation de la concentration plasmatique	Références
Acide urique	Aucune information bibliographique		
Bilirubine		<b>&gt;Mammifères :</b> -obstructions des voies biliaires, -alternation des hépatocytes -baisse de conjugaison ou sécrétion de bilirubine	(Wosnick <i>et al.</i> 2021)
ASAT		<b>&gt;Elasmobranches :</b> marqueur favorable pour l'évaluation de la fonction hépatique Attention cependant car il s'agit également d'un marqueur de la fonction musculaire (myopathie de capture). <b>&gt;Mammifères :</b> lésions hépatiques aiguës <b>&gt;Téléostéens :</b> maladie hépatocellulaire, blessure musculaire ou une activité musculaire trop importante	(Thrall <i>et al.</i> 2012 ; Wosnick <i>et al.</i> 2021)
ALAT		<b>&gt;Elasmobranches :</b> intérêt non démontré <b>&gt;Téléostéens :</b> maladie hépatocellulaire	Communication personnelle – Dr Michael Hyatt, DVM, Dipl. ACZM
GGT		<b>&gt;Elasmobranches :</b> cas rapportés en cas de pancréatite chronique	
PAL		<b>&gt;Elasmobranches :</b> intérêt non démontré <b>&gt;Mammifères :</b> -obstruction des voies biliaires, -cholestase intrahépatique -maladie hépatique infiltrante	(Wosnick <i>et al.</i> 2021)
Lipase Amylase	<b>&gt;Elasmobranches :</b> pas d'intérêt rapporté		
Glucose		<b>&gt;Elasmobranches :</b> hyperglycémie de stress <i>via</i> la sécrétion de 1 $\alpha$ -hydroxycorticostérone (capture, manipulation, transport, changement d'environnement, emplois de corticoïdes exogènes...)	(Thrall <i>et al.</i> 2012)
Triglycérides	<b>&gt;Elasmobranches :</b> baisse de l'état nutritionnel de l'animal		(Otway 2019 ; Wosnick <i>et al.</i> 2021)
Cholestérol	<b>&gt;Elasmobranches :</b> -baisse de l'état nutritionnel de l'animal -jeun -fluctuation naturelle		
Ca	<b>&gt;Elasmobranches :</b> intérêt limité		Communication personnelle – Dr Michael Hyatt, DVM, Dipl. ACZM
P			

### f) Interprétation du ionogramme

Contrairement aux mammifères, les requins présentent une importante capacité à gérer leurs changements acido-basiques et leurs gaz du sang. Dans ce contexte, les dosages ioniques sont primordiaux chez les requins et concernent principalement les ions sodium, le chlorure, et le potassium. Chez la majorité des espèces, les taux de NaCl sont généralement élevés autour de 250-300 mmol/L tandis que les taux de potassium sont relativement faibles autour de 3 à 5 mmol/L.

Une augmentation marquée et simultanée des concentrations de sodium et de chlorure peut être l'indicateur d'un dysfonctionnement de la glande rectale (Otway 2019).

Le dosage du calcium et du phosphore présente un intérêt limité, mais ces éléments sont couramment dosés. L'analyse du rapport Ca/P semble présenter peu d'intérêt chez ces espèces.

Le taux de magnésium reste chez ces espèces, relativement constant, mais peut se voir augmenter en cas de stress.

### g) Les gaz du sang

L'analyse des gaz du sang s'avère d'un intérêt majeur chez ces espèces. Dans ce contexte, le pH, le lactate, la pCO<sub>2</sub>, la pO<sub>2</sub>, et les HCO<sub>3</sub>, doivent être dosés. L'intérêt majeur de ces analyses est l'évaluation de l'état acido-basique de l'animal, les requins étant particulièrement sujets à l'acidose métabolique/lactique. Elles permettent une meilleure caractérisation des dérèglements osmotiques, lors notamment de manipulation à l'origine de stress et surtout lors d'anesthésie.

Une publication de Hyatt *et al* réalisée sur 105 requins capturés a permis la mise en place d'une base de référence relative sur l'analyse des gaz sanguins chez trois espèces de requins en état de stress qualifié de « minime » : *S. tiburo*, *C. leucas*, et *N. brevirostris*. Cette même étude a également permis d'apprécier les variations des gaz du sang lors des captures ou manipulations. Les résultats ont permis la mise en évidence, d'une baisse significative du pH sanguin et d'une augmentation significative des lactates à 8 minutes de manipulation chez ces trois espèces. Des variabilités interespèces ont été enregistrées (Hyatt *et al.* 2011).

### h) Autres dosages

Dans certains contextes, il peut être intéressant de doser les concentrations en iode s'étendant de 3 000 à 7 000 ppm de poids sec chez les individus normaux.

## 3. Bactériologie et microbiologie

Chez de nombreuses espèces, la pratique d'hémoculture en vue de rechercher et de confirmer une bactériémie ou une septicémie est couramment effectuée chez les animaux malades. Chez des espèces qui présentent peu de signes cliniques, comme lors de maladies systémiques chez le requin, cette méthode peut donc s'avérer intéressante. Cette technique nécessite en revanche, pour certaines bactéries exigeantes, l'ensemencement de différents milieux d'isolement, et nécessite ensuite une identification. Cet isolement sur milieu sélectif n'est cependant pas toujours aisé puisqu'il s'agit de choisir les bons milieux et les bonnes conditions de cultures (température, milieu aérobie ou anaérobie...). Il s'agit d'un premier biais important à mentionner.

Pour se faire, se pose de nouveau la question de la désinfection préalable du site de ponction (cf. précédemment). L'utilisation d'une solution saline à 0,9 % a montré des résultats très satisfaisants pour éviter tout isolement de la flore cutanée. Le seul biais notable est, en revanche, l'isolement de bactérie des muscles traversés lors de la ponction.

Aucun site préférentiel de prélèvement n'a aujourd'hui été mentionné dans la littérature.

Mylniczenko *et al.* 2007, rapportent dans ce contexte, l'isolement de bactéries du sang au moyen de 1 ml déposé dans un flacon d'hémoculture de type « Septi-Chek BHI pédiatrique » d'un volume de

20 ml (BBL, Sparks, Maryland®) et incubé à 35°C. Une évaluation quotidienne des cultures est rapportée avec une culture dite « négative » si aucune croissance n'était observée au septième jour. En cas de turbidité observée dans le flacon, quelques gouttes de culture étaient placées sur gélose au sang et les géloses étaient incubées à 35°C. Après les tests classiques de premières identifications (catalase, oxydase), les identifications des bactéries isolées étaient permises à l'aide de galeries API 20E et API NE.

Suivant la littérature, la température optimale d'incubation des bactéries issues du milieu aquatique est différente de celle mentionnée précédemment et s'avérerait être de 20 à 25°C pendant 2 à 5 jours, sur des milieux tels que des géloses MSA-B (Marine salt agar containing blood), gélose au sang, ou gélose MacConkey pour des prélèvements issus de poissons vivants en milieu salé. Pour des poissons d'eau froide, la température d'incubation théorique doit être comprise entre 15 et 22°C, pendant 3 à 5 jours de culture. Pour des poissons d'eau chaude, la température d'incubation doit être de 25°C (Buller 2014).

Pour passer outre tous les biais présentés ci-dessus, différentes autres techniques sont utilisables en bactériologie et pour l'étude du microbiome des élaémobranches. Elles permettent d'éviter les nombreuses conditions de culture et un gain de temps au praticien.

Le MALDI-TOF notamment, est fréquemment utilisé dans ce sens avec comme principales limites majeures : la potentielle absence de base de données pour la souche d'intérêt, son incertitude d'identification due à une sous-représentativité des souches de l'espèce référente, ou due à la similarité d'espèces phylogénétiquement proches, surtout lors de cultures polymicrobiennes (Degand, Ruimy 2012). Aujourd'hui, d'autres techniques génétiques comme le séquençage de l'ARNr 16 S sont utilisées. Ce séquençage est déjà utilisé chez les élaémobranches et permet de cibler le gène ARNr 16 S commun à toutes les bactéries (Perry *et al.* 2021).

Ces analyses viennent généralement agrémenter la base de données des différents acteurs du microbiome, sans toutefois confirmer leur rôle écologique et physiologique. Dans cette optique, la métagénomique permettrait de caractériser les gènes marqueurs taxonomiques et les gènes métaboliques codant pour les protéines (Johri *et al.* 2019). L'analyse de l'ADN environnemental est également une méthode d'avenir (Johri *et al.* 2019). Les principales grandes limites à ces types de méthodes sont, la qualité de l'échantillonnage (abondance de l'élément à mettre en évidence et contaminations éventuelles), la qualité de l'ADN ou ARN libres dans l'environnement (ADNe souvent endommagé), les erreurs de séquençage, la richesse de la base de référence. L'interprétation des résultats est également délicate : ce n'est pas parce que l'agent est détecté qu'il est nécessairement pathogène et toujours présent à l'instant t dans l'environnement (ADNe). Toujours concernant l'ADNe, la détection de l'ADN reste similaire suivant le stade physiologique de l'organisme (individus morts ou vivants). Dans ce cadre, l'interprétation est donc à prendre avec précaution. Des méthodes de quantifications seraient dans ce sens pertinentes (Castagné, Castino 2020).

## 4. L'imagerie

### a) La radiographie

Elle est caractérisée par un manque de contraste étant donné la faible densité des structures internes, ce qui limite considérablement son utilisation chez les requins. Elle est cependant pertinente pour (Smith *et al.* 2017) :

- déceler toutes anomalies des structures cartilagineuses à savoir, les fractures, de potentielles malformations, lyses ou proliférations. Elle peut s'avérer intéressante chez certains requins atteints de malformation vertébrale.

- détecter la présence de potentiels corps étrangers métalliques, notamment les hameçons, lors d'hébergement d'animaux issus du milieu naturel.

En absence d'échographie, un produit de contraste peut être utilisé (contraste positif par l'utilisation du baryum notamment) comme chez les mammifères en vue d'évaluer la taille et la localisation de certains organes. Il peut être utilisé par voie orale, intra-utérine, cloacale... Les produits de contraste iodés peuvent être utilisés par voie vasculaire. Aussi, en cas de suspicion de perforation, l'utilisation d'un produit de contraste iodé est préférable à l'utilisation de baryum.

## b) L'échographie

L'échographie est très utilisée chez ces espèces et fournit des images de grande qualité pour les tissus mous.

Elle peut être utilisée dans différentes circonstances (Smith *et al.* 2017) :

- L'examen de la thyroïde : lors de suspicion d'atteinte thyroïdienne, c'est l'examen de choix. Elle permet notamment une évaluation de sa taille.
- L'examen des différentes portions du tractus gastro-intestinal.
- L'examen du foie : cet examen permet d'apprécier l'état nutritionnel de l'animal, une perte d'échogénicité (comparable à celle de la rate) de cet organe traduit une diminution des réserves lipidiques.
- L'examen échographique du cœur permet une évaluation de sa contractilité, de son rythme, de sa fréquence. L'observation de la présence d'un léger liquide péricardique est normale.
- L'examen échographique des structures reproductrices : il s'agit d'un examen compliqué étant donné la diversité de ces structures entre espèces. Son utilisation est cependant bien décrite dans les diagnostics de gestation et de la viabilité du fœtus.

Une échographie du pancréas est possible, mais relativement compliquée à observer.

À l'examen échographique du cœlome, une petite quantité de liquide peut être observée dans des conditions tout à fait physiologiques.

## 5. L'endoscopie

Dans un contexte d'augmentation des outils diagnostics et de la médication des élasmobranches, l'utilisation de l'endoscopie est aujourd'hui en développement chez ces espèces. Ces indications sont les mêmes que chez les mammifères, et vont de la simple observation des organes, à la biopsie de tissus, à des prélèvements pour analyses microbiologiques.

Pour ce faire, l'intervention est réalisée sous anesthésie ou par d'autres techniques de contention telles que la narcose à l'oxygène. Différents points d'entrée sont possibles (Smith *et al.* 2017 ; Murray 2010).

Par voie orale, elle permet une appréciation des branchies, de différentes portions du tractus digestif allant jusqu'au duodénum. Par le cloaque, elle permet l'observation du colon et même de la valve spirale, chez la femelle, l'utérus est également observable. Un abord par les fentes branchiales est aussi possible.

D'autres points d'entrée sont envisageables, ces zones d'entrée doivent être minutieusement désinfectées au préalable. Une insufflation de dioxyde de carbone est indispensable et permet une meilleure visualisation des organes, elle doit être éliminée en fin d'intervention. Les points d'entrées sont fermés à l'aide de monofil de polydioxanone.

Un endoscope rigide peut également être introduit *via* les pores abdominaux.

## 6. Les autopsies et histologies

*Post-mortem*, l'autopsie est indispensable dans une grande majorité des cas. Elle doit, dans l'idéal, être réalisée immédiatement après la mort de l'animal afin d'éviter toutes lésions non significatives d'autolyse. Si cette option n'est pas faisable, le corps doit être conservé à 4°C jusqu'à l'autopsie (Smith *et al.* 2004 ; 2017). Les artéfacts communément observés sont à connaître afin de ne pas les confondre avec des lésions significatives. Ces lésions *post-mortem* non significatives sont (Terio *et al.* 2018) :

- une accumulation de sang dans la peau (surtout localisée au niveau du ventre),
- une congestion aiguë : de la glande thyroïde, des sinus postérieurs cardinaux, des veines cardinales, du stroma ovarien
- une hypostase, en particulier au niveau du foie,
- une autolyse très rapide, voire une liquéfaction des ovaires et organes épigonaux.

## C. Les traitements disponibles

### 1. Les voies d'administration

Chez les requins, toutes les voies d'administration utilisées chez les mammifères peuvent être réalisées. Parmi ces dernières, la prise par voie orale est une voie délicate à utiliser puisque de multiples paramètres peuvent interférer avec l'absorption des molécules. C'est le cas, par exemple, des tétracyclines dont l'absorption est réduite lorsqu'elle se complexe aux sels ingérés.

Les injections par voies parentérales sont plus fréquentes :

– l'administration de traitement par voie intramusculaire doit, dans l'idéal, être faite dans les muscles dorsaux de part et d'autre de la nageoire dorsale. Il faut prendre soin, lors de ces injections, d'éviter l'injection dans les muscles rouges très vascularisés de la région latérale. La fuite du produit est couramment observée. Pour éviter ce phénomène, l'aiguille doit être bien dirigée crânialement ou vers la caudale de l'animal. Les grands volumes doivent être injectés à différents endroits, par volume de 3 à 5 ml maximum, afin d'éviter la formation d'abcès.

– la voie intraveineuse est sans doute la voie la plus rapide. Les localisations les plus couramment utilisées sont : la veine caudale, le sinus cutané dorsal, le sinus dorsal, et parfois la veine latérale de la queue. La métabolisation rapide des traitements chez ces espèces peut néanmoins nécessiter des fréquences d'injection régulières. Lors d'injection par la veine caudale, il faut veiller à ne pas injecter le produit dans l'artère située juste au-dessus : ce qui n'est pas une chose évidente.

– la voie intrapéritonéale peut également être utilisée bien que son efficacité réelle ne soit pas connue. Les lacérations du foie par l'aiguille étant une problématique lors de ces injections, il est conseillé de les réaliser en regard de l'intestin. Pour se faire, les injections doivent être réalisées à droite de l'animal en décubitus ventral, en amont de la ceinture pelvienne.

La balnéation est une voie relativement intéressante chez ces espèces, mais dépend de multiples facteurs comme le volume d'eau disponible, la sensibilité de l'animal, le coût du traitement. Les branchies constituant le lieu d'absorption majeur, il convient de s'assurer de leur parfait fonctionnement. La balnéation est principalement utilisée dans la gestion parasitaire, notamment contre les ectoparasites, ou lors du traitement des affections dermatologiques. La température du milieu, son pH, sa salinité, la présence d'ozone, et les minéraux présents conditionnent l'efficacité du traitement.

L'utilisation de topiques peut être délicate puisqu'elle est conditionnée par le temps de contact du produit avec la peau de l'animal. Encore une fois ici, les produits avec une base d'alcool sont à éviter.

Sont exposés dans les paragraphes suivants, les traitements aujourd'hui disponibles. La liste, est encore une fois, loin d'être exhaustive et ne fait mention que des traitements les plus fréquemment mis en place.

## 2. Les différentes molécules disponibles

Les grandes indications, posologies, voies d'administration et effets secondaires des différents traitements utilisables présentés ci-dessous sont synthétisés dans le tableau bilan n°6 (Tableau 6).

### a) Les solutés intraveineux

Comme présenté précédemment, les requins présentent une osmorégulation particulière, et sont sujets lors de pathologies aux acidoses lactiques. Comme chez les mammifères, l'apport de solutés de soutien par perfusion peut-être relativement intéressant. L'analyse des gaz du sang est dans ce contexte indispensable et permet d'ajuster au mieux le soluté à choisir. Dans ce cadre, divers solutés présentés dans l'ouvrage de Smith *et al.* 2017 peuvent être utilisés.

D'autres protocoles sont également possibles. Certains aquariums rapportent l'utilisation, lors de pathologies sans acidose lactique, de solution de type « Hanks Balanced Salt Solution » complétée en sodium, chlore, urée, et TMAO. Lors de l'évaluation d'une possible dégradation en acidose, cette perfusion peut également être complétée en solution tampon telle que de l'acétate de sodium. En effet, en cas d'acidose avérée des solutions tampons telles que l'acétate de sodium (plus de sécurité d'utilisation) ou du bicarbonate de sodium sont ajoutées systématiquement (Hyatt *et al.* 2011). Le bicarbonate de sodium doit, néanmoins, être utilisé avec précaution pour rester dans la gamme de pH adéquate. La combinaison de ces deux solutions tampons est possible [*Communication personnelle — Dr Michael Hyatt, DVM, Dipl. ACZM*]. Dans ce cadre, l'acétate de sodium est ajouté à la thérapie liquidienne à raison de 1 mg/kg, ou est administré par voie intravasculaire (IV), ou intramusculaire (IM), ou intrasinusienne (IS). Le volume de perfusion est décrit à 7-10 ml/kg (Smith *et al.* 2017) ou à 5-10 ml/kg en IV, en IS, ou en intracœlomique (Hyatt *et al.* 2011).

L'approvisionnement des différents solutés n'étant pas toujours possible, les perfusions peuvent alors se limiter à l'administration seule des solutions tampons.

Une administration de corticoïdes (phosphate sodique de dexaméthasone ou succinate sodique de méthylprednisolone) conjointe est rapportée à raison de 2,5-5 mg/kg en IM, IV ou IS (Hyatt *et al.* 2011).

La perfusion peut être réalisée sous anesthésie ou par l'utilisation de l'immobilité tonique. Pour se faire, des aiguilles ordinaires sont utilisées, elle peut être effectuée :

- dans la veine caudale ventrale en arrière de la nageoire anale au niveau du pédoncule caudal,
- dans le sinus vasculaire à la base de la première voir, parfois de la deuxième, nageoire dorsale.

Les difficultés majeures dans la réalisation de perfusion sont l'approvisionnement des différents solutés (TMAO, urée), et la réalisation du geste technique en lui-même.

L'efficacité des perfusions n'est pas toujours notable, elles sont souvent utilisées en contexte d'urgence.

Des solutions alternatives peuvent être mises en place comme des injections par voie IM, ou IV lente de solutions tampons lors d'acidose avérée.

## b) La transfusion : gestion thérapeutique des anémies sévères

Il n'existe à ce jour que très peu d'informations concernant les groupes sanguins des élasmobranches. Des tests d'agglutination de type *cross-match* ont cependant été réalisés entre animaux de même espèce et n'ont montré aucune réaction d'agglutination ou d'hémolyse. Ces études ont été réalisées sur des espèces telles que les requins : *Carcharias taurus*, *C. plumbeus*, *Ginglymostoma cirratum*, *Chiloscyllium plagiosum*. En revanche, il semblerait que les requins *Squalus acanthias* présentent, pour la même espèce, différents groupes sanguins (Mc Dermott Delaune *et al.* 2017).

Ces études laissent donc suggérer qu'une possible transfusion entre animaux de la même espèce est possible en situation d'urgence. Des *cross-match* interespèces ont également été réalisés montrant des résultats d'hémagglutination négatifs et d'autres positifs entre certaines espèces (Mc Dermott Delaune *et al.* 2017). La transfusion sanguine chez les requins est effectuée en aquarium avec de bons retours chez les individus profondément anémiés, la réalisation de *cross-match* au préalable est indispensable [Communication Personnelle — Dr N. D. Mylniczenko DVM-DACZM].

Dans la gestion des anémies, l'utilisation de l'EPO a également montré des résultats très positifs chez les requins. Son utilisation serait donc envisageable de manière systématique lors de diagnostic d'anémie.

## c) Cas particulier des tranquillisations, sédations et anesthésies

La nécessité d'utilisation de ces molécules est inévitable lors de nombreuses interventions (Smith *et al.* 2004 ; Murray 2010 ; Smith *et al.* 2017). Comme chez les autres espèces, la réponse anesthésique est individu-dépendant et serait également modifiée par la température du milieu.

### (1) L'immobilisation tonique

L'immobilisation tonique consiste à placer le requin en décubitus dorsal ce qui permet, comme son nom l'indique, une immobilisation de l'animal. Ces animaux nécessitent dans ce contexte un soutien ventilatoire à savoir, un flux d'eau dans les branchies. Certaines espèces nécessitent également la réalisation d'un pompage au niveau de la queue, pour aider le retour veineux et permettre un bon fonctionnement cardiaque.

La réalisation d'une telle pratique est variable en fonction de l'animal (Murray 2010).

### (2) La narcose à l'oxygène

Les requins peuvent être maintenus dans des états de narcose grâce à des taux élevés d'oxygène dissous allant de 120 à 200 %. L'effet attendu est variable en fonction de l'individu et de la température de l'eau. Ce type de pratique peut être suffisant lors de la réalisation de manipulations mineures telle qu'une endoscopie. Du fait d'une forte accumulation de CO<sub>2</sub> lors de la manipulation, une surveillance accrue doit être réalisée en phase de récupération de l'animal.

### (3) Le méthane sulfonate de tricaïne : MS-222

Il s'agit d'un anesthésique par balnéation, fréquemment utilisé chez les requins, aussi bien comme anesthésiant que comme sédatif. Pour une sédation par exemple, la dose d'induction préconisée est de 50 mg/L, tandis que la dose d'entretien préconisée est de 10 mg/L. Pour une anesthésie, la dose d'induction est établie à 80-100 mg/L et la dose d'entretien à 60-75 mg/L. Une alternance d'eau chargée en anesthésiant et d'une eau environnante est rapportée pour un meilleur contrôle de la profondeur de l'anesthésie et sa durée.

### (4) Les agents injectables

L'administration est généralement réalisée par voie IM. Sont présentées ci-dessous les principales molécules utilisées. Les opiacés n'ont jusqu'alors eu aucun effet anesthésiant sur les requins.

#### (A) LE PROPOFOL

Son utilisation est rapportée en perfusion lente à raison de 2,5 mg/kg par voie IV lors de longues interventions. La période d'induction est rapide (5 minutes), contrairement à la phase de récupération relativement lente (60-75 minutes). Un *monitoring* est essentiel à la vue de ces effets dépresseurs de la fonction cardiaque et respiratoire (Murray 2010).

Son association avec le midazolam a été rapportée dans la littérature comme une combinaison intéressante dans le cadre d'immobilisation « longue durée » (2 h) (Smith *et al.* 2017).

#### (B) LE MIDAZOLAM

Son utilisation est rapportée dans de nombreuses publications par voie IV, ou IM pour son effet sédatif et anesthésiant. Il présente l'avantage de permettre un réveil relativement calme et de présenter peu d'effets indésirables sur la fonction cardiaque. Le dosage classique utilisé est le poids vif de l'animal x 4,5 mg/kg x 0,9 pour un début d'action chez les grands élastombranches au bout de 10 à 20 minutes par voie IM. D'autres publications relatent en revanche l'utilisation de doses allant de 0,5 à 2,5 mg/kg (Smith *et al.* 2017).

#### (C) L'ASSOCIATION TILETAMINE-ZOLAZEPAM

Cette association semble loin d'être pertinente chez les requins. Son utilisation chez des requins-tigres des sables a été rapportée et a permis de mettre en évidence une hyperexcitabilité et des morsures incontrôlées (Smith *et al.* 2017).

#### (D) L'ASSOCIATION MEDETOMIDINE-KETAMINE

Cette association permettrait, en fonction des doses, de réaliser une simple sédation ou une anesthésie durable. L'utilisation de ces deux molécules permet une induction et une récupération calme. Comme chez les carnivores, la médétomidine peut être réversée par utilisation d'atipamézole. La dose d'utilisation rapportée est de cinq fois la dose de médétomidine administrée (Smith *et al.* 2017).

#### (E) L'ASSOCIATION MEDETOMIDINE-BUTORPHANOL

Il s'agit d'une excellente association dans un objectif de sédation à des doses de 0,1 mg/kg IM de médétomidine et de 1,0 mg/kg IM de butorphanol. Le délai d'action observé est en revanche relativement long puisque des publications relatent un effet observable au bout de 40-60 min. La naltrexone peut également être utilisée pour réverser le butorphanol à raison de 10 mg/kg IM. Avec l'usage d'atipamézole et de la naltrexone pour reverser l'animal, un temps de récupération de 10 à 20 minutes est classiquement enregistré (Smith *et al.* 2017).

### d) Les antibiotiques disponibles

Toute la difficulté lors de l'emploi d'antibactérien est de cibler la bactérie adéquate. Dans l'idéal, une identification préalable est recommandée, de même que la réalisation d'un antibiogramme. Étant donné la difficulté de la faisabilité de ces examens, leur utilisation est dans la majeure partie des cas, empirique et vise un large spectre bactérien.

Comme évoqué précédemment, les requins présentent leur propre flore commensale, compliquant cette identification. Il est également concevable à la vue de cette relation requin-bactérie que l'utilisation de certains antibiotiques puisse entraîner de profondes perturbations de la flore de ces animaux [Communication Personnelle — Dr N. D. Mylniczenko DVM-DACZM]. Une plus large connaissance de ce microbiome permettrait d'ajuster au mieux la gestion thérapeutique.

#### (1) Les céphalosporines

Elles sont faiblement absorbées par le tractus digestif, ce qui limite leur utilisation par cette voie chez les requins. Sont couramment utilisés, la céfalexine, la ceftazidime, le ceftiofur et la céfoxitine. Par voie IM, l'utilisation de la céfalexine, du ceftiofur et de la ceftazidime semble dénuée d'effets secondaires.

## (2) Les aminosides

Sont utilisés chez les requins, la gentamicine, l'amikacine et les aminoglycosides. Cette famille, principalement utilisée pour son action sur les Gram négatifs, est cependant connue pour ces effets néphrotoxiques et neurotoxiques. Elles sont, dans ce sens, à utiliser avec prudence.

## (3) Les quinolones

Sont principalement utilisés chez les requins : l'enrofloxacin, la lévofloxacin, la ciprofloxacin. Par balnéation, sont utilisés, l'acide naladixique, l'acide oxolinique et la sarafloxacin. Ces antibiotiques sont néanmoins à employer avec précaution. Certains étant classés comme critiques, un antibiogramme est donc à réaliser.

Concernant l'enrofloxacin, antibiotique critique, à large spectre, et très largement utilisé chez les requins : son utilisation par voie intramusculaire de formes à haute concentration a montré son effet « caustique » sur les muscles et les tissus conjonctifs engendrant parfois la formation d'abcès. Par ailleurs, elle a montré, pour toutes les injections par voie parentérale qu'elle peut provoquer une hémolyse chez certains requins, notamment chez la petite roussette. Zaccaroni *et al.*, ont montré, chez cette espèce, une diminution significative dose-dépendante de la numération globulaire et de l'hématocrite (ces effets sont également observables chez l'Homme). Certains aquariums rapportent également des effets néphrotoxiques (lésions hépatiques sévères chez l'Homme) (Smith *et al.* 2004). Les auteurs suggèrent notamment qu'une dose de 10 mg/kg devrait être évitée et rediscutée (Zaccaroni *et al.* 2017).

Lors de traitement en quarantaine, elle est en effet utilisée à une dose de 10 mg/kg tous les 3, 5 à 7 jours par voie orale ou par voie IM (Smith *et al.* 2004).

## (4) Les tétracyclines

Comme chez les mammifères, la doxycycline, l'oxytétracycline, et la chlortétracycline sont fréquemment utilisées chez les requins par voie orale et parentérale. Malgré leur large spectre, leur emploi est encore une fois à réaliser avec précaution. Par balnéation, cette molécule n'est pas efficace puisque le calcium et le magnésium inactivent les tétracyclines (nécessité de la concentrer à quatre fois la dose habituelle) (Smith *et al.* 2004).

L'emploi de l'oxytétracycline « Longue Action » n'est clairement pas recommandé par voie parentérale et notamment par voie intramusculaire puisqu'elle peut être à l'origine de réactions d'inflammations cutanées et musculaires dramatiques (abcès) [Communication personnelle — Dr William Van Bonn, DVM, John G. Shedd Aquarium — Dr N. D. Mylniczenko DVM-DACZM].

## (5) Les phénicolés

Parmi ces antibiotiques à larges spectres, seuls le florfénicol et le chloramphénicol sont utilisés chez les requins. Le chloramphénicol ne doit pas être utilisé simultanément avec de la pénicilline, de la streptomycine, ou encore des céphalosporines (Smith *et al.* 2004).

Le florfénicol, antibiotique à large spectre, à forte diffusion tissulaire présente pour le moment, de très faibles résistances bactériennes. Selon une publication de Zimmerman *et al.*, cet antibiotique s'avérerait être un traitement prometteur dans la gestion de multiples infections bactériennes systémiques, notamment dans les affections du système nerveux central, à savoir les méningites. Une injection à dose unique de florfénicol à 40 mg/kg permettait le maintien d'une concentration plasmatique à 8 mg/ml pendant un minimum de 120 h et dans le liquide céphalo-rachidien pendant au moins 72 h (Zimmerman *et al.* 2006).

## (6) Les sulfamides

Il s'agit, encore une fois, d'antibiotiques large spectre. Sont utilisés chez les requins, la sulfadiazine, le sulfaméthoxazole et la sulfadiméthoxine. Leurs apports sur une longue durée sont connus pour provoquer des carences en acide folique (Smith *et al.* 2004).

### e) Les antifongiques

Chez les requins, l'itraconazole, le kétoconazole et le miconazole sont les molécules antifongiques les plus utilisées. L'efficacité de l'itraconazole reste cependant à démontrer.

### f) Les antiviraux

Malgré leur utilisation limitée, les antiviraux les plus communément utilisés chez les élasmobranches sont la vidarabine, la frifluridine, et l'idouridine.

### g) Les antiparasitaires

Les principaux antiparasitaires utilisés sont : le métronidazole, l'ivermectine, la chloroquine, la primaquine, le diclazuril, le toltrazuril, les organophosphorés, le levamisole, le praziquantel, le fenbendazole, le lufenuron et anciennement le cuivre.

#### (1) Le cuivre

Il était utilisé dans le traitement des parasites externes tels que les monogènes ou encore contre les protozoaires. Il ne doit jamais être utilisé avec du praziquantel, du formol ou du trichlorfon. Il était utilisé par balnéation à des doses de 0,15 mg/L pendant 30 jours pour de nombreuses espèces de requins tels que : *Carcharias taurus*, *Chiloscyllium plagiosum*, *Ginglymostoma cirratum*... Comme vu précédemment, le cuivre est toxique chez les élasmobranches et est donc à utiliser avec beaucoup de précautions.

#### (2) Le métronidazole

Le métronidazole est utilisé comme antibiotique à visée anaérobie et comme traitement contre les protozoaires. Il est utilisé à des posologies de 25 mg/kg PO chez les élasmobranches, 3 jours par semaines et utilisable pendant trois semaines (Smith *et al.* 2004). Bien qu'aucun effet secondaire n'ait été rapporté chez les requins, Gürcü *et al.* en 2016, ont montré chez la truite arc-en-ciel exposée à différentes doses de métronidazole par balnéation (5, 10, 20 mg/L pendant 2, 4 et 8 jours) l'apparition de : lésions de l'épithélium digestif allant de la dégénérescence légère à la nécrose des villosités, d'infiltrats cellulaires dans la sous-muqueuse, la mort des cellules de la couche musculaire. Ces effets étaient observés dès l'emploi de doses à 5 mg/L pendant deux jours de traitement. Selon l'étude en question, les effets étaient plus marqués lors de l'utilisation concomitante d'AINS ou d'antibiotiques. Cette publication appelle à une étude plus approfondie de l'effet du métronidazole chez les poissons et surtout chez les élasmobranches, notamment concernant l'augmentation de la perméabilité digestive (Gürcü *et al.* 2016).

#### (3) Le fenbendazole

Il est utilisé dans le traitement des parasites internes, notamment les nématodes. Il est utilisé, dans ce contexte, à des posologies de 25 mg/kg PV trois fois par semaine pendant trois semaines (Smith *et al.* 2017). Son utilisation ayant provoqué des intoxications aiguës, il est à employer avec précaution (page 66) (Myers *et al.* 2007).

#### (4) L'ivermectine

Elle est utilisée dans le contexte d'un parasitisme interne et est utilisée deux fois, à l'intervalle de 15 jours à des doses de 200 mg/kg (Smith *et al.* 2004).

#### (5) Le praziquantel

Il est utilisé dans le traitement des parasitoses internes et externes. Contre les monogènes, il est utilisé en balnéation pendant 2 h à des doses de 10 mg/kg ou pendant 48 h à des doses de 2,0 mg/kg. Il n'est cependant pas toujours efficace dans le traitement contre certains monogènes. Il ne doit pas être utilisé de manière concomitante avec du cuivre ou du trichlorfon. Dans le traitement contre les cestodes et nématodes, il est couramment utilisé à une dose de 50 mg/kg PV 3 jours par semaine pendant 3 semaines par voie orale (Smith *et al.* 2004).

## (6) La chloroquine

La chloroquine est régulièrement utilisée notamment dans le cadre d'affection à des dinoflagellés. Elle semblerait malgré tout à prescrire avec précautions. Mathan *et al.* 2018 relatent en effet la toxicité aiguë et sublétales de la chloroquine (à des doses de 3,16 mg/ml soit 1/10 de la CL50 et à 31,32 mg/ml la CL50) chez la carpe commune, *Cyprinus carpius*. À ces doses, les analyses histopathologiques des branchies révélaient diverses anomalies telles que des fusions lamellaires, des lésions de nécroses et de dégénérescences des épithéliums branchiaux, de l'œdème, des vacuolisations, de l'hyperplasie, de la congestion, de l'hypertrophie. Dans ce même contexte, des lésions histopathologiques hépatiques et rénales ont également été observées. Aujourd'hui, la chloroquine est administrée à des doses comprises entre 10 et 20 mg/L comme dose sûre. Cet article remet ainsi en cause les doses couramment utilisées (Mathan *et al.* 2018). La chloroquine aurait également des effets néfastes sur la coagulation, elle pourrait conduire à des phénomènes anémiques, et à l'altération des leucocytes [Communication personnelle — Dr N. D. Mylniczenko DVM-DACZM].

En outre, certaines études tendent aujourd'hui à montrer que l'usage de la chloroquine peut potentiellement induire une résistance aux quinolones et aux fluoroquinolones (Davidson *et al.* 2008).

### h) Les anti-inflammatoires stéroïdiens et non stéroïdiens

Malgré l'absence de connaissance de l'efficacité des anti-inflammatoires non stéroïdiens, l'emploi de la flunixin méglumine, du kétoprofène et du méloxicam est néanmoins rapporté. Concernant les anti-inflammatoires stéroïdiens, ils sont rarement utilisés et réservés aux situations critiques telles que les chocs, l'anorexie, des traumatismes. En pratique, ils sont régulièrement utilisés en administration unique ou sur de courtes durées pour favoriser l'appétit et améliorer le confort de l'animal.

Clauss *et al.* ont également démontré que l'utilisation de glucocorticoïdes chez les poissons diminue le nombre total de thrombocytes, et augmente donc le temps de coagulation (Clauss *et al.* 2008)

**Tableau 6 : Tableau récapitulatif des principaux traitements disponibles chez les élasmobranches**

Traitements		Voie d'administration	Posologies référencées	Utilisations	Effets indésirables chez les élasmobranches	Autres remarques	Références
Famille	Molécules						
Antibiotiques							
Céphalosporines	Ceftazidime	IM principalement Usages anecdotiques : IV et IC	20 à 30 mg/kg Fréquences variables	>Affections par bactéries Gram -	>Non rapportés	>Faible absorption digestive rapportée  >Antibiotiques critiques : Ceftiofur et Ceftazidime	(Smith <i>et al.</i> 2004 ; 2017)
	Ceftiofur	IM	4,4 à 10 mg/kg Fréquences variables				
	Cephalexine	PO	22 à 30 mg/kg Fréquences variables				
Aminosides	Gentamycine	IM, topique, voie ophtalmique	6 mg/kg Fréquences variables	>Affections par bactéries Gram -	>Néphrotoxicité suspectée		
	Amikacine	IM principalement Usages anecdotiques : IV et lavage utérin	2,5 à 10 mg/kg		>Non rapportés		
Quinolones	Ciprofloxacine	PO	10 et 20 mg/kg Fréquences variables	>Affections par bactéries Gram - et +	>Non rapportés		
	Enrofloxacin	IM, IV, PO, subconjonctivale, IC,	2,5 à 20 mg/kg Fréquences variables	>Affections par bactéries Gram - et + >Germs anaérobies  >Rapporté efficace sur des plaies et septicémies	>IM : abcès >Hémolyses >Effet néphrotoxiques	>Antibiotique critique >Dose de 10 mg/kg à éviter et à discuter	(Smith <i>et al.</i> 2004 ; 2017 ; Zaccaroni <i>et al.</i> 2017)

		Voie d'administration	Posologies référéncées	Utilisations	Effets indésirables chez les élasmobranches	Autres remarques	Références
	<b>Acide naladixique</b>	Balnéation	30 à 100 mg/L Fréquences variables	>Affections par bactéries Gram -	>Non rapportés		
	<b>Acide oxolinique</b>	Balnéation et PO	1 à 3 mg/L Un cas d'utilisation PO de 5 à 20 mg/kg	>Affections par bactéries Gram - >Rapporté efficace sur des abrasions et plaies de différents requins et raies			
	<b>Sarafloxacin</b>	PO	10-14 mg/kg Fréquences variables	>Affections par bactéries Gram -			
<b>Tétracyclines</b>	<b>Oxytétracycline</b>	IM, PO, IC, balnéation	4 à 50 mg/kg en IM 20 à 75 mg/kg en PO 10 à 400 mg/kg en balnéation Fréquences variables	>Affections par bactéries Gram - et +  >Efficacité rapportée sur des plaies et épithéliocystes	>Longue action en IM : abcès		(Smith <i>et al.</i> 2004 ; 2017)
	<b>Chlortétracycline</b>	PO	10-20 mg/kg Fréquences variables	>Affections par bactéries Gram - et +	>Non rapportés		
<b>Phénicoles</b>	<b>Florfénicol</b>	IM, PO, IC	30 à 50 mg/kg Fréquences variables	>Affections par bactéries Gram - et + >Efficacité rapportée sur des cas de méningites et septicémies	>IM : granulomes post-injection		
	<b>Chloramphénicol</b>	IM, PO, IC	20 à 55 mg/kg	>Affections par bactéries Gram - et +	>Non rapportés	>Ne pas utiliser en même temps de la pénicilline, la streptomycine et les céphalosporines	

Traitements	Voie d'administration	Posologies référencées	Utilisations	Effets indésirables chez les élasmobranches	Autres remarques	Références
<b>Antifongiques</b>						
Itraconazole	PO	1 à 10 mg/kg Fréquences variables	>Traitements des mycoses dont systémiques >Efficacité non rapportée dans des cas de lésions fongiques chez la raie, endométrite fongique chez une raie >Efficacité supposée face à une fusariose	>Non rapportés		(Smith <i>et al.</i> 2004 ; 2017)
Kétoconazole	PO, IM, IC	2,5 à 10 mg/kg Fréquences variables	>Traitements des mycoses dont systémiques	>Non rapportés		
Fluconazole	PO, IC	3 à 20 mg/kg Fréquences variables	>Traitements des mycoses dont systémiques >Efficacité non rapportée dans des cas d'endométrite fongique chez une raie et sur des fusarioses chez des requins marteaux	>Non rapportés		
<b>Antiparasitaires</b>						
Cuivre	Balnéation	0,05 à 0,2 mg/L Fréquences variables	>Ancien traitement des parasites externes (monogènes par exemple) et contre les protozoaires	>Toxique à forte doses et donc à utiliser avec précaution	>Ne pas utiliser en même temps que le praziquantel, le formol, ou le trichlorfon	(Smith <i>et al.</i> 2004 ; 2017)
Praziquantel	PO, Balnéation, IM	2 à 500 mg/kg PO 2 à 30 mg/L Balnéation 8 mg/kg IM Fréquences variables	>Traitement des parasites externes et internes (trématodes de la peau et des branchies) >Manque d'efficacité rapportée sur certains monogènes	>Baisse de l'appétit	>Ne pas utiliser en concomitance avec le cuivre ou le trichlorfon >Cas de mortalité rapportés avec utilisation concomitante du fenbendazole	

Traitements	Voie d'administration	Posologies référencées	Utilisations	Effets indésirables chez les élasmobranches	Autres remarques	Références
<b>Chloroquine</b>	Balnéation	10 mg/L Fréquences variables	>Traitement des ectoparasites, et protozoaires	>Défauts de la coagulation, anémie >Cas d'ataxie rapportés	>Inductions de résistances aux fluoroquinolones et quinolones. >Effets nocifs rapportés chez certains poissons autres que les élasmobranches	(Smith <i>et al.</i> 2004 ; 2017) Communication personnelle - Dr N. D. Mylniczenko DVM-DACZM
<b>Fenbendazole</b>	PO et IM	de 0,5 à 100 mg/kg	>Traitement des parasites internes : nématodes	>Toxicité aiguë sous 24h à 25 mg/kg PO trois fois par semaine pendant 3 semaines : anorexie, léthargie, polypnée, mortalité... Histologie : destruction des cellules basales de la muqueuse gastro-intestinale, tissus hématopoïétiques de l'organe épigonal		(Smith <i>et al.</i> 2004 ; 2017)
<b>Antibiotique et antiparasitaire</b>						
<b>Métronidazole</b>	PO	25 mg/kg trois fois par semaine pendant 3 semaines	>Antibiotique à action anaérobie >Traitement des protozoaires	>Non rapportés	>Autres effets rapportés nocifs chez certains poissons autres que les élasmobranches	

*Dans le cadre des nombreux programmes de prévention de la santé des élasmobranches en aquariums, les examens complémentaires comme les Numérations de la formule sanguine, les biochimies, les échographies, les endoscopies, sont aujourd'hui des actes en forte augmentation. Malgré le manque de données et de valeurs de référence sur ces différents examens, les aquariums occupent aujourd'hui une place très importante dans la progression des découvertes et de publication de ces données.*

*De même, la médicalisation de ces espèces est en voie de développement dans de nombreuses structures, permettant l'élargissement de l'arsenal thérapeutique disponible. Il reste encore une fois de nombreuses inconnues sur le traitement des différentes pathologies.*

PARTIE 2 : APPROCHE TERRAIN  
ÉTAT DES LIEUX DES PATHOLOGIES ET DES CAUSES  
DE MORTALITÉ CHEZ LES REQUINS EN AQUARIUMS  
ET EXEMPLES DE CAS CLINIQUE

# I. Enquête terrain : état des lieux des pathologies et causes de mortalité chez les requins des aquariums français

## A. Objectifs de l'étude

Peu de données sont aujourd'hui disponibles, en France, sur les différentes pathologies et grandes causes de mortalité des requins peuplant les aquariums français. La présente enquête avait donc pour objectifs :

- D'établir un état des lieux des **aménagements** des différentes infrastructures françaises hébergeant des requins à savoir : l'approvisionnement et le contrôle des bassins,
- De connaître les différents **critères de surveillance** des requins et les **premiers gestes de prise en charge** d'individus malades,
- De réaliser un inventaire des **grandes pathologies** rencontrées chez les requins dans ces structures,
- De déterminer **les causes de mortalité**,
- D'identifier les différents **examens complémentaires** et les **outils diagnostics** disponibles dans les aquariums français,
- De connaître **les traitements** mis en place à ce jour afin de les comparer aux traitements connus dans la bibliographie.

## B. Matériels et méthodes

### 1. Réalisation du questionnaire d'étude et diffusion

Suivant ces différents objectifs, un questionnaire a été envoyé aux 23 aquariums français (territoires Outre-mer et Monaco inclus) détenant des requins. L'intégralité de ce questionnaire est présentée en Annexe 1. Ce questionnaire a été réalisé en concertation avec des vétérinaires aquacoles et avait pour but de répondre aux différents objectifs fixés. Pour se faire, trois grandes parties étaient présentées :

- la première consistait en une description générale de la structure, sur les espèces déjà exposées, et sur les différentes conditions d'hébergement,
- la deuxième était ciblée sur les conditions de vie des animaux, les critères de surveillance et les premiers gestes de prise en charge des animaux malades,
- la troisième partie ciblait les grandes pathologies, et les différentes causes de mortalité des requins rencontrées depuis la création des structures. Les examens complémentaires et traitements par conséquent étaient également demandés.

Les questions présentées étaient, en fonction des objectifs, des questions fermées et/ou ouvertes laissant la possibilité aux participants d'apporter des informations complémentaires.

Ce questionnaire a été envoyé par e-mail, à l'ensemble des aquariums français le 23/07/2021, en premier lieu *via* l'Institut Océanographique de Monaco. Différents mails de relance ont également été envoyés jusqu'en juin 2022 aux structures n'ayant pas donné de réponse. Les résultats ont été collectés jusqu'au 1<sup>er</sup> juillet 2022.

### 2. Collecte des données

#### a) Anonymat

Afin de garantir l'anonymat des structures, un numéro aléatoire a été attribué à la réception des différents questionnaires.

## b) Animaux d'intérêt

Afin de cibler un maximum d'individus, toutes les espèces recensées, de tout âge, et ayant ou non bénéficié à leur mort d'examen complémentaires, dont les autopsies, ont été incluses dans l'étude.

Concernant les causes de mortalité, les individus décédés de vieillesse ont été exclus de l'étude. Lors du non-renseignement des quantités d'animaux touchés par un processus pathologique, ces derniers étaient exclus de l'étude.

## c) Analyse des questionnaires

Les différentes réponses ont été analysées au cours de l'année 2021-2022.

Dans un souci de disponibilité, trois aquariums ont préféré répondre aux questions *via* une visioconférence.

À la vue des différentes réponses apportées, une analyse descriptive a été réalisée.

## d) Choix de l'interprétation des résultats des pathologies et des causes de mortalité

Dans l'objectif d'avoir un maximum de cas, aucune limite de temps pour remonter aux différents cas n'a été fixée aux différents aquariums.

Il était demandé dans cette partie, l'espèce, le nombre d'individus touchés et si possible son sexe, l'année d'apparition des différentes pathologies, les signes cliniques, le diagnostic établi, les traitements, les examens complémentaires réalisés, l'évolution de la maladie vers la guérison ou la mortalité, les lésions observées à l'autopsie (si réalisée), et le nombre d'individus décédés.

À l'image de différents papiers répertoriant les maladies rencontrées chez les élaémobranches en aquarium (Garner 2013 ; Smith *et al.* 2017), ces dernières ont été classées en **grandes catégories** et **sous-catégories**. Les grands items suivants ont ainsi été définis :

### 1 — Les pathologies infectieuses :

- bactérioses dont septicémies
- parasitoses
- mycoses
- viroses

### 2— Les maladies liées à l'acclimatation

### 3— Les pathologies traumatiques dues :

- à une ou plusieurs morsures,
- à un corps étranger,
- au décor/environnement,

### 4— Les toxicoses

### 5— Les pathologies dégénératives

### 6— Les pathologies liées à la fonction de reproduction :

- pyométre,
- rétention d'œufs

### 7— Les pathologies musculosquelettiques

### 8— Les néoplasies

### 9— Les pathologies d'origine inconnue

Aussi, étant donné la possibilité de **multiples processus pathologiques à des moments différents ou concomitants** sur un même individu, les données correspondaient au **nombre de diagnostics réalisés et non au nombre d'animaux étudiés**. Ceci permet de connaître la prévalence des différentes pathologies rencontrées chez les requins d'aquariums.

Concernant les **causes de mortalité**, elles ont également été regroupées en diverses **grandes catégories et sous-catégories**. Les items suivants ont ainsi été proposés :

**1 — Les causes infectieuses comprenant les causes :**

- bactériennes dont les septicémies
- parasitaires
- fongiques

**2 — Les causes anthropiques comprenant les décès dus :**

- aux manipulations dont gavages et à l'anesthésie
- à l'acclimatation
- à l'euthanasie

**3— Les causes traumatiques comprenant les décès dus :**

- à une ou plusieurs morsures,
- à un corps étranger,
- aux décors/environnement,
- à la prédation

**4— Les causes toxiques**

**5— Les causes dégénératives**

**6— Les causes liées à la fonction de reproduction :**

- pyomètre,
- rétention d'œufs

**7— Les néoplasies**

**8— Les causes inconnues** notamment les décès où des signes d'inflammations non spécifiques ont été observés

À la différence des deux études citées précédemment, il a été choisi de **séparer les maladies rencontrées des causes de mortalité** (Garner 2013 ; Smith *et al.* 2017). Dans ce sens, les catégories ont été **reformulées et réajustées à l'objectif**. Concernant les causes de mortalité, le décès de l'animal a été imputé à **une seule et même cause** afin de se rapprocher le plus possible de l'étiologie de la mort de l'animal.

## C. Résultats

### 1. Participants à l'étude

Sur l'ensemble des 23 aquariums contactés :

- onze aquariums n'ont pas donné suite au questionnaire malgré les relances,
- dix aquariums ont répondu à l'intégralité du questionnaire,
- un aquarium n'a répondu qu'aux deux premières parties portant sur la description générale de la structure et sur les conditions de vie des animaux, les critères de surveillance et les premiers gestes de prise en charge des animaux malades.
- un aquarium n'a répondu qu'à la troisième partie portant sur les grandes pathologies, et les différentes causes de mortalité des requins.

### 2. Description générale des structures (première partie du questionnaire)

Étant donné l'importance des conditions environnementales de détention des animaux, la première partie s'intéressait principalement aux conditions de vie de ces animaux et surtout, à l'eau et ses différents paramètres.

### a) Les espèces recensées

La première question posée dans ce questionnaire a permis de mettre en évidence les différentes espèces de requins peuplant les aquariums français, avec **n=42 espèces différentes ayant déjà été présentées au public** (Tableau 7). Les résultats obtenus ont permis de montrer que les espèces *Carcharhinus melanopterus*, *Ginglymostoma cirratum*, et *Stegostoma fasciatum* étaient les plus représentées avec leur présence dans sept aquariums participants. Les requins des espèces *Carcharhinus plumbeus* et *Carcharias taurus* ont également déjà été présentés dans six structures différentes.

**Tableau 7 : Espèces ayant déjà été présentées dans les aquariums français.**

Espèces	Nombre d'aquarium ayant déjà présenté l'espèce (sur n=11 aquariums)
<i>Atelomycterus macleayi</i>	1
<i>Atelomycterus marmoratus</i>	1
<i>Carcharhinus accronotus</i>	1
<i>Carcharhinus albimarginatus</i>	2
<i>Carcharhinus amblyrhyncos</i>	3
<i>Carcharhinus humani</i>	1
<i>Carcharhinus leucas</i>	1
<b><i>Carcharhinus melanopterus</i></b>	<b>7</b>
<b><i>Carcharhinus plumbeus</i></b>	<b>6</b>
<b><i>Carcharias taurus</i></b>	<b>6</b>
<i>Chyloscyllium arabicum</i>	1
<i>Chyloscyllium griseum</i>	2
<i>Chyloscyllium plagiosum</i>	1
<i>Chyloscyllium punctatum</i>	4
<i>Eucrossorhinus dasypogon</i>	1
<b><i>Ginglymostoma cirratum</i></b>	<b>7</b>
<i>Hemiscyllium ocellatum</i>	3
<i>Hemiscyllium trispeculare</i>	1
<i>Heterodontus francisci</i>	3
<i>Heterodontus japonicus</i>	1
<i>Heterodontus portusJacksonii</i>	2
<i>Heterodontus zebra</i>	1
<i>Mustelus asterias</i>	2
<i>Mustelus mustelus</i>	1
<i>Mustelus mosis</i>	1
<i>Mustelus californicus</i>	1
<i>Nebrius ferrugineus</i>	1
<i>Negaprion acutidens</i>	1
<i>Negaprion brevirostris</i>	2
<i>Orectolobus hutchinsi</i>	2
<i>Orectolobus maculatus</i>	1
<i>Poroderma africanum</i>	1
<i>Pseudoginglymostoma brevicaudatum</i>	2
<i>Scyliorhinus canicula</i>	3
<i>Scyliorhinus stellaris</i>	2
<i>Sphyrna lewini</i>	2

Espèces	Nombre d'aquarium ayant déjà présenté l'espèce (sur n=11 aquariums)
<i>Sphyrna tiburo</i>	1
<b><i>Stegostoma fasciatum</i></b>	<b>7</b>
<i>Triaenodon obesus</i>	5
<i>Triakis megalopterus</i>	1
<i>Triakis scyllium</i>	1
<i>Triakis semifasciata</i>	2

### b) Approvisionnement et le contrôle des bassins

L'origine de l'eau était différente en fonction des structures, au total, 7 aquariums étaient fournis en eau de mer, 2 étaient achalandés en eau «synthétique», et 2 autres aquariums étaient approvisionnés par de l'eau de mer couplée à de l'eau «synthétique».

Différents types de filtration ont été enregistrés : 2 aquariums présentaient des systèmes de filtration mécanique uniquement, tandis que 8 aquariums présentaient des systèmes de filtrations mécaniques combinés à des systèmes de filtration biologique. Un aquarium disposait des trois types de filtration : chimique, biologique et mécanique.

Divers systèmes de «stérilisation» de l'eau ont également été rapportés :

- UV seuls (n=5),
- Ozone seul (n=2) dont un aquarium mentionnant son utilisation seulement lors de pathologie suspectée,
- Système UV et écumeur (n= 2),
- Système UV, ozone et écumeur (n=1),
- Aucun système (n=1).

Les différents paramètres surveillés dans les bassins hébergeant des requins sont présentés dans le tableau suivant (Tableau 8).

**Tableau 8 : Récapitulatif des différents paramètres environnementaux mesurés dans onze aquariums et leur fréquence de mesure.**

Paramètres surveillés	Nombre d'aquariums surveillant ce paramètre (n=11)	Fréquence	Nombre d'aquarium concernés (n=11)
Température	11	Journalier	7
		Hebdomadaire	2
		Mensuel	0
		Autre	3 fois/semaine : 2 aquariums
Salinité	11	Journalier	4
		Hebdomadaire	5
		Mensuel	0
		Autre	2 fois/semaine
pH	9	Journalier	3
		Hebdomadaire	2
		Mensuel	2
		Autre	Bi-hebdomadaire : 1 aquarium
		Occasionnellement	1
Niveau d'eau	7	Journalier	7
		Hebdomadaire	0
		Mensuel	0
		Autre	0
Potentiel d'oxydo-réduction	2	Journalier	2
		Hebdomadaire	0
		Mensuel	0
		Non renseigné	0
Taux d'oxygène	7	Journalier	3
		Hebdomadaire	2
		2x/semaine	1
		Autre	Toutes les 2 à 3 semaines : 1 aquarium
Autres dosages ioniques : phosphates, potassium, magnésium, calcium, manganèse	3	Journalier	0
		Hebdomadaire	2
		Mensuel	0
		Autre	Toutes les 2 semaines : 1 aquarium
Taux de nitrate	9	Journalier	0
		Hebdomadaire	5
		Mensuel	2
		Autre	Tous les 2 mois : 1 aquarium
		Occasionnellement	1
Taux de nitrite	8	Journalier	0
		Hebdomadaire	5
		Mensuel	2
		Occasionnellement	1

Paramètres surveillés	Nombre d'aquariums surveillant ce paramètre (n=11)	Fréquence	Nombre d'aquarium concernés (n=11)
Taux d'ammoniaque	7	Journalier	0
		Hebdomadaire	4
		Mensuel	1
		Occasionnellement	2
lode	3	Occasionnellement	Rarement : 2 aquariums Mensuel : 1 aquarium

### 3. Critères de surveillance et prise en charge lors de pathologie suspectée (deuxième partie du questionnaire)

Sur les 11 aquariums interrogés, n=7 aquariums ont répondu pratiquer du conditionnement opérant ou « *training* » avec leurs requins. Il est utilisé dans deux objectifs :

– lors du nourrissage, souvent à la perche, afin de pouvoir quantifier la prise alimentaire des différents individus et afin de détecter précocement les signes d’anorexie chez un animal. Les sept aquariums pratiquant du *training* l'utilisaient dans ce contexte. Les espèces les plus citées comme bénéficiaires de ce *training* étaient : *Ginglymostoma cirratum*, *Stegostoma fasciatum*, *Carcharhinus plumbeus*, *Carcharhinus melanopterus*, et *Nebrius ferrugineus*.

– pour pouvoir préparer les animaux aux soins vétérinaires et aux manipulations. Seuls trois aquariums ont mentionné cette pratique permettant de préparer les animaux aux soins, et aux manipulations de type transport en civière, isolement en bassin de soin, positionnement en décubitus dorsal pour la simulation d’une prise de sang...

Trois aquariums pratiquant le *training* dans l’objectif de soins ont également évoqué son intérêt dans :

- l’inspection des animaux pour un examen rapproché de l’ensemble de l’animal en cas de morsure, blessure, et lors d’inspection des branchies...
- le bien-être des animaux et leur rapport à l’Homme afin de diminuer au maximum le stress de l’animal en cas d’intervention de l’Homme,
- la sensibilisation du public à la cause des requins.

Concernant les différents points de surveillance des requins en aquarium, le tableau récapitulatif suivant (Tableau 9) permet de connaître ces différents critères d’alerte utilisés en aquarium afin d’appréhender et anticiper au mieux une quelconque anomalie.

**Tableau 9 : Récapitulatif des différents critères de surveillance des requins en aquarium et leur fréquence de mesure.**

Critères surveillés systématiquement	Nombre d'aquariums surveillant ce critère (sur n=11)	Fréquence	Nombre d'aquarium concernés (n=11)
Le comportement général	11	1 fois/jour <b>au minimum</b>	11
La fréquence respiratoire	8	Comptage 1 fois par jour <b>au minimum</b>	4
		Observation seule sans comptage de fréquence de manière occasionnelle	1
		Comptage occasionnel : fréquence de ces observations non définie	2
		Comptage occasionnel et lors d'anomalie observée	1
Le comportement alimentaire	11	Lors de tous les nourrissages	11
L'état d'embonpoint et notation par une NEC (Note d'Etat Corporelle)	10	1 fois/mois	1
		1 fois/jour	9
Autres	Précisé ci-dessous		

La ligne «Autres» a permis de mettre en lumière d'autres points de vigilance soulignés par les aquariums. Nombre d'entre eux n=10 ont mentionné leur attention particulière à la prise alimentaire des requins en précisant que l'absence de prise alimentaire est un point crucial à ne pas manquer. Un aquarium mentionne que malgré une anorexie constatée, seule la NEC (Note d'État Corporel) leur permet de souligner la «gravité» de cette anorexie. Dans ce cadre, la NEC ne doit pas descendre en dessous de 3. Un autre aquarium mentionne également que le refus de plus de trois repas successifs est, pour eux, un critère d'alerte chez les requins.

Les autres grands critères d'alertes observés et rappelés par les aquariums étaient : les anomalies de la nage (n=5), l'observation d'anomalies externes de type morsure ou blessure (n=5), le changement de coloration de l'animal (n=4), l'isolement d'un animal (n=3), les modifications des comportements intra- et inter- spécifiques (n=2).

En cas d'anomalie constatée, 10 aquariums ont mentionné la réalisation d'un examen rapproché de l'animal. Pour se faire :

- 8 aquariums rapportaient prendre des photos et des vidéos afin de pouvoir les envoyer à leur vétérinaire.
- 7 aquariums rapportaient isoler l'animal, si cela est possible, afin de le mettre en zone de quarantaine avant la venue du vétérinaire.
- 1 aquarium utilisait le *training* médical pour pouvoir observer l'animal de manière rapprochée.
- 1 aquarium rapportait éviter au maximum l'isolement d'un animal malade.

Il n'a pas été déterminé de chiffre précis d'aquarium appelant systématiquement leur vétérinaire à l'observation d'une pathologie. Trois aquariums rapportent la réalisation de traitements par l'équipe technique avant l'appel du vétérinaire.

Concernant les vétérinaires, interlocuteurs et intervenants, dans ces différentes structures, sur n=11 aquariums :

- 1 aquarium présentait un vétérinaire salarié dans la structure,
- 5 aquariums présentaient un vétérinaire aquacole ou spécialisé,
- 4 aquariums présentaient un vétérinaire non spécialisé,
- 1 aquarium faisait appel à un vétérinaire spécialisé et à un vétérinaire non spécialiste.

#### 4. Alimentation, les pathologies, les causes de mortalité, et les examens complémentaires réalisés dans les différents aquariums (troisième partie du questionnaire)

##### a) Alimentation

Les différentes informations collectées sur l'alimentation étaient particulièrement hétérogènes du fait du manque de nombreuses réponses. Les différents intrants donnés aux animaux étaient tous congelés et décongelés sur place avant emplois.

Le tableau suivant (Tableau 10), tente de résumer l'ensemble des données collectées, il regroupe pour toutes les espèces confondues les taux de rationnement donnés, les fréquences des nourrissages, la nature et la fréquence de distribution des différents compléments alimentaires fournis aux animaux.

**Tableau 10 : Tableau récapitulatif des différentes données recueillies concernant les taux de rationnement, la fréquence des nourrissages, les compléments vitamines alimentaires des différentes espèces de requins dans les aquariums français.**

Espèce(s) concernée(s)	Taux de rationnement	Aquariums concernés (n=11)	Fréquence des nourrissages	Aquariums concernés (n=11)	Vitamines et autres compléments alimentaires	Aquariums concernés (n=11)	Fréquence d'apport vitaminique tout confondus	Aquariums concernés (n= 10)
Toutes espèces confondues	Non renseigné 2 aquariums sans taux précis : la distribution varie en fonction de la demande	n=7	Non renseignée	n= 0	Non renseignés	n=1	Non renseignée	n=2
	2 fois/semaine		n= 2	Vitamines apportées mais marque(s) non rapportée(s)	n=4	1 fois/semaine	n=4	
	Taux variable suivant les espèces	n=2	2 à 3 repas/semaine	n=1	Akwavit Shark®			n=4
	8 à 10 % PV/semaine	n=1	3 fois/semaine	n=2	NutraZu® Vita-Zu® Shark/Ray II Tablet®	n=1	2 fois/semaine	n=3
			3 à 4 fois/semaine	n=1	Vitashark®	n=1		
1 % PV/semaine	n=1	Variable suivant l'espèce	n=5	Autres : -Vitamine C -PetPhos Ca/P -Spiruline -Ail 1 fois/semaine ou 1 fois par mois	n=5 n=1 n=1 n=2	2 fois/mois	n=1	

Concernant le taux de rationnement utilisé, 7 aquariums n'ont renseigné aucun taux spécifique, deux d'entre eux ont rapporté ne pas avoir de taux précis et que la quantité ingérée était adaptée en fonction de l'appétit de l'animal. Les autres structures rapportaient des taux relativement différents en fonction des espèces. Il en était de même concernant les fréquences de nourrissage, relativement différentes en fonction des structures. Le questionnaire a également permis de connaître quels compléments alimentaires étaient donnés aux animaux et à quelle fréquence.

Le tableau ci-dessous (Tableau 11) permet de synthétiser les taux de rationnement et les fréquences des nourrissages pour les espèces les plus fréquemment rencontrées, lorsque les données étaient fournies.

**Tableau 11 : Tableau récapitulatif des taux de rationnement et des fréquences des nourrissages chez les espèces les plus fréquemment rencontrées dans les aquariums français.**

Espèce(s) concernée(s)	Taux de rationnement	Aquariums concernés (n)	Fréquence des nourrissages	Aquariums concernés (n)
<i>Carcharhinus melanopterus</i>	2 à 3 % PV/semaine	n=1	2 fois/semaine	n=3
	4 % PV/semaine	n=1	2 à 3 fois/semaine	n=1
	8 à 10 % PV/semaine	n=1	3 fois/semaine	n=1
<i>Carcharhinus plumbeus</i>	2 à 3 % PV/semaine	n=1	2 fois/semaine	n=1
	4% PV/semaine	n=1	3 fois/semaine	n=2
<i>Carcharias taurus</i>	1 % PV/semaine	n=1	2 fois/semaine	n=2
	2 à 3 % PV/semaine	n=1		
	8 à 10 % PV/semaine	n=1	2 à 3 fois/semaine	n=1
<i>Ginglymostoma cirratum</i>	1 % PV/semaine	n=2	2 fois/semaine	n=4
	2 à 3 % PV/semaine	n=1		
	8 à 10 % PV/semaine	n=1	3 fois/semaines	n=2
<i>Stegostoma fasciatum</i>	1 % PV/semaine	n=1	2 à 3 fois/semaine	n=2
			3 fois/semaine	n=3
	5 % PV/semaine	n=1	5 fois/semaine	n=1
	8-10 % PV/semaine	n=1	1 fois/jour	n=1

## b) Les principales pathologies et les grandes causes de mortalité

Onze aquariums ont répondu à cette partie. Les résultats obtenus ont été rapportés entre 1998 (cas rapportés les plus anciens) et 2021.

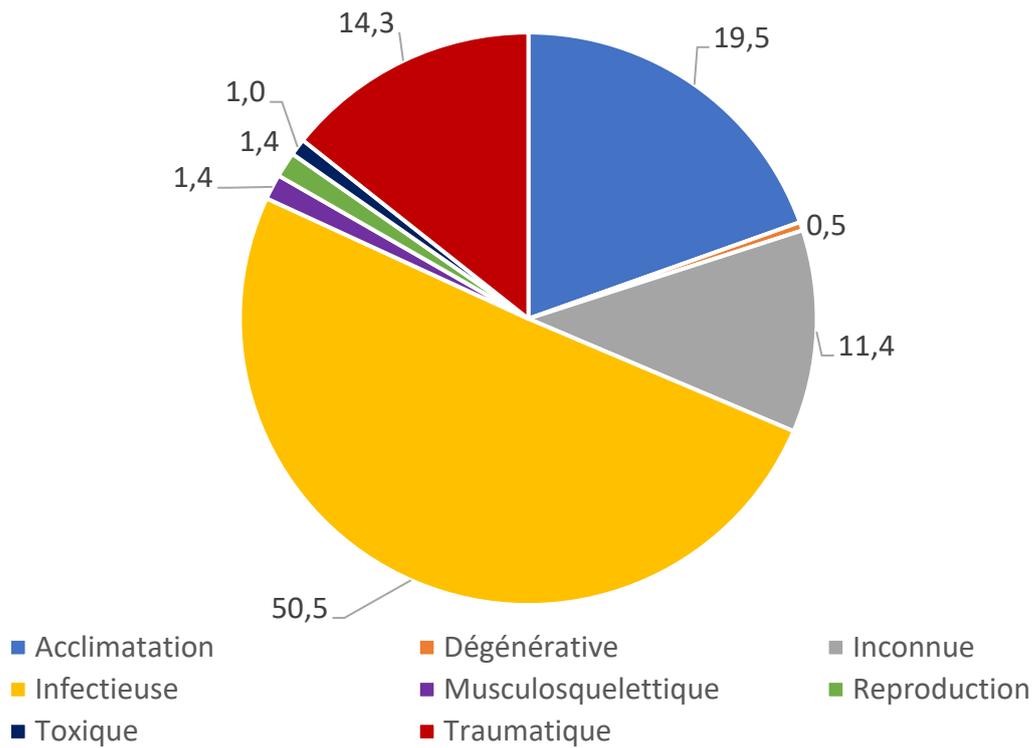
Au total, 184 requins ayant présenté une ou plusieurs pathologies (dont 96 décès connus) ont été rapportés.

Les différentes pathologies rencontrées ont été ordonnées suivant le classement proposé ci-dessus.

### (1) Les pathologies recensées

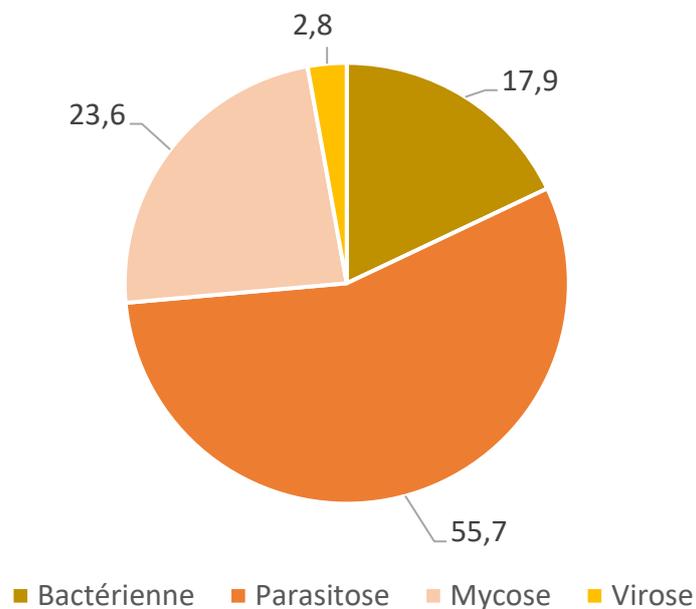
Les différentes pathologies rapportées sur 184 requins sont présentées dans la figure 24.

Ainsi, sur les 184 requins étudiés, 210 cas de pathologie ont été répertoriés avec, 106 animaux qui présentaient une maladie infectieuse (50,6 %), 41 animaux qui présentaient une maladie due à l'acclimatation (19,5 %), 24 animaux qui présentaient une maladie d'origine inconnue (11,4 %), 30 qui présentaient des traumatismes (14,3 %), 3 qui présentaient une affection musculosquelettique (1,4 %), 3 qui présentaient des maladies de la reproduction (1,4 %), 2 qui présentaient une maladie d'origine toxique (1,0 %), et 1 animal qui souffrait d'une maladie dégénérative (0,5 %).



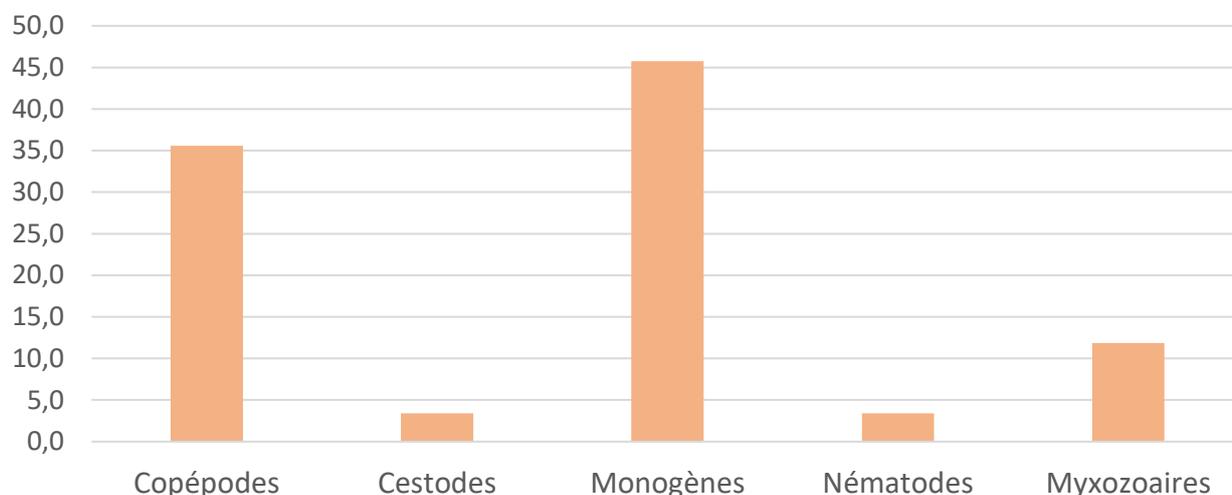
**Figure 24 : Diagramme circulaire des différentes pathologies les plus communément rencontrées dans les aquariums français.**

La figure 25 présente les cas de maladie infectieuse (n=106), 59 individus présentaient une maladie parasitaire soit 55,7 %, 25 requins présentaient une maladie fongique (23,6 %), 19 animaux présentaient une affection bactérienne soit 17,9 % (dont 18 cas de septicémie), et 3 individus présentaient une virose soit 2,8 %.



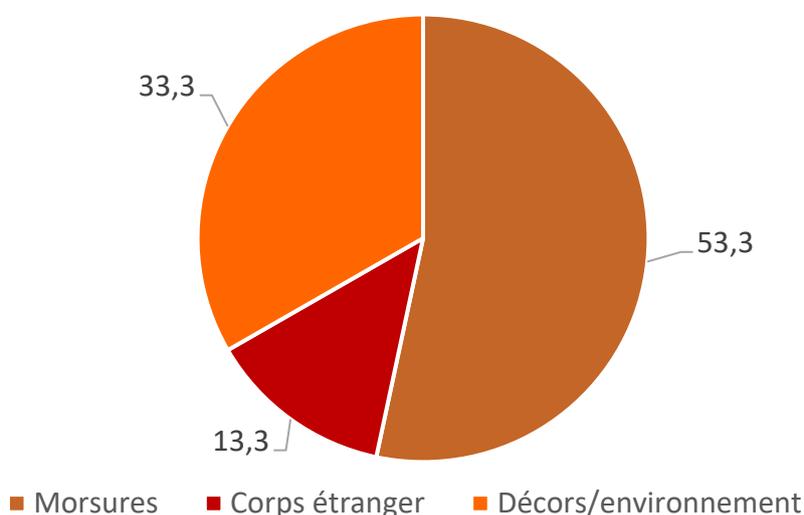
**Figure 25 : Diagramme circulaire des différentes maladies infectieuses les plus fréquemment rencontrées dans les aquariums français.**

Les parasitoses déterminées (n=59) sont présentées dans l'histogramme suivant (Figure 26), des atteintes par des trématodes monogènes ont été décrites pour 27 individus soit 45,8 %, des copépodes ont été décrits chez 21 requins soit pour 35,6 %, des myxozoaires ont été rapportés chez 7 individus soit 11,9 %, des cestodes ont été décrits chez 2 individus, *idem* pour les nématodes, soit respectivement 3,4 %.



**Figure 26 : Histogramme des différentes parasitoses les plus fréquemment rencontrées dans les aquariums français.**

La figure suivante (Figure 27) présente les causes traumatiques (n=30), 16 requins présentaient des morsures soit 53,3 % (dont 3 suite à des dévaginations), 10 requins présentaient des traumatismes dus au décor soit 33,3 %, et 4 requins présentaient des corps étrangers soit pour 13,3 %.



**Figure 27 : Diagramme circulaire des différentes causes traumatiques rencontrées dans les aquariums français.**

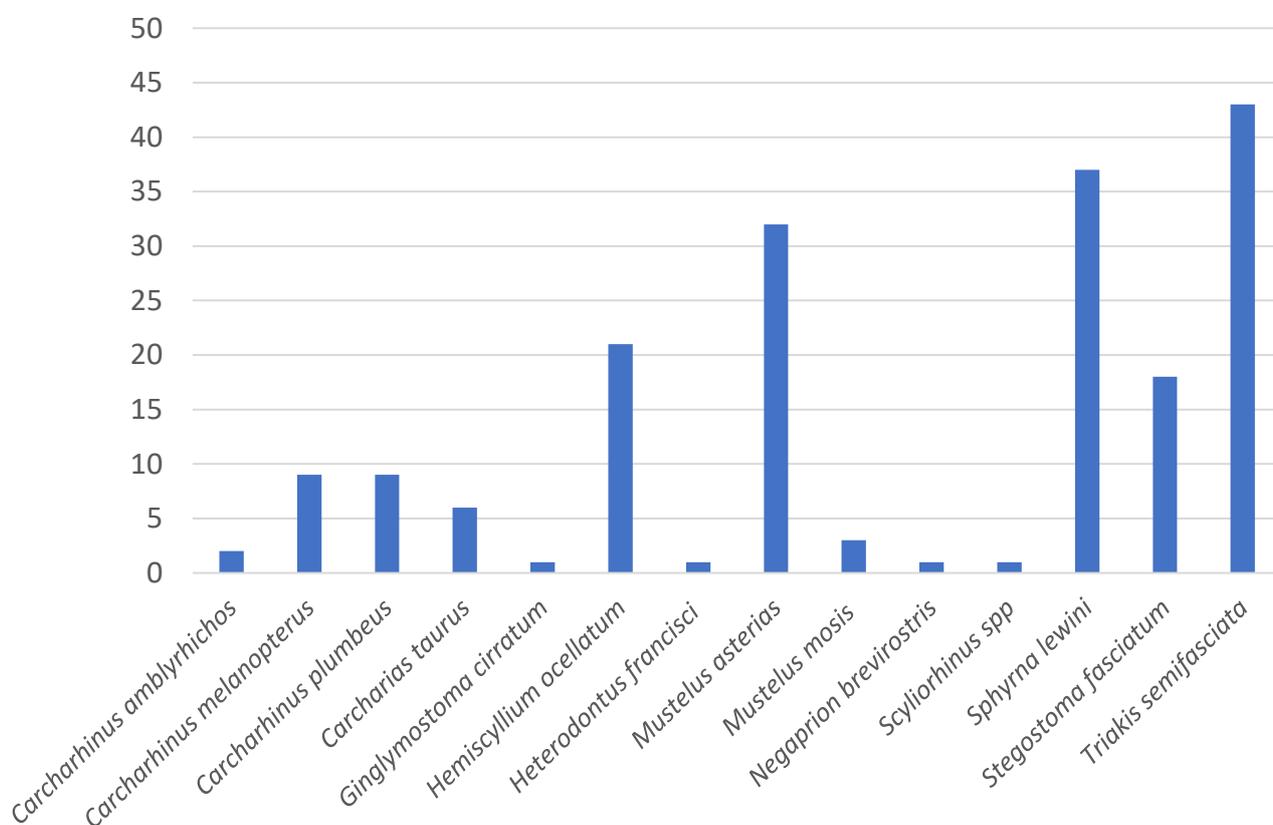
Sur ces 210 cas répertoriés, **une guérison ou une évolution stable** a été signalée pour certains animaux. Parmi ces derniers :

- 3 présentaient une maladie d'origine inconnue (caractérisées respectivement par : une anorexie et une hyperventilation possiblement expliquée par des causes environnementales notamment des fuites électriques, des signes neurologiques, et une anorexie associée à un abattement et une hyperventilation).

- 46 animaux présentait une maladie infectieuse avec, pour 21 d'entre eux, une parasitose due à des copépodes (guérison de 100 % des animaux atteints), pour 21 autres individus, une parasitose due à des monogènes, pour 3 individus une virose a été observée avec une évolution stable dans le temps, et un cas de septicémie chez un requin de l'espèce *Carcharhinus plumbeus*.
- 9 animaux présentaient des traumatismes, dont 5 dus à des morsures et 3 dus au décor et à l'environnement et ayant eu uniquement les conséquences suivantes : un cas de rupture ligamentaire localisé à la mâchoire, un cas de modification de l'angle de la nage, et un troisième cas d'inflammation oculaire résolue médicalement. Un cas de corps étranger (hameçon) a été rapporté sur un requin de l'espèce *Carcharhinus plumbeus*. Après une opération pour retirer le corps étranger, l'animal a pu vivre pendant les 8 années suivantes.

## (2) Les pathologies par espèce de requin

Les 184 requins participants à l'étude étaient représentés par **14 espèces différentes** dont la répartition a été modélisée ci-dessous (Figure 28).



**Figure 28 : Histogramme représentant les différentes espèces recensées et selon chaque espèce, le nombre d'individus malades.**

Le détail des différentes pathologies rencontrées par espèce a été résumé en tableau 12.

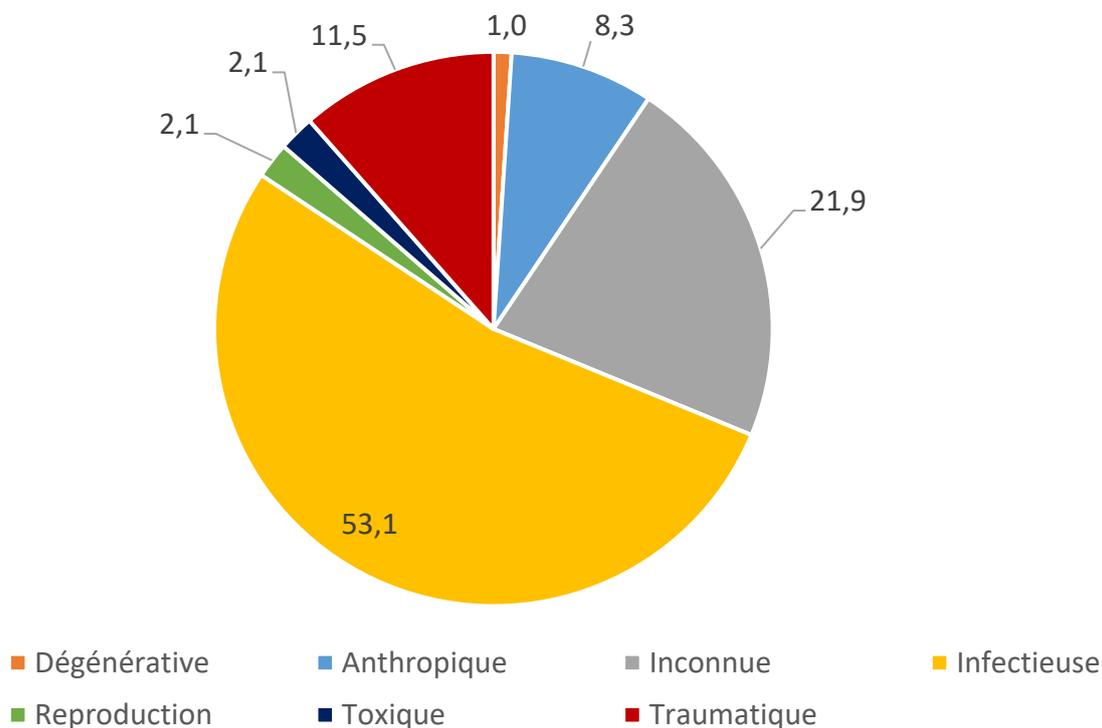
**Tableau 12 : Tableau récapitulatif des différentes grandes pathologies par espèce rencontrées dans les aquariums français.**

Espèces	Nombre de cas rapportés	Pathologies Grandes catégories	Nombre de cas Grandes catégories	Pathologies Sous catégories	Nombre de cas Sous catégories
<i>Carcharhinus amblyrhichos</i>	2	Inconnue	1		1
		Traumatique	1	Décors/environnement	1
<i>Carcharhinus melanopterus</i>	9	Inconnue	2		2
		Infectieux	1	Bactérien : septicémie suite à une morsure sur dévagination	1
		Traumatique	7	Décors/environnement Morsure(s) Morsure(s) sur dévagination	2 2 3
<i>Carcharhinus plumbeus</i>	9	Dégénératif	1	Insuffisance rénale et hépatique	1
		Inconnue	5		5
		Infectieux	5	Bactérien : septicémie Parasitose : cestode Parasitose : myxozoaire Virose	1 1 2 1
		Traumatique	1	Ingestion d'un corps étranger	1
<i>Carcharias taurus</i>	6	Affection musculosquelettique	3		3
		Infectieux	3	Bactérien : septicémie Virose	1 2
		Traumatique	1	Ingestion d'un corps étranger	1
<i>Ginglymostoma cirratum</i>	1	Inconnue	1		1
<i>Hemiscyllium ocellatum</i>	21	Acclimatation	20		20
		Reproduction	1	Occlusion par les œufs	1
<i>Heterodontus francisci</i>	1	Reproduction	1	Lésion ovarienne	
<i>Mustelus asterias</i>	32	Acclimatation	20		
		Inconnue	1		
		Infectieux	11	Bactérien Parasitose : monogènes	1 10

Espèces	Nombre de cas rapportés	Pathologies Grandes catégories	Nombre de cas Grandes catégories	Pathologies Sous catégories	Nombre de cas Sous catégories
<i>Mustelus mosis</i>	3	Acclimatation	1		1
		Infectieux	2	Parasitaire : monogène	2
<i>Negaprion brevirostris</i>	1	Inconnue	1		1
<i>Scyliorhinus spp</i>	1	Infectieux	1	Parasitaire : nématode	1
<i>Sphyrna lewini</i>	37	Inconnue	5		
		Infectieux	36	Bactérien : septicémie (2 suite à une ou plusieurs morsures et 1 suite à une blessure) Fongique : <i>Fusarium solani</i> Myxozoaire	6 25 5
		Traumatique	10	Décors/environnement Morsure(s)	7 3
<i>Stegostoma fasciatum</i>	18	Inconnue	6		
		Infectieux	6	Bactérien : septicémie Parasitaire : cestode Parasitaire : nématode	4 1 1
		Reproduction	1	Pyomètre (associé à une septicémie)	1
		Toxique	2	Eau oxygénée	2
		Traumatique	5	Corps étranger (1 cas d'occlusion intestinale et 1 cas d'ingestion d'un hameçon) Morsure(s)	2 3
<i>Triakis semifasciata</i>	43	Inconnue	2		
		Infectieux	41	Bactérien : septicémie (suite à une ou plusieurs morsures) Parasitose : copépodes Parasitose : monogène	5 21 15
		Traumatique	5	Morsures	5

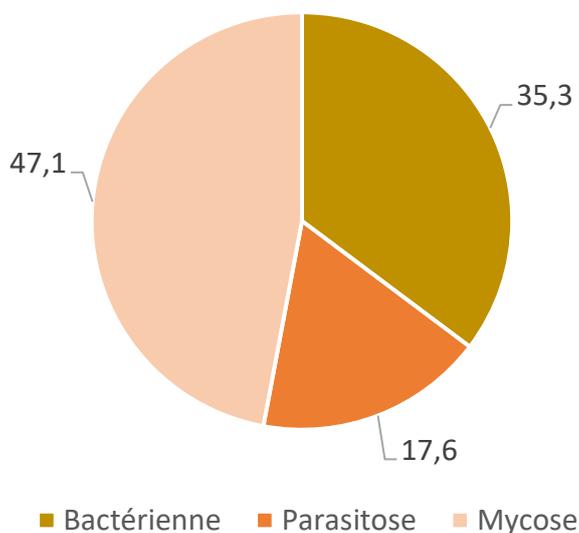
### (3) Les causes de mortalité

Un total de 96 cas d'animaux décédés a été rapporté lors de l'étude. Comme décrit dans le paragraphe en pages 105-105, les différentes causes de mortalité ont été classées en 7 grandes catégories. La figure suivante (Figure 29) permet de visualiser ces différentes causes de mortalité.



**Figure 29 : Diagramme circulaire des différentes causes de mortalité les plus communément rencontrées dans les aquariums français.**

Au total, 51 animaux sont décédés de causes infectieuses (53,1 %), 21 animaux sont décédés de causes inconnues (21,9 %), 11 animaux sont décédés suite à des traumatismes (11,5 %), 8 animaux sont décédés de causes anthropiques (8,3 %), 2 animaux sont décédés de pathologie de la reproduction (2,1 %), 2 animaux sont décédés de cause toxique (2,1 %), et 1 animal est décédé d'une maladie dégénérative (1 %).



**Figure 30 : Diagramme circulaire des causes de mortalité infectieuses dans les aquariums français.**

Parmi les causes infectieuses représentées en figure 30 :

-24 requins sont décédés de mycoses dues à *Fusarium solani* (47,1 %),

-18 requins sont décédés de causes bactériennes (35,3 %), parmi ces individus, 17 sont décédés de septicémies dont 7 suite à une ou plusieurs morsure(s), 4 suite à une blessure, et 6 d'origine non déterminée. Un cas de pyomètre a également été conjointement observé dans un cas de septicémie.

Un cas de mortalité a été imputé à une bactériose ayant engendrée une lésion rénale avec un rein présentant un contenu purulent.

Dans ces 17 cas de septicémie, les principaux signes cliniques rapportés étaient : de l'anorexie et de l'amaigrissement (n=5), de l'anémie (n=8), de la polypnée (n=2).

Les principales lésions macroscopiques d'autopsie rapportées étaient : des pétéchies et ulcères cutanés (n=7), des pétéchies et des lésions ulcératives localisées à différents organes (n=5), des branchites (n=2), une gastrite (n=2), une splénite aiguë (n=2), une lésion rénale avec une nécrose tubulaire (n=1), une endocardite (n=1), une ascite (n=1), un pyomètre (n=1).

-9 animaux sont décédés de causes parasitaires (17,6 %). Parmi ces dernières, les différentes causes suivantes ont été retrouvées : des monogènes (n=6), des nématodes (n=1), des cestodes (n=1), des nématodes et des cestodes (n=1).

Parmi les causes inconnues, les différentes lésions ou syndromes suivants ont été rapportés : une affection de l'oreille interne (n=1), une pancréatite (n=1), une anémie (n=2), une péritonite (n=1), la présence de kystes hydatiques sur différents organes (n=1), des signes neurologiques sans lésion significative à l'autopsie (n=2).

Parmi les causes traumatiques, 4 individus sont décédés suite à de la prédation, 3 requins sont morts suite à des morsures, dont 2 sur intestins dévaginés ayant conduit à une mort par hémorragie interne, 3 requins sont morts suite à l'ingestion de corps étrangers (un cas par ingestion de multiples cailloux avec des signes d'hémorragie interne associés, un cas d'occlusion intestinale suite à l'ingestion de becs de calamar, un cas d'ingestion d'un hameçon sur un requin issu du milieu naturel). Enfin, un seul cas a été rapporté d'un requin décédé par traumatisme avec le décor et environnement de son bassin.

Sur les huit animaux morts de causes anthropiques, 4 sont décédés pour des raisons d'éthique par euthanasie dont : 3 requins de l'espèce *Carcharias taurus* présentant une déformation de la colonne vertébrale à l'origine de difficulté de la nage, 3 sont morts suite à des manipulations telles que des anesthésies (n=2) et au gavage (n=1), 1 cas de décès est rapporté lors de l'acclimatation.

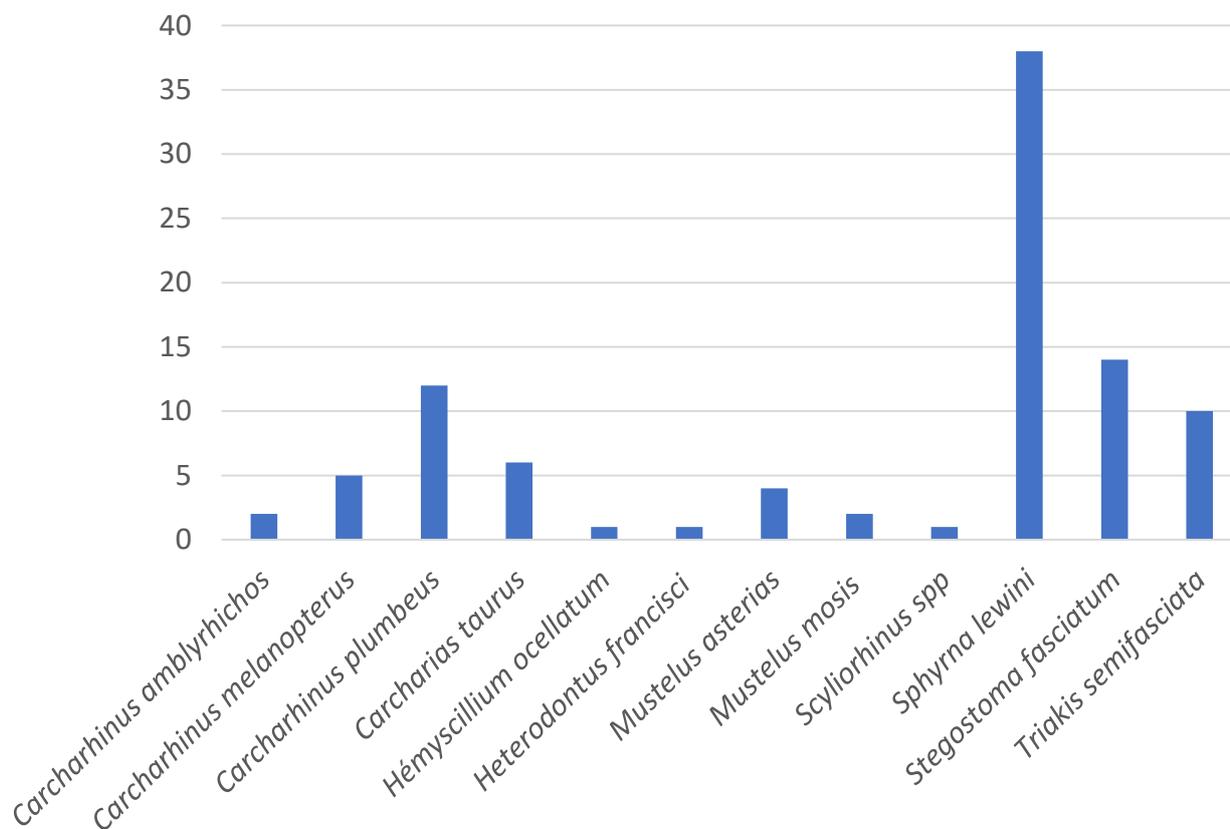
Seuls deux décès ont été placés dans la catégorie « mort par pathologie de la reproduction », il s'agit d'un requin mort par occlusion d'œufs et un autre ayant présenté à l'autopsie des lésions ovariennes seules.

Deux individus sont décédés de toxicose lors d'un traitement préventif des parasitoses à l'eau oxygénée.

Enfin, un individu seulement est décédé d'une maladie dégénérative caractérisée par une insuffisance hépatique et rénale. L'animal provenait du milieu naturel et avait été opéré pour retrait d'un hameçon huit ans auparavant.

#### (4) Les causes de mortalité par espèce

Les 96 cas rapportés étaient représentés par **12 espèces différentes** dont la répartition est présentée ci-dessous (Figure 31).



**Figure 31 : Histogramme représentant les différentes espèces recensées et selon chaque espèce, le nombre d'individus décédés.**

Afin de savoir si certaines causes de mortalité sont plus fréquemment rencontrées chez certaines espèces, l'analyse s'est ici focalisée sur les causes de mortalité des différentes espèces rapportées. Le tableau ci-dessous rapporte les résultats obtenus (Tableau 13).

**Tableau 13 : Tableau récapitulatif des différentes causes de mortalité par espèce rencontrées dans les aquariums français.**

Espèces	Nombre de cas rapportés	Causes de mortalité Grandes catégories	Nombre de cas Grandes catégories	Causes de mortalité Sous catégories	Nombre de cas Sous catégories
<i>Carcharhinus amblyrhichos</i>	2	Anthropique	1	Manipulation et gavage	1
		Inconnue	1	Suspicion de parasitose Kystes hydatiques	1
<i>Carcharhinus melanopterus</i>	5	Inconnue	2	Suspicion de causes environnementales Anthropiques : fuites électriques...	1
		Infectieux	1	Bactérien : septicémie Suite d'une morsure sur dévagination	1
		Traumatique	2	Morsure suite à une dévagination (hémorragie)	2
<i>Carcharhinus plumbeus</i>	12	Dégénérative	1	Insuffisance rénale et hépatique	1
		Anthropique	2	Euthanasie Manipulation avec anesthésie	1 1
		Inconnue	5	Affection de l'oreille interne	1
		Infectieux	1	Parasitose : cestode	1
		Traumatique	3	Prédation	3
<i>Carcharias taurus</i>	6	Anthropique	4	Euthanasie suite à la déformation de la colonne vertébrale Manipulation avec anesthésie	3 1
		Infectieux	1	Bactérien : septicémie	1
		Traumatique	1	Ingestion de corps étranger	1
<i>Hémiscyllium ocellatum</i>	1	Reproduction	1	Occlusion par des œufs	1
<i>Heterodontus francisci</i>	1	Reproduction	1	Lésions ovariennes seules à l'autopsie	1
<i>Mustelus asterias</i>	4	Infectieux	3	Parasitose : monogène Bactérien : rein avec contenu purulent	2 1
		Inconnue	1	Anémie	
<i>Mustelus mosis</i>	2	Anthropique	1	Acclimatation	1
		Infectieux	1	Parasitose : monogène	1
<i>Scyliorhinus spp</i>	1	Infectieux	1	Parasitose : nématodes	1

Espèces	Nombre de cas rapportés	Causes de mortalité Grandes catégories	Nombre de cas Grandes catégories	Causes de mortalité Sous catégories	Nombre de cas Sous catégories
<i>Sphyrna lewini</i>	38	Inconnue	5		
		Infectieux	30	Bactérien : septicémie Mycose	6 24
		Traumatique	3	Décors/environnement Prédation Morsure et décors	1 1 1
<i>Stegostoma fasciatum</i>	14	Inconnue	5	Signes cliniques : signes neurologiques Lésion de pancréatite	2 1
		Infectieux	5	Bactérien : septicémie Parasitaire : nématodes et cestodes	4 1
		Toxicose	2	Eau oxygénée	2
		Traumatique	2	Ingestion de corps étranger : hameçon sur un individu provenant du milieu naturel et occlusion intestinale due aux becs de calamar	2
<i>Triakis semifasciata</i>	10	Inconnue	2	Un cas avec de l'anémie et l'autre avec des signes d'inflammation non spécifiques comme une péritonite	2
		Infectieux	8	Bactérien : septicémie (suite morsure) Parasitose : monogènes	5 3

### c) Les différents examens complémentaires

Sur les 10 aquariums ayant répondu à ces questions, 3 aquariums ne rapportaient effectuer aucun examen complémentaire ou autopsie. Trois rapportaient réaliser eux-mêmes leur prise de sang, 2 rapportaient faire eux-mêmes leurs frottis sanguins et leur hématoците, 3 réalisaient régulièrement des prélèvements (cutanés ou sur organes) dans l'objectif d'effectuer des cultures bactériennes, 1 aquarium rapportait faire des antibiogrammes et 7 aquariums relaient faire les autopsies si nécessaire.

Seul 1 aquarium rapportait réaliser des prises de sang régulières chez certaines espèces dans le but d'établir une base de données, un autre aquarium rapportait également faire des suivis par prise de sang de manière occasionnelle sur leurs requins.

Concernant les 96 cas de requins décédés :

- 72 requins ont bénéficié d'une autopsie seule,
- 2 requins ont bénéficié d'autopsie accompagnée d'analyses histologiques,
- 1 requin a bénéficié d'autopsie et d'analyses bactériologiques sur différents organes,
- 7 requins ont bénéficié d'autopsie et d'analyses bactériologiques sur différents organes et analyses histologiques,
- 14 requins n'ont bénéficié d'aucun examen *post-mortem*.

## D. Discussion

### 1. Limites de l'analyse et de l'interprétation des questionnaires

L'analyse des différentes parties du questionnaire s'est révélée complexe, certains aquariums ayant répondu à toutes les parties proposées, d'autres ayant répondu de manière partielle aux différentes parties. Certaines questions n'ont pas été « correctement » répondues par manque de lecture de la question et certainement par manque de temps. Certaines espèces très communes telles que la petite roussette (*Scyliorhinus canicula*) n'apparaît pas dans les espèces les plus communément présentées dans les aquariums français. Selon les données internationales de recensement des élastomobranches captifs de 2008 établi par l'AES (American Elasmobranch Society), cette espèce figurait pourtant parmi les plus représentées en aquarium. Ainsi, dans cette étude, elles peuvent être considérées comme un « oubli » dans les différentes réponses au questionnaire (espèces présentées au public, alimentation, pathologies).

### 2. Discussion des objectifs et critiques des résultats

#### a) Fonctionnement des différentes infrastructures : approvisionnement et contrôle des bassins

À la vue des différents résultats obtenus, une grande diversité de fonctionnement des structures a été observée, tant par l'origine de l'eau qui ne provient pas toujours de la mer, que par les différents types de filtration et de stérilisation. Par ailleurs, certains aquariums présentaient des aménagements différents selon les bassins et suivant les années. Les systèmes de filtration mécanique associés à la filtration biologique restaient cependant le système le plus communément rencontré. Le système de « stérilisation » était quant à lui majoritairement constitué d'UV dans la plupart des aquariums.

Concernant les différents paramètres surveillés dans les bassins hébergeant des requins, une similarité de ces différents paramètres a pu être mise en évidence. Les paramètres tels que la température de l'eau, la salinité, le pH, le niveau d'eau, le taux d'oxygène, les taux de nitrate, nitrite, et ammoniacque faisaient partie des principaux paramètres surveillés. La fréquence de vérification était en revanche relativement hétérogène suivant les aquariums.

#### b) Critères de surveillance des requins et les premiers gestes de prise en charge d'un individu malade

Le « *training* » ou « conditionnement opérant » chez les requins était majoritairement utilisé lors des nourrissages. Peu de structure l'utilisait à des fins de préparation des animaux aux soins vétérinaires. La définition de ce type de *training* était également très différente suivant les structures. Pour les aquariums le mettant en pratique, il permettrait une meilleure préparation et gestion du stress de l'animal en vue d'examens vétérinaires.

Les différents critères de surveillance des requins à distance, en routine, étaient relativement homogènes dans les aquariums. Les points de vigilance suivants étaient les plus systématiques : le comportement général des individus (observé *a minima* 1 fois par jour pendant des durées très différentes suivant les structures), l'observation du comportement alimentaire des animaux lors des nourrissages, et l'observation de l'embonpoint des animaux. Le comptage des fréquences respiratoires était une pratique rarement mise en œuvre dans la plupart des aquariums.

Lors d'une suspicion de maladie, les premiers gestes de prise en charge étaient pour la plupart homogènes, à savoir que des photos et vidéos des animaux étaient prises en amont pour envoi aux vétérinaires. De même, l'isolement de l'individu atteint, lorsque cela était possible, était une pratique communément mise en œuvre. Un aquarium rapportait néanmoins une gestion relativement différente en évitant au maximum l'isolement de l'animal. Cette même structure appuyait

notamment la nécessité d'un comportement « non invasif » vis-à-vis des requins, ce qui s'appliquait, par exemple, par la limitation des plongées.

Un fait intéressant, soulevé par le questionnaire, était la diversité des vétérinaires intervenants dans les aquariums. Quatre d'entre eux ne faisaient pas intervenir de vétérinaire formé à l'aquaculture. À la vue des nombreuses spécificités des élasmobranches, il serait intéressant pour ces structures de bénéficier à terme, d'un vétérinaire spécialiste.

### c) Gestion de l'alimentation

L'ensemble des réponses collectées était très hétérogène comme le montrent les tableaux 10 et 11.

Cette hétérogénéité s'explique notamment par le manque de données disponibles dans la littérature. De ce fait, les informations collectées par les aquariums sont principalement issues d'ouvrages de référence (Smith *et al.* 2004 ; 2017), ou de différents échanges entre aquariums et autres professionnels comme les importateurs d'animaux. Les taux de rationnement étaient tout particulièrement hétérogènes. La fréquence de nourrissage étant principalement de 2 à 3 fois par semaine. Les compléments vitaminiques employés étaient également très différents d'un aquarium à l'autre, mais pour la plupart, spécifiques aux requins. La fréquence d'apport vitaminique était cependant homogène puisque la plupart des aquariums en apportaient dans l'alimentation 1 à 2 fois par semaine. Certains aquariums fournissaient également aux requins divers « compléments alimentaires » comme le Pet-Phos Ca/P®, la spiruline ou encore l'ail.

### d) Inventaire des grandes pathologies et des causes de mortalité rencontrées chez les requins dans les aquariums français

#### (1) Comparaison des matériels et méthodes avec les études de la littérature

Seules deux études rétrospectives sont aujourd'hui disponibles sur les pathologies des élasmobranches en aquariums (Garner 2013 ; Smith *et al.* 2017). Ces études s'efforcent de classer, par grandes catégories, sur un certain nombre d'élasmobranches, un nombre défini de diagnostics pathologiques. À la différence de la présente étude, les deux publications de référence (Garner 2013 ; Smith *et al.* 2017) s'intéressaient à l'ensemble des élasmobranches et non aux requins spécifiquement. Aussi, elles ne différenciaient pas certains processus pathologiques (parfois non spécifiques) de la cause de la mort de l'individu. La présente étude a ainsi tenté de reproduire ce même protocole appliqué uniquement aux requins. Une analyse des causes de mortalité mettant en lumière l'étiologie la plus probable de la mort de l'animal a, par ailleurs, fait l'objet d'une étude indépendante faisant intervenir des catégories différentes.

Il est cependant difficile de comparer ces différentes études pour plusieurs raisons, notamment la divergence des matériels et méthodes.

En plus de la différence d'espèce cible, il convient de rappeler que les données de la présente étude issues des aquariums français n'ont pas toutes pu être fournies et vérifiées par le vétérinaire de la structure lui-même.

La multiplicité des opérateurs ne permet également pas une analyse homogène et standardisée. De même, tous les aquariums ne réalisent pas tous les mêmes types d'examens complémentaires : certains réalisent des examens microbiologiques, d'autres des examens histologiques, d'autres des autopsies seules. Ces différents examens ont ainsi été réalisés par différents opérateurs de professions différentes (employés de l'aquarium, vétérinaires spécialistes ou non, en aquaculture) et n'ayant pas tous la même expérience.

Dans les deux études comparatives de Garner 2013, et de Smith *et al.* 2017, les différents cas étaient étudiés par les mêmes pathologistes de la même structure ayant à disposition divers examens complémentaires tous standardisés.

Dans l'étude présentée ici, tous les individus recrutés n'ont pas systématiquement, à leur mort, bénéficié *a minima* d'une autopsie, aussi, les différents laboratoires d'histopathologie intervenants ne bénéficiaient pas, non plus, de la même expérience chez ces espèces.

Concernant les différentes catégories de « classement » des diagnostics pathologiques de cette étude, certaines catégories des études de référence (Garner 2013 ; Smith *et al.* 2017) ont été retirées. C'est le cas, par exemple, de la catégorie « pathologies nutritionnelles ». Cette catégorie était définie dans l'étude de Garner par tout état d'émaciation où les réserves lipidiques du foie étaient sous-optimales ou absentes. Étant donné le caractère non standardisé des différentes autopsies de cette étude, cette catégorie n'a pas été conservée. D'autres catégories ont été ajoutées, c'est le cas par exemple, de la catégorie de décès par « cause anthropique », qui permet d'intégrer les morts par euthanasie, suite à une anesthésie, ou suite à une manipulation. Il en est de même avec la catégorie « des pathologies ou des causes de mortalité liées à l'acclimatation ». La divergence de certains pourcentages s'explique ainsi par les choix des différentes catégories. Les deux études de référence (Garner 2013 ; Smith *et al.* 2017) présentent par ailleurs, des catégories et des sous-catégories légèrement divergentes. Par exemple, Garner 2013, a choisi d'inclure les mortalités dues au stress et maladaptation avec un état d'anorexie dans la catégorie « cause traumatique », ce qui a été placé en catégorie « nutritionnelle » de l'étude issue de l'ouvrage de Smith *et al.*

## (2) Comparaison des différents résultats : les cas pathologiques

La première étude comparative de Garner en 2013 est issue du laboratoire américain *Northwest ZooPath*. Elle a étudié les pathologies de 1 546 élastomobranches, de 60 espèces différentes et provenant de 67 structures différentes (parcs zoologiques, aquariums, centres de réhabilitation). Cette étude a répertorié les différents cas de 1994 à 2010 (Garner 2013).

Dans cette étude, les auteurs ont classé par ordre de fréquence les grandes pathologies suivantes : les maladies infectieuses/inflammatoires (33,5 %), les maladies nutritionnelles avec des animaux en état d'extrême maigreur (11,9 %), les traumatismes (11,3 %), les maladies cardiovasculaires (5,5 %), les toxicoses (3,7 %), les maladies dégénératives (2,9 %), les maladies avec des troubles de dépôt (2,7 %), les pathologies liées à la reproduction (2,4 %), les maladies métaboliques/endocriniennes (0,6 %), et les néoplasies (0,4 %). Dans 4,2 % des cas, le diagnostic pathologique était inconnu.

La seconde étude publiée dans l'ouvrage de Smith *et al.* rapporte les pathologies majoritairement rencontrées chez les élastomobranches provenant du Groupe « Merlin Entertainments Group's Sea Life » en Europe, entre mai 2003 et juin 2013 (Smith *et al.* 2017).

L'étude a été menée par le groupe « International Zoo Veterinary Group Pathology » et est alimentée par 632 rapports d'histopathologies de 632 élastomobranches, de 72 espèces différentes

Les auteurs ont, dans cette seconde étude, classé les fréquences des grandes pathologies suivantes par ordre décroissant : les maladies infectieuses/inflammatoires (41,0 %), les maladies nutritionnelles (32,6 %), les traumatismes (2,4 %), les possibles toxicoses (2,3 %), les maladies dégénératives (1,9 %), les maladies avec des troubles de dépôt (0,8 %), les causes environnementales ou de défaillance mécanique de l'installation (0,8 %), les néoplasies (0,5 %), les pathologies liées à la reproduction (0,4 %). Dans cette étude, dans 19,6 % des cas, le diagnostic pathologique est inconnu.

Dans ce même article (Smith *et al.* 2017), une cause nutritionnelle était classée comme telle, lorsqu'un défaut de graisse intrahépatique était mentionné. Il était parfois concomitant à d'autres anomalies indépendantes telles que la septicémie. Peu de problèmes nutritionnels stricts (carences ou qualité de l'alimentation) ont été mentionnés.

À la vue de la divergence des différentes catégories, il convient de s'intéresser en détail aux différents résultats de ces études. De la même manière que les deux publications de référence, les cas de pathologies infectieuses étaient prédominants dans notre étude. Les maladies inflammatoires n'étant, en revanche, pas étudiées.

Dans notre étude, la majorité des cas de pathologie infectieuse étaient représentée par les parasitoses. Ce résultat se rapproche de l'étude de l'ouvrage de Smith *et al.* 2017, où les parasitoses représentaient la première cause de maladie infectieuse (26,4% des cas). Ce résultat était néanmoins différent de celui de l'étude de Garner où les infections bactériennes étaient majoritaires.

Concernant ces parasitoses, dans notre étude, il ressort que la majorité des cas pathologiques était due aux trématodes monogéniques (45,8 %), puis aux copépodes (35,6 %), aux myxozoaires (11,9 %), aux cestodes et aux nématodes (3,4 % respectivement). Cet ordre de fréquence est relativement différent de celui des deux études de référence. La place prédominante des parasitoses dans notre étude peut suggérer une charge parasitaire globale plus importante chez les requins des aquariums français, et/ou une stratégie thérapeutique différente sur ces animaux, et/ou une meilleure détection de ces parasitoses dans les aquariums français.

Si l'on s'intéresse ensuite à la comparaison des différentes distributions de ces parasitoses on observe que, selon Garner, les infections parasitaires (9 %) comprenaient, les nématodoses pour 26 %, les affections par les organismes ciliés pour 23 %, les trématodoses pour 20 %, les coccidioses pour 6 %, les myxozoanoses pour 5 %, les amibiases pour 4 %, les cestodoses pour 1 %, et les infections par les flagellés pour 1 %. Selon l'étude de l'ouvrage de Smith *et al.* 2017, les infections parasitaires comprenaient, les nématodoses pour 7,5 %, les trématodoses pour 6 %, les coccidioses pour 4,3 %, les myxozoanoses pour 2,4 %, les cestodoses pour 0,3 %, et les infections par des organismes similaires à des épithéliocytes pour 1,7 %. Malgré la divergence des pourcentages entre ces deux études, on remarque que la fréquence d'apparition de ces parasitoses est relativement similaire, ce qui n'est pas le cas des résultats obtenus dans notre étude. Ainsi, les différentes fréquences d'apparition peuvent ici s'expliquer par le faible nombre d'aquariums recrutés et par le faible nombre de cas à disposition. Il convient de noter que la fréquence de certaines parasitoses est biaisée par le manque d'autopsie de certains individus de l'étude. De même, la recherche spécifique de certains agents pathogènes était réalisée par quelques aquariums uniquement. C'est le cas par exemple, des myxozoaires biliaires qui étaient recherchés systématiquement par un seul aquarium, ou encore d'affections possibles à des épithéliocytes rapportés par un autre aquarium (données non conservées dans l'étude à la vue de la nature fortuite de cette découverte et de la non-caractérisation de l'agent).

La deuxième cause de maladie infectieuse, dans notre étude, était imputée aux maladies fongiques dues à *Fusarium solani*. Cette cause ne représentait en revanche que 0,6 % des cas des pathologies infectieuses dans l'étude de Garner et 2 % des cas des pathologies infectieuses de l'étude issue de l'ouvrage de Smith *et al.* 2017 (2 %). Le pourcentage très élevé mis en évidence ici s'explique par le recrutement de 25 cas de requins malades de mycoses à *Fusarium solani* dans un même aquarium, ce qui représente un biais considérable par surreprésentation de cette pathologie.

Si ces 25 cas pathologiques étaient exclus de cette étude, les causes bactériennes occuperaient la seconde place des maladies infectieuses. Concernant ces dernières, sur les 19 cas d'infections bactériennes décrites, 18 étaient représentés par des septicémies. Ce qui fait des septicémies la première cause de maladie bactérienne. Ce résultat est similaire à ceux issus de la littérature. En effet, selon l'étude de Garner, les infections bactériennes (15 % soit les plus fréquemment rencontrées) étaient représentées par des septicémies dans 26 % des cas, des dermatites (7 %), des infections des branchies (6 %), et des entérites (4 %). Selon l'étude issue de l'ouvrage de Smith *et al.* 2017, les infections bactériennes (12,2 %) étaient représentées par des septicémies, des dermatites, ou des branchites.

Pour l'ensemble de ces trois études comparées, les pathologies bactériennes sont très certainement surreprésentées et auraient dû être confirmées par des cultures ou toute autre méthode d'identification. Les diverses bactérioses enregistrées sont, par ailleurs, souvent soupçonnées d'être des surinfections opportunistes.

Les viroses représentaient 2,8 % de ces cas de pathologie infectieuse, valeur cohérente avec celles des deux études comparatives. Dans l'étude de Garner, les infections virales représentaient uniquement 1 % de ces affections et comprenaient, les papillomatose (47 %), les herpès-virose (20 %), et les adénoviroses (7 %). Tandis que dans l'étude de Smith *et al.* 2017, elles ne représentaient que 0,5 % des maladies infectieuses.

L'étude de Garner a également intégré dans la catégorie des « maladies infectieuses/inflammatoires (33,5 %) », les maladies inflammatoires de causes inconnues (dans 26 % des cas). Elles étaient caractérisées par des entérites pour 14 %, des affections branchiales et des encéphalites pour 9 % respectivement, et par des dermatites pour 7 %. Cette catégorie n'a pas été incluse volontairement dans la présente étude.

Notre étude a également pu mettre en évidence la place majoritaire des pathologies liées à l'acclimatation représentant 19,5 % des pathologies rencontrées. Les deux articles de référence ne font cependant pas mention de ces pathologies d'acclimatation.

11,4 % des cas pathologiques recensés ici étaient d'origine inconnue. Cette valeur est considérable comparée à l'étude de Garner où seulement 4,2 % des pathologies étaient d'origine inconnue. Elle se rapproche cependant de la valeur définie dans l'ouvrage de Smith *et al.* 2017, où 19,6 % des cas pathologiques étudiés étaient d'origine inconnue.

Les cas de pathologies traumatiques occupaient la quatrième place des cas de pathologie dans la présente étude, correspondant à 14,3 % des cas répertoriés. Cette valeur corrobore avec l'étude de Garner, où les affections traumatiques (11,3 %) étaient l'une des maladies non infectieuses les plus représentées avec, des traumatismes cutanés (60 %), des traumatismes suite à des comportements de stress ou de maladaptation (9 %), et des traumatismes intestinaux (7 %). Dans l'étude présentée ici, sur les 30 cas de traumatismes enregistrés, 53,3 % des requins présentaient des morsures (dont 3 cas de morsures suite à une dévagation), 33,3 % des requins présentaient des traumatismes dus au décor, et 13,3 % des requins présentaient des traumatismes dus à des corps étrangers. Concernant l'étude de Smith *et al.* 2017, les traumatismes représentaient seulement 2,4 % des cas et comportaient : les morsures entre animaux, les sauts hors de bassins, des traumatismes dans les décors, les morsures de requins lors de dévagation. Cette différence de pourcentage peut s'expliquer entre autres, par la différence de codage des sous-catégories entre les différentes études. Ces traumatismes ont également été sous-diagnostiqués dans l'étude de Smith *et al.* 2017 (étude des rapports d'histopathologies).

La cinquième classe de cas pathologiques de notre étude regroupait les affections musculosquelettiques pour 1,4 %.

Trois cas diagnostics dus à des pathologies liées à la reproduction, soit 1,4 % des cas, ont également été rapportés, ce qui en fait des affections relativement rares. Dans l'étude de Garner cette catégorie de pathologie était représentée par 2,4 % des cas contre 0,4 % dans l'étude de Smith *et al.* 2017. Ces différents pourcentages paraissent ainsi homogènes.

Toujours dans notre étude, 1 % des cas pathologiques ont été classés dans la catégorie des toxicoses avec deux individus décédés par intoxication à l'eau oxygénée. Dans l'étude de Garner, les toxicoses étaient représentées par 4 % des cas et étaient dues à : la « maladie toxique des branchies » (26 %), la maladie des bulles de gaz (19 %), au fenbendazole (7 %), à l'ammoniac (7 %), au chlore (5 %), et à la chloramine (3 %). L'étude de Smith *et al.* 2017 comptait des cas de toxicoses pour 2,3 %, avec

comme cas répertoriés, des intoxications dues à des pics d'ammoniac, de forts taux de zinc (travaux récents dans les canalisations). Le pourcentage obtenu dans la présente étude confirme la faible fréquence de ce type de pathologie en aquarium. La valeur de 1 % obtenue ici est cependant possiblement sous-estimée étant donné le non-diagnostic histopathologique de certaines maladies qui n'ont pas été recherchées, comme la maladie des bulles de gaz.

La dernière catégorie de cas pathologique enregistrée était les cas de maladie dégénérative (0,5 % des cas dans la présente étude). Ce résultat en fait une pathologie rare, ce qui corrobore avec les deux études de références. En effet, dans l'étude de Garner, les maladies dégénératives répertoriées représentaient 2,9 % des cas contre 1,9 % de cas dans l'étude de Smith *et al.* 2017.

L'étude de Garner comprenait par ailleurs des catégories supplémentaires (absentes dans l'étude de Smith *et al.* 2017) représentées par :

- les maladies cardiovasculaires, diagnostiquées chez 5,5 % des animaux. Elles étaient caractérisées par des chocs systémiques (39 %), des hémorragies (13 %), des troubles d'osmorégulation et une nécrose myocardique (9 %), ainsi qu'une fibrose myocardique dans 6 % des cas.
- les maladies métaboliques/endocriniennes qui étaient quant à elles très peu représentées avec 0,6 % des animaux ayant développé un goitre.

### (3) Comparaison des différents résultats : les causes de mortalité

Comme vu dans la partie des résultats, l'ordre de fréquence des différentes causes de mortalité était relativement différent des cas pathologiques.

Outre les deux études précédemment citées concernant les pathologies des élaémobranches en aquariums, aucune étude ne relate les causes de mortalité des requins captifs.

De la même manière que précédemment, les causes infectieuses apparaissent comme la première cause de mortalité des requins en aquariums. Dans cette catégorie, les cas de décès par les mycoses à *Fusarium solani* apparaissaient de nouveau en première cause de mortalité dans notre étude. Comme évoqué ci-dessus, l'étude a intégré 24 cas de requins morts de cette mycose, ce qui entraîne un biais considérable à l'étude.

Si l'on exclut ces cas de mortalité à *Fusarium solani* (n=72), la première cause de mortalité dans les aquariums français serait les causes bactériennes (27 requins décédés de causes infectieuses dont 18 de causes bactériennes sur 72 individus totaux soit 25 % des mortalités). Ce résultat se rapproche de ceux observés dans les deux études de Garner 2013 et de Smith *et al.* 2017, qui placent les infections bactériennes, notamment les septicémies, comme l'une des premières causes de pathologie en aquarium.

D'après notre étude, les causes parasitaires seraient ensuite la troisième cause de mortalité des requins en aquarium. La deuxième si l'on exclut les causes de mortalité par *Fusarium solani*. Ceci se rapproche également des résultats observés dans les études de Garner 2013 et de Smith *et al.* 2017.

Notre étude n'a, en outre, pas réussi à définir les causes de mortalité de 21,9 % d'individus, les différents signes cliniques présentés et les différentes lésions d'autopsie n'ayant pas permis de fournir une étiologie claire. Ce pourcentage se rapprochait de celui rapporté dans l'étude de Smith *et al.* 2017 où 19,6 % des diagnostics pathologiques n'ont pas pu être posés.

Les individus décédés de traumatismes représentaient 11,5 % des cas rapportés ce qui est de nouveau homogène avec le pourcentage obtenu dans l'étude de Garner où 11,3 % de cas de traumatismes avaient été rapportés.

Dans notre étude, les requins décédés de causes anthropiques étaient de 8,3 %. Cette catégorie est sans doute sous-estimée à la vue des pathologies liées à l'acclimatation, très courantes dans l'étude des cas pathologiques.

Les morts par pathologies liées à la reproduction et les décès liés aux toxicoses représentaient, respectivement, 2,1 % des cas. Ces pourcentages sont assez semblables à ceux obtenus dans les deux études de Garner 2013 et Smith *et al.* 2017, où les pourcentages de cas rencontrés de pathologies liées à la reproduction étaient respectivement de 2,4 % et de 0,4 %, et où les cas de pathologies liées aux toxicoses étaient respectivement de 3,7 % et de 2,3 %.

Le décès d'un animal a été attribué à une maladie dégénérative pour 1 % des cas, les pourcentages obtenus dans les études de Garner 2013 et Smith *et al.* 2017 étaient également relativement faibles avec respectivement 2,9 % et 1,9 % de cas rapportés.

#### (4) Comparaison des différents résultats : les cas pathologiques et causes de mortalité suivant les différentes espèces

Notre étude a permis de mettre en lumière que certaines catégories pathologiques ou certaines causes de mortalité étaient plus fréquemment rencontrées chez certaines espèces de requins.

Ainsi, chez les requins de l'espèce *Carcharhinus melanopterus*, les pathologies et causes de mortalité d'origine traumatique ont pu être soulignées. En effet, parmi les sept individus ayant présenté des cas de pathologie traumatique (Tableau 12), 2 d'entre eux ont présenté des morsures et 3 d'entre eux ont présenté des morsures suite à une dévagination. Dans ces trois derniers cas deux individus sont morts d'hémorragie et un de septicémie. Ce résultat va ainsi dans le sens de l'étude de Smith *et al.* 2017 ayant mis en évidence que les individus les plus fréquemment concernés par les morsures sur intestin dévaginé étaient les espèces de requins suivantes : *Carcharhinus melanopterus*, *Mustelus spp* et *Carcharias taurus*.

Concernant les requins de l'espèce *Carcharhinus plumbeus*, l'étude des causes de mortalité a permis la mise en évidence de trois décès de nouveau-nés suite à de la prédation, notamment par un requin de l'espèce *Carcharias taurus*.

Cette étude a également permis de mettre en évidence la récurrence des affections musculosquelettiques des requins de l'espèce *Carcharias taurus* à l'origine de difficultés de la nage et ayant conduit à l'euthanasie (catégorie des décès par cause anthropique) des trois requins atteint de l'étude. Cette affection est également bien décrite dans la littérature (Smith *et al.* 2017).

Concernant les requins de l'espèce *Hemiscyllium ocellatum* et de l'espèce *Mustelus asterias*, 20 cas de pathologie liée à l'acclimatation (20 cas par espèce) ont été rapportés par un seul et même aquarium. Il serait intéressant de croiser les données disponibles d'autres aquariums afin de savoir si cette espèce serait plus sensible aux conditions d'acclimatation. Le nombre exact d'individus ayant survécu à ces pathologies liées à l'acclimatation n'est en revanche pas connu.

Concernant les requins de l'espèce *Sphyrna lewini*, 25 individus ont présenté une infection fongique à *Fusarium solani* ayant entraîné 24 décès. Six individus ont contracté une septicémie (dont 2 suite à des morsures et 1 suite à une blessure) tous décédés de ces septicémies. Par ailleurs, 5 présentaient des myxozoaires biliaires. La sensibilité du requin-marteau aux mycoses à *Fusarium* est relativement bien connue et documentée dans la littérature (Garner 2013).

De plus, 10 requins de cette même espèce présentaient des pathologies traumatiques : 6 dues au décor et à l'environnement, et 3 suite à une ou plusieurs morsures. Sur ces 10 cas de pathologie traumatique, 3 sont décédés de cette cause. L'étude de Garner a également mis en évidence la prévalence importante des traumatismes (30 %) chez des requins d'espèce voisine *Sphyrna tiburo*.

Concernant les requins de l'espèce *Stegostoma fasciatum*, cette étude a permis la mise en évidence de pathologies infectieuses couramment rencontrées telles que des septicémies mise en évidence pour 4 individus tous décédés de cette cause. Les pathologies traumatiques ont également été soulignées, avec 3 individus ayant présenté des morsures sans décès consécutif. Ces deux pathologies retrouvées figurent également parmi les plus fréquemment rencontrées chez cette espèce selon l'ouvrage de Smith *et al.* 2017.

Concernant les requins de l'espèce *Triakis semifasciata*, divers processus pathologiques ont été mis en lumière avec une sensibilité apparente aux processus infectieux. Ont été rapportés, 5 animaux avec un processus septicémique ayant conduit à leur mort, 21 cas de parasitoses dues à des copépodes avec une guérison apparente, et 15 cas de parasitoses dues à des trématodes monogènes ayant provoqué 3 décès. Cinq individus ont également subi des cas pathologiques traumatiques dus à des morsures ayant provoqué la mort de ces individus par septicémie.

Concernant l'étude de Garner, des pathologies récurrentes ont également été mises en évidence chez certaines espèces. Ces processus pathologiques étant observé sur *a minima* 30 % des animaux de la même espèce. Les cas recensés sont :

- des cas de nématodose viscérale chez le requin nez-noir, *Carcharhinus acronotus*, dans 55 % des cas,
- des cas de septicémie chez les Émissoles lisses, *Mustelus canis* pour 41 %, chez les raies pastenagues à taches bleues (*Taeniura lymma*) pour 36 %, chez les raies australes (*Dasyatis americana*) et les requins d'espèce *Orectolobus spp.* pour 69 %,
- des cas d'extrême maigreur chez les requins bambou (*Chiloscyllium spp*) (33 %), chez les requins-marteaux tiburo (*Sphyrna tiburo*) (32 %), et les raies d'eau douce (*Potamotrygon motoro*), pour 32 %
- cas de multiples traumatismes chez les requins-marteaux tiburo (30 %).

#### (5) Détermination des différents examens complémentaires et des outils diagnostics disponibles dans les aquariums français

Sur les 96 cas de requins décédés ayant participé à cette étude, 82 ont bénéficié d'une autopsie (soit 85,4 %), il s'agit donc d'un acte réalisé de manière quasi systématique pour de nombreux aquariums. Ce résultat corrobore avec celui du questionnaire où 7 aquariums sur 10, rapportent réaliser des autopsies si nécessaire. Il s'agit donc d'un examen amplement pratiqué dans les aquariums. Au total, 10 requins de l'étude, soit 10,4 % des individus ont bénéficié en plus de l'autopsie, d'examen histologique et/ou d'examen bactériologique. Ces résultats montrent que ces pratiques restent insuffisamment mises en place dans les aquariums français.

#### (6) Détermination des traitements mis en place à ce jour et comparaison aux traitements connus dans la bibliographie.

La réponse à cet objectif s'est montrée relativement complexe de par la diversité des réponses apportées : un grand nombre de structures n'ont pas répondu à cette question tandis que d'autres structures ont fourni une grande liste de traitements mis en place. Les réponses obtenues ne permettent pas de répondre à cet objectif.

Il convient cependant de souligner que la décision et la mise en place de traitements sont très divergentes selon les structures et sans aucun doute selon les espèces.

Certaines structures mettent en place de très nombreux traitements parfois à l'aveugle sans l'aval d'un vétérinaire et parfois de manière tout à fait empirique.

## (7) Principaux biais et limites de l'étude et pistes d'amélioration

– **Les espèces cibles** : il aurait été judicieux de procéder à l'étude de la totalité des espèces appartenant aux élasmobranches afin de pouvoir comparer correctement ces différentes données.

– **Le biais de recrutement et de volontariat** : seules les données de 11 aquariums volontaires (sur 23) ont été rapportées par le questionnaire, ce faible nombre de cas est un biais majeur dans cette étude. Il en va de même avec les différentes espèces recrutées : 14 espèces différentes dans l'étude des cas pathologiques et 12 dans l'étude des causes de mortalité contre 72 espèces différentes dans l'étude de Smith *et al.* 2017, et 60 dans l'étude de Garner 2013. La divergence des résultats présentés s'explique également par le faible nombre de cas rapportés : n=210 cas pathologiques et n=96 décès dans la présente étude, contre 1 546 élasmobranches étudiés dans l'étude de Garner, et 632 élasmobranches étudiés dans l'étude issue de l'ouvrage de Smith *et al.*

La présente étude regroupait par ailleurs une importante cohorte de requin de l'espèce *Sphyrna lewini* ce qui, comme vu précédemment, a modifié profondément les profils pathologiques et les causes de mortalités.

– **Un biais d'information** dû à un manque de standardisation du protocole est également à préciser. Il est dû :

– à la diversité des opérateurs : il aurait également été pertinent que tous ces cas pathologiques aient été étudiés en détail par les mêmes pathologistes afin de bénéficier de données homogènes.

– aux examens complémentaires et autopsies : il aurait été intéressant d'avoir pour tous les individus des examens complémentaires homogènes et standardisés

Le pourcentage élevé de cas pathologique et de cause de mortalité d'origine inconnue découle notamment de ces deux limites. Ces non-diagnostics sont ainsi dus à la non-homogénéité des examens complémentaires réalisés, à la multiplicité des opérateurs et aux expériences de chacun, à la méconnaissance de l'anatomie des requins entraînant parfois des confusions entre organes. Il serait nécessaire pour cela de standardiser les différentes pratiques *post-mortem* dans les différents aquariums afin d'harmoniser les différentes démarches avec des autopsies à des temps définis, des analyses histologiques et microbiologiques des mêmes organes et tout cela de manière systématique.

Ceci apparaît malheureusement difficilement faisable en pratique d'un point de vue organisationnel comme financier. Une formation du personnel réalisant les autopsies dans les différents aquariums à l'anatomie des élasmobranches permettrait néanmoins, dans un premier temps, de limiter ces biais. De même, la réalisation systématique *a minima* des autopsies et des examens histologiques sur l'ensemble des individus étudiés serait une première piste d'amélioration.

– **La durée d'étude définie** : dans la présente étude, aucune période exacte n'a été définie afin de recruter un maximum de cas, aucune période d'étude n'avait ainsi été précisée. Lors du questionnement des différents aquariums, certains d'entre eux ont précisé avoir eu recours à des cas de pathologies ou de mortalité transmis oralement au cours du temps. Ce mode de transmission a ainsi pu aboutir à des oublis, voire à un biais de mémoire de la part des différents interlocuteurs.

– **Le manque de certaines données** : certains cas de pathologie et mortalité n'étaient pas suffisamment développés et précis pour être pris en compte dans l'étude. Par exemple, certains aquariums ont rapporté des parasitoses sur certaines espèces, mais ne pouvaient pas donner les quantités exactes d'animaux atteints et le taux de mortalité. Aussi, 40 requins ayant présenté des troubles d'acclimatation ont été retirés de l'étude des causes de mortalité, car le taux de mortalité n'a pas été objectivé et noté dans les archives des aquariums. Ainsi, certaines catégories de

pathologies ou de causes de mortalité ont été sous-évaluées. C'est le cas des pathologies ou des causes de mortalité liées à l'acclimatation et aux décès de causes anthropiques. Il serait intéressant d'objectiver ces pertes dans de prochaines études.

– **Le biais de « non-réponse »** : tous les cas de pathologie ou de mortalité n'ont pas été décrits parfois par volonté. Aussi, comme décrits précédemment, certains cas touchant des espèces tels que les petites et grandes roussettes n'ont pas été rapportés dans l'étude.

*Notre étude a permis de montrer dans un premier temps, que les approvisionnements en eau des différents aquariums ainsi que les différents systèmes de filtration et de stérilisation sont relativement diversifiés sur le territoire français. Les paramètres environnementaux mesurés au sein de chaque bassin hébergeant des requins sont en revanche similaires, mais avec des fréquences de surveillance très différentes. En ce qui concerne la gestion des animaux malades, de nombreux points de divergence existent entre les structures tant par l'isolement de l'animal ou non, que par les examens complémentaires, ou encore les traitements mis en place.*

*Aussi, la réalisation de conditionnement opérant ou training est variable suivant les aquariums. De même, concernant l'alimentation, les fréquences des nourrissages, et la nature des compléments alimentaires distribués sont très diversifiées.*

*D'après notre étude, les premières causes de pathologie et de mortalité des requins en aquariums français sont les maladies infectieuses. Il s'agit principalement des maladies bactériennes et parasitaires (après retrait de l'ensemble des animaux atteints de mycose à *Fusarium solani*). Ce résultat corrobore avec les résultats de la littérature (Garner 2013, Smith et al. 2017).*

*Toujours dans cette étude, les causes de mortalité par traumatismes apparaissent comme la première cause non infectieuse de mortalité chez les requins. Ce résultat correspond également à ceux de la littérature (Garner 2013, Smith et al. 2017) plaçant les traumatismes comme l'une des pathologies non infectieuses majoritaire.*

II. Cas cliniques : enquête diagnostique sur les différentes causes d'anémie et de mortalité de deux requins de l'espèce *Stegostoma fasciatum* à l'aquarium de l'Institut Océanographique de Monaco.

**PARTIE CONFIDENTIELLE**

## CONCLUSION

Cette étude est, à notre connaissance, la première répertoriant d'une part, les grandes pathologies et d'autre part, les causes de mortalité des requins peuplant les aquariums français. Elle a permis d'établir un état des lieux des différents aménagements des structures françaises hébergeant des requins en s'intéressant également aux critères de surveillance de ces animaux et de leurs environnements mis en place dans ces établissements.

À l'image de différents articles s'intéressant aux maladies rencontrées chez les élasmobranches en aquarium, cette étude a permis d'établir, grâce aux onze aquariums participants, les grandes pathologies et les causes de mortalité des requins captifs français. Elle nous montre que, malgré des matériels et méthodes différents, la comparaison avec les données bibliographiques s'accorde sur le fait que les pathologies infectieuses font partie des premières pathologies rencontrées en aquariums dans le monde. Elles sont dues pour une grande majorité, aux parasitoses et aux pathologies bactériennes.

Les deux cas cliniques présentés dans cette thèse ne sont pas des cas isolés et montrent la difficulté des investigations et du diagnostic anatomopathologique *anté-* et *post-mortem*. Ces cas, compte tenu de l'importance des pathologies bactériennes, soulignent encore une fois la place prépondérante des maladies microbiennes chez les requins d'aquariums et suggère la détection précoce de ces souches bactériennes grâce au développement de nouveaux outils. La compréhension du microbiome de ces espèces devrait être une priorité de recherche à l'avenir.

Une difficulté supplémentaire au diagnostic réside également dans le manque de connaissance générale de ces espèces.

L'objectif de cette thèse était de fournir aux professionnels, y compris non vétérinaires des bases anatomiques et physiologiques. Aujourd'hui, l'ensemble des opérateurs travaillant au contact de ces espèces et susceptibles de réaliser des autopsies, doivent se former à l'anatomie et physiologie des élasmobranches pour mieux déterminer les organes atteints. Cette première approche facilitera les possibles diagnostics pathologiques nécessaires à l'amélioration des conditions de vie en aquarium et en milieu naturel.

En parallèle, cette thèse, souligne la multiplicité des pratiques thérapeutiques et nutritionnelles chez ces espèces. Des pratiques qui ne s'appuient pas toujours sur des données ou connaissances scientifiques, et réalisées parfois de manière totalement empirique.

Ce manque global de partage de données reste aujourd'hui un frein considérable à la connaissance globale de ces espèces. Dans le cadre de différents programmes d'une gestion préventive de la santé des élasmobranches en aquariums, certains outils diagnostics et examens complémentaires (présentés dans cette thèse) sont de plus en plus utilisés afin d'accroître les connaissances et les bases de référence sur ces espèces. Dans cet objectif d'amélioration de notre savoir sur les élasmobranches, les aquariums occupent aujourd'hui une place décisive dans la sensibilisation, la conservation, la protection et la connaissance générale de ces animaux *via* notamment divers projets scientifiques.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALDANA, L.M. et VERGARA, E.V., 1998. Comparative Morphology of Blood Cells of Nurse Shark, *Ginglymostoma cirratum* (Bonnaterre, 1788), with others Fish. In : *The European Elasmobranch Association*. 1998. pp. 1-7. DOI 10.13140/RG.2.1.1762.3927.
- ALVES, Luís M.F., NUNES, Margarida, MARCHAND, Philippe, LE BIZEC, Bruno, MENDES, Susana, CORREIA, João P.S., LEMOS, Marco F.L. et NOVAIS, Sara C., 2016. Blue sharks (*Prionace glauca*) as bioindicators of pollution and health in the Atlantic Ocean: Contamination levels and biochemical stress responses. In : *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 563-564, pp. 282-292. DOI 10.1016/j.scitotenv.2016.04.085.
- BARRERA-GARCÍA, Angélica, O'HARA, Todd, GALVÁN-MAGAÑA, Felipe, MÉNDEZ-RODRÍGUEZ, Lía C., CASTELLINI, J. Margaret et ZENTENO-SAVÍN, Tania, 2013. Trace elements and oxidative stress indicators in the liver and kidney of the blue shark (*Prionace glauca*). In : *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*. 2013. pp. 1-8. DOI 10.1016/j.cbpa.2013.01.024.
- BIRCAN-YILDIRIM, Yasemin, ÇEK, Şehriban, BAŞUSTA, Nuri et ATIK, Esin, 2011. Histology and morphology of the epigonal organ with special reference to the lymphomyeloid system in *Rhinobatos rhinobatos*. In : *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2011. Vol. 11, n° 3, pp. 1-8. DOI 10.4194/1303-2712-v11\_3\_03.
- BLANDFORD, Makeely Isabel, TAYLOR-BROWN, Alyce, SCHLACHER, Thomas A., NOWAK, Barbara et POLKINGHORNE, Adam, 2018. Epitheliocystis in fish: An emerging aquaculture disease with a global impact. In : *Transboundary and Emerging Diseases*. 2018. pp. 1-11. DOI 10.1111/tbed.12908.
- BOHL, M., 1997. Gas bubble disease of fish. In : *Tierarztl Prax*. 1997. Vol. 25, n° 3, pp. 284-288.
- BOWLBY, Heather, 2016. Shark anatomy. In : *Canadian Atlantic Shark Research Laboratory, Fisheries and Oceans, Canada* [en ligne]. 2016. [Consulté le 20 juillet 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/sharks/index-eng.html>.
- BOWMAN, Michelle, RAMER, Jan, PROUDFOOT, Jeff, STRINGER, ELIZABETH GARNER, MICHAEL TRUPKIEWICZ, John et GIRAY, Cem, 2008. A Novel Adenovirus in a Collection of Wild-Caught Dusky Smooth-Hounds (*Mustelus canis*). In : *American Association of Zoo Veterinarians Conference*. S.I. : American Association of Zoo Veterinarians Conference. 2008. pp. 1.
- BOYD, Claude, 2014. Hydrogen Sulfide Toxic, But Manageable. In : *Global Aquaculture Advocate*. 2014. Vol. 17, n° 2, pp. 34-36.
- BRADAI, Mohamed, SAIDI, Béchir et ENAJJAR, Samira, 2018. *UNEP/MAP SPA/RAC. Manuel de formation sur les poissons cartilagineux. Identifier et reconnaître les raies et requins de Méditerranée*. Tunis.
- BRIONES, V., FERNANDEZ, A., BLANCO, M., RAMIRO, M, DE VICENTE, M. L., GARCIA, J., MENDEZ, J. L. et GOYACHE, J., 1998. Haemorrhagic Septicaemia by *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida* in a Black-tip Reef Shark (*Carcharhinus mehnopterus*). In : *J. Vet. Med*. 1998. pp. 443-445. DOI 10.1111/j.1439-0450.1998.tb00814.x.
- BULLER, Nicky B., 2014. *Bacteria and Fungi from Fish and Other Aquatic Animals. A practical Identification Manuel*. 2. Australia : CABI. ISBN 978 1 84593 805 5.
- CAMPBELL, Terry W., 2015. *Exotic Animal Hematology and Cytology*. 4. India : Wiley Blackwell. ISBN 9781118611272.
- CARRIER, Jeffrey C., MUSICK, John A. et HEITHAUS, Michael R., 2004. *Biology of sharks and their relatives*. 1. S.I. : CRC PRESS. ISBN 0-8493-1514-X.
- CARRIER, Jeffrey C., MUSICK, John A. et HEITHAUS, Michael R., 2010. *Sharks and Their Relatives II. Biodiversity, adaptive physiology and conservation*. 2. S.I. : Press, CRC. ISBN 9780429141775.
- CASTAGNÉ, Paul et CASTINO, Garance, 2020. L'ADN environnemental : un nouvel outil pour espionner les espèces sauvages. In : *Planet-Vie*. 2020.

- CLAUSS, Tonya M., DOVE, Alistair D.M. et ARNOLD, Jill E., 2008. Hematologic Disorders of Fish. In : *Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice*. 2008. Vol. 11, n° 3, pp. 445-462. DOI 10.1016/j.cvex.2008.03.007.
- COMPAGNO, Leonard, 2001. *Sharks of the World. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Volume 2. Bullhead, mackerel and carpet sharks (Heterodontiformes, Lamniformes and Orectolobiformes)*. FAO Specie. Rome : s.n. ISBN 92-5-104543-7.
- DAVIDSON, Ross J., DAVIS, Ian, WILLEY, Barbara M., RIZG, Keyro, BOLOTIN, Shelly, PORTER, Vanessa, POLSKY, Jane, DANEMAN, Nick, MCGEER, Allison, YANG, Paul, SCOLNIK, Dennis, ROWSELL, Roy, IMAS, Olga et SILVERMAN, Michael S., 2008. Antimalarial Therapy Selection for Quinolone Resistance among *Escherichia coli* in the Absence of Quinolone Exposure, in Tropical South America. In : *Plos One*. 2008. Vol. 3, n° 7, pp. 1-8. DOI 10.1371/journal.pone.0002727.
- DE IULIIS, Gerardo et PULERÀ, Dino, 2011. *The dissection of vertebrates*. 2. S.l.: Elsevier. ISBN 9780124104600.
- DEGAND, N. et RUIMY, R., 2012. Intérêts et les limites actuelles du MALDI-TOF en microbiologie clinique. In : *Journal des Anti-Infectieux*. 2012. Vol. 14, n° 4, pp. 159-167. DOI 10.1016/j.antinf.2012.07.005.
- DEYNAT, Pascal, 2014. *La peau des requins et des raies*. Monaco.
- DOVE, Alistair, ARNOLD, Jill et CLAUSS, Tonya, 2010. Blood cells and serum chemistry in the world's largest fish: the whale shark *Rhincodon typus*. In : *Aquatic Biology*. 2010. Vol. 9, n° 2, pp. 177-183. DOI 10.3354/ab00252.
- ENDO, Tetsuya, HISAMICHI, Yohsuke, HARAGUCHI, Koichi, KATO, Yoshihisa, OHTA, Chiho et KOGA, Nobuyuki, 2008. Hg, Zn and Cu levels in the muscle and liver of tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*) from the coast of Ishigaki Island, Japan: Relationship between metal concentrations and body length. In : *Marine Pollution Bulletin*. 2008. Vol. 56, n° 10, pp. 1774-1780. DOI 10.1016/j.marpolbul.2008.06.003.
- ENDO, Tetsuya, KIMURA, Osamu, OHTA, Chiho, KOGA, Nobuyuki, KATO, Yoshihisa, FUJII, Yukiko et HARAGUCHI, Koichi, 2016. Metal Concentrations in the Liver and Stable Isotope Ratios of Carbon and Nitrogen in the Muscle of Silvertip Shark (*Carcharhinus albimarginatus*) Culled off Ishigaki Island, Japan: Changes with Growth. In : *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11, n° 2, pp. 1-18. DOI 10.1371/journal.pone.0147797.
- FLORIO, Daniela, GRIDELLI, Stefano, FIORAVANTI, Maria Letizia et ZANONI, Renato Giulio, 2016. First Isolation of *Tenacibaculum maritimum* in A Captive Sand Tiger Shark (*Carcharias Taurus*). In : *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 2016. Vol. 47, n° 1, pp. 351-353. DOI 10.1638/2015-0064.1.
- GARCÍA-SALINAS, Pablo, GALLEGO, Victor, et ASTURIANO, Juan F., 2021. Reproductive Anatomy of Chondrichthyans: Notes on Specimen Handling and Sperm Extraction. II. Sharks and Chimaeras. In : *Animals*. 2021. Vol. 11, n° 8, pp. 1-20. DOI 10.3390/ani11082191.
- GARNER, M. M., 2013. A Retrospective Study of Disease in Elasmobranchs. In : *Veterinary Pathology*. 2013. Vol. 50, n° 3, pp. 377-389. DOI 10.1177/0300985813482147.
- GREENE, Whitney, WYFFELS, Jennifer, LAMBERT, Faith, BURNS, Charlene, SMUKALL, Matthew et MYLNICZENKO, Natalie, 2022. Using Ultrasound and Metabolic Parameters to Assess Energy and Body Condition Stores of Elasmobranchs (Retrospective Study). In : *2022 IAAAM Annual Conference*. S.l. : s.n. 2022.
- GRIMES, D. J., BRAYTON, P., COLWELL, R. R. et GRUBER, S. H., 1985. Vibrios as Autochthonous Flora of Neritic Sharks. In : *Systematic and Applied Microbiology*. 1985. Vol. 6, n° 2, pp. 221-226. DOI 10.1016/S0723-2020(85)80056-4.
- GRIMES, D. J., COLWELL, R. R., STEMMLER, J., HADA, H., MANEVAL, D., HETRICK, F. M., MAY, E. B., JONES, R. T. et STOSKOPF, M., 1984. Vibrio species as agents of elasmobranch disease. In : *Helgoländer Meeresuntersuchungen*. 1984. Vol. 37, n° 1-4, pp. 309-315. DOI 10.1007/BF01989313.

- GROSELL, Martin, WOOD, Chris M et WALSH, Patrick J, 2003. Copper homeostasis and toxicity in the elasmobranch *Raja erinacea* and the teleost *Myoxocephalus octodecemspinosus* during exposure to elevated water-borne copper. In : *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*. 2003. Vol. 135, n° 2, pp. 179-190. DOI 10.1016/S1532-0456(03)00089-9.
- GÜRCÜ, Beyhan, KOCA, Yücel Başimoğlu, ÖZKUT, Mahmud et TUĞLU, Mehmet Ibrahim, 2016. Matrix changes due to the toxic effects of metronidazole in intestinal tissue of fish (*Onchorhynchus mykiss*). In : *Chemosphere*. 2016. Vol. 144, pp. 1605-1610. DOI 10.1016/j.chemosphere.2015.10.043.
- HALLER, Hermann, DE GROOT, Kirsten, BAHLMANN, Ferdinand, ELGER, Marlies et FLISER, Danilo, 2005. Stem cells and progenitor cells in renal disease. In : *Kidney International*. 2005. Vol. 68, n° 5, pp. 1932-1936. DOI 10.1111/j.1523-1755.2005.00622.x.
- HAMMERSCHLAG, Neil, 2006. Osmoregulation in elasmobranchs: A review for fish biologists, behaviourists and ecologists. In : *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*. 2006. Vol. 39, n° 3, pp. 209-228. DOI 10.1080/10236240600815820.
- HURST, Christon J., 2016. *The Rasputin Effect: When Commensals and Symbionts Become Parasitic*. Springer. S.l. : s.n. ISBN 978-3-319-28168-1.
- HYATT, Michael W., ANDERSON, Paul A., O'DONNELL, Patrick M. et BERZINS, Ilze K., 2011. Assessment of acid-base derangements among bonnethead (*Sphyrna tiburo*), bull (*Carcharhinus leucas*), and lemon (*Negaprion brevirostris*) sharks from gillnet and longline capture and handling methods. In : *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A*. 2011. Vol. 162, n° 2, pp. 113-120. DOI 10.1016/j.cbpa.2011.05.004.
- HYATT, Michael W., FIELD, Cara L., CLAUSS, Tonya M., ARHEART, Kristopher L. et CRAY, Carolyn, 2016. Plasma protein electrophoresis and select acute phase proteins in healthy bonnethead sharks (*Sphyrna tiburo*) under managed care. In : *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 2016. Vol. 47, n° 4, pp. 984-992. DOI 10.1638/2016-0048.1.
- JANSE, M. et KIK, M. J.L., 2012. Mycobacterium avium granulomas in a captive epaulette shark, *hemiscyllium ocellatum* (bonnaterre). In : *Journal of Fish Diseases*. 2012. Vol. 35, n° 12, pp. 935-940. DOI 10.1111/j.1365-2761.2012.01444.x.
- JOHRI, Shaili, DOANE, Michael P., ALLEN, Lauren et DINSDALE, Elizabeth A., 2019. Taking advantage of the genomics revolution for monitoring and conservation of chondrichthyan populations. In : *Diversity*. 2019. Vol. 11, n° 4, pp. 1-26. DOI 10.3390/d11040049.
- KHAN, Nasreen, 2015. *An investigation of the bacterial profile recovered from the oral cavity of sharks, on the coast of KwaZulu-Natal, South Africa*. S.l. : University of Kwazulu-Natal.
- KLIMPEL, Sven, KUHN, Thomas, MÜNSTER, Julian, DÖRGE, Dorian D., KLAPPER, Regina et KOCHMANN, Judith, 2019. *Parasites of Marine Fish and Cephalopods - A Practical Guide*. Springer. S.l. : s.n. ISBN 9783030162184.
- LECOMTE, Antoine ; et MALLEM, Yassine, 2022. Fercobsang<sup>®</sup> : bénéfiques/risques lors d'anémie chez les carnivores. In : *Le Point Vétérinaire*. 2022. Vol. N°425/426, pp. 14-15.
- LEIBOVITZ, L. et LEBOUITZ, S. S., 1985. A viral dermatitis of the smooth dogfish, *Mustelus canis* (Mitchill). In : *Journal of Fish Diseases*. 1985. Vol. 8, n° 3, pp. 273-279. DOI 10.1111/j.1365-2761.1985.tb00943.x.
- LEIGH, Samantha C., PAPASTAMATIOU, Yannis et GERMAN, Donovan P., 2017. The nutritional physiology of sharks. In : *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 2017. Vol. 27, n° 3, pp. 561-585. DOI 10.1007/s11160-017-9481-2.
- MANCA, Rosa, GLOMSKI, Chester et PICA, Alessandra, 2019. Hematopoietic stem cells debut in embryonic lymphomyeloid tissues of elasmobranchs. In : *European Journal of Histochemistry*. 2019. Vol. 63, n° 3, pp. 178-187. DOI 10.4081/ejh.2019.3060.
- MARANCIK, David P., BERLINER, Aimee L., CAVIN, Julie M., CLAUSS, Tonya M., DOVE, Alistair D.M., SUTTON, Deanna A., WICKES, Brian L. et CAMUS, Alvin C., 2011. Disseminated fungal infection in two species of captive sharks. In : *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 2011. Vol. 42, n° 4, pp. 686-693. DOI 10.1638/2010-0175.1.

- MATHAN, Ramesh, SELVARAJ, Anitha, RAMA KRISHNAN, Poopal et CHELLAPPAN, Shobana, 2018. Evaluation of acute and sublethal effects of chloroquine (C18H26ClN3) on certain enzymological and histopathological biomarker responses of a fresh water fish *Cyprinus carpio*. In : *Toxicology Reports*. 2018. Vol. 5, pp. 18-27. DOI 10.1016/j.toxrep.2017.11.006.
- MC DERMOTT DELAUNE, Alexa J., FIELD, Cara L. et CLAUSS, Tonya M., 2017. Whole blood transfusions to treat severe anemia in seven cownose rays (*Rhinoptera bonasus*) and one short-tail stingray (*Dasyatis brevicaudata*). In : *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 2017. Vol. 48, n° 4, pp. 1172-1180. DOI 10.1638/2016-0116R2.1.
- MORICK, Danny, DAVIDOVICH, Nadav, BIGAL, Eyal, ROSENBLUTH, Ezra, BOUZNACH, Arieli, ROKNEY, Assaf, RON, Merav, WOSNICK, Natascha, TCHERNOV, Dan et SCHEININ, Aviad P., 2020. Fatal infection in a wild sandbar shark (*Carcharhinus plumbeus*), caused by streptococcus agalactiae, type Ia-ST7. In : *Animals*. 2020. Vol. 10, n° 2, pp. 1-7. DOI 10.3390/ani10020284.
- MURRAY, Michael J., 2010. Endoscopy in sharks. In : *Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice*. 2010. Vol. 13, n° 2, pp. 301-313. DOI 10.1016/j.cvex.2010.01.008.
- MUSHARRAFIEH, Rami, TACCHI, Luca, TRUJEQUE, Joshua, LAPATRA, Scott et SALINAS, Irene, 2014. Staphylococcus warneri, a resident skin commensal of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with pathobiont characteristics. In : *Veterinary Microbiology*. 2014. Vol. 169, n° 1-2, pp. 80-88. DOI 10.1016/j.vetmic.2013.12.012.
- MYERS, Gwen E., GARNER, Michael M., BARRIE, Michael T., YACH, Christopher E. et PRIBYL, Gerald L., 2007. Fenbendazole toxicity in sharks. In : *Annual Conference of the American Association of Zoo Veterinarians*. S.l. : s.n. 2007. pp. 64-65.
- MYLNICZENKO, Natalie D., CURTIS, Eric W., WILBORN, Rachel E. et YOUNG, Forrest A., 2006. Differences in hematocrit of blood samples obtained from two venipuncture sites in sharks. In : *American Journal of Veterinary Research*. 2006. Vol. 67, n° 11, pp. 1861-1864. DOI 10.2460/ajvr.67.11.1861.
- MYLNICZENKO, Natalie D., HARRIS, Brigita, WILBORN, Rachel E. et YOUNG, Forrest A., 2007. Blood culture results from healthy captive and free-ranging elasmobranchs. In : *Journal of Aquatic Animal Health*. 2007. Vol. 19, n° 3, pp. 159-167. DOI 10.1577/H06-039.1.
- NOGA, Edward J., 2010. *Fish disease: diagnosis and treatment*. 2. S.l. : Wiley Blackwell. ISBN 9780813806976.
- OTWAY, Nicholas M., 2019. Capture-induced exertional rhabdomyolysis in the Shortfin Mako Shark, *Isurus oxyrinchus*. In : *Veterinary Clinical Pathology*. 2019. Vol. 49, n° 1, pp. 23-41. DOI 10.1111/vcp.12824.
- PERRY, Cameron T., PRATTE, Zoe A., CLAVERE-GRACIETTE, Ana, RITCHIE, Kim B., HUETER, Robert E., NEWTON, Alisa L., FISCHER, G. Christopher, DINSDALE, Elizabeth A., DOANE, Michael P., WILKINSON, Krystan A., BASSOS-HULL, Kim, LYONS, Kady, DOVE, Alistair D. M., HOOPES, Lisa A. et STEWART, Frank J., 2021. Elasmobranch microbiomes: emerging patterns and implications for host health and ecology. In : *Animal Microbiome*. 2021. Vol. 3, n° 1. DOI 10.1186/s42523-021-00121-4.
- SCHADWICK, Robert, FARRELL, Anthony P. et BRAUNER, Colin J., 2016. *Physiology of Elasmobranch Fishes : internal processes*. S.l. : Elsevier. ISBN 978-0-12-801286-4.
- SERENA, Fabrizio, 2005. Field identification guide to the sharks and rays of the Mediterranean and Black sea. In : *FAO Species identification guide for Fishery Purposes*. 2005. n° January 2005, pp. 97.
- SHUTTLEWORTH, Trevor J., 1988. *Physiology of Elasmobranch Fishes*. S.l. : Springer-Verlag. ISBN 9783642733383.
- SMITH, Mark, WARMOLTS, Doug, THONEY, Dennis et ROBERT, Hueter, 2004. *Elasmobranch Husbandry Manual: Captive Care of Sharks, Rays, and their Relatives* Mark. 1. S.l. : A Special Publication of the Ohio Biological Survey, Inc. ISBN 978-0-86727-152-3.
- SMITH, Mark, WARMOLTS, Doug, THONEY, Dennis, ROBERT, Hueter, MURRAY, Michael et EZCURRA, Juan, 2017. *The Elasmobranch Husbandry Manual II : Recent Advances in the Care of Sharks , Rays and their Relatives* Editors. 2. S.l. : Ohio Biological Survey, Inc. ISBN 9780867271669.

- SMITH, Sylvia L., SIM, Robert B. et FLAJNIK, Martin F., 2014. *Immunobiology of the Shark*. S.l. : CRC Press. ISBN 9781466595750.
- STIDWORTHY, M. F., GARNER, M. M., BRADWAY, D. S., WESTFALL, B. D., JOSEPH, B., REPETTO, S., GUGLIELMI, E., SCHMIDT-POSTHAUS, H. et THORNTON, S. M., 2014. Systemic Scuticociliatosis (*Philasterides dicentrarchi*) in Sharks. In : *Veterinary Pathology*. 2014. Vol. 51, n° 3, pp. 628-632. DOI 10.1177/0300985813492800.
- STOSKOPF, Michael K., 1993. *Fish Medicine*. 1. S.l. : Saunders. ISBN 978-0721626291.
- TERIO, Karen A., MCALOOSE, Denise et JUDY ST., Leger, 2018. *Pathology of Wildlife and Zoo Animals*. 1. S.l. : Elsevier. ISBN 9780128053065.
- THRALL, Mary Anna, WEISER, Glade, ALLISON, Robin W. et CAMPBELL, Terry W, 2012. *Veterinary Hematology and Clinical Chemistry*. 2. S.l. : Wiley Blackwell. ISBN 978-0-8138-1027-0.
- TORT, Lluis, PERE, Torres et FLOS, Rosa, 1987. Effects on dogfish haematology and liver composition after acute copper exposure. In : *Comparative Biochemistry and Physiology*. 1987. Vol. 87C, n° 2, pp. 349-353. DOI 0306-4492/8.
- VIGNATTI, Gabriela, SCHNEIDER, Vania Elisabete et POLETTI, Matheus, 2018. Biological assessment and metals concentration in blue shark (*Prionace glauca*) caught in the southeast-south coast of Brazil. In : *Scientia cum Industria*. 2018. Vol. 6, n° 3, pp. 7-11. DOI 10.18226/23185279.v6iss3p7.
- WEISS, Douglas J. et WARDROP, K. Jane, 2010. *Schalm's Veterinary Hematology - Sixth edition*. 6. S.l. : Wiley Blackwell. ISBN 9780813817989.
- WOSNICK, Natascha, NIELLA, Yuri, HAMMERSCHLAG, Neil, CHAVES, Ana Paula, HAUSER-DAVIS, Rachel Ann, DA ROCHA, Rafael Christian Chávez, JORGE, Marianna Basso, DE OLIVEIRA, Rayone Wesley Santos et NUNES, Jorge Luiz Silva, 2021. Negative metal bioaccumulation impacts on systemic shark health and homeostatic balance. In : *Marine Pollution Bulletin*. 2021. Vol. 168, pp. 1-11. DOI 10.1016/j.marpolbul.2021.112398.
- ZACCARONI, Annalisa, PEREZ-LOPEZ, Marcos, DE LA CASA RESINO, Irene, MEDRI, Gianfranco, CENERI, Fabrizio, BERTINI, Simone, MORDENTI, Oliviero, CORTINOVIS, Luana, SIRRI, Rubina et MANDRIOLI, Luciana, 2017. Short communication: Alteration in blood parameters by enrofloxacin in juvenile lesser spotted dogfish (*Scyliorhinus canicula*, Linnaeus, 1758) after intramuscular injection. In : *Research in Veterinary Science*. 2017. Vol. 113, pp. 1-4. DOI 10.1016/j.rvsc.2017.08.005.
- ZAPATA, A., 1980. Splenic Erythropoiesis and Thrombopoiesis in Elasmobranchs: An Ultrastructural Study. In : *Acta Zoologica*. 1980. Vol. 61, n° 1, pp. 59-64. DOI 10.1111/j.1463-6395.1980.tb01291.x.
- ZHANG, Jie, JIANG, Han, JIANG, Jiabin et HUANG, Guangrong, 2016. Isolation and identification of *Staphylococcus epidermidis* S14 screening extracellular antimicrobial metabolites. In : *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 2016. Vol. 12, n° 1, pp. 56-63. DOI 10.3844/ajbbbsp.2016.56.63.
- ZIMMERMAN, Dawn M., ARMSTRONG, Douglas L., CURRO, Thomas G., DANKOFF, Sarah M., VIRES, Kathleen W., COOK, Kimberly K., JAROS, Nathan D. et PAPICH, Mark G., 2006. Pharmacokinetics of florfenicol after a single intramuscular dose in white-spotted bamboo sharks (*Chiloscyllium plagiosum*). In : *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 2006. Vol. 37, n° 2, pp. 165-173. DOI 10.1638/05-065.1.

## **PATHOLOGIES DES REQUINS, LEURS GESTIONS [EN AQUARIUM/PARCS ZOOLOGIQUES] AU NIVEAU MONDIAL, ET ETAT DES LIEUX EN FRANCE.**

Actuellement étudiante en 4<sup>ème</sup> année à l'École Vétérinaire de Nantes, ce questionnaire s'inscrit dans le cadre de ma thèse d'exercice vétérinaire qui a pour but l'étude des « *pathologies des requins en aquarium/parcs zoologiques au niveau mondial, état des lieux en France et leurs gestions* ». Il est destiné aux aquariums et parcs zoologiques hébergeant des requins. Par le biais de ce questionnaire, mes principales missions sont :

- *De réaliser un inventaire pour chaque espèce, des différentes pathologies rencontrées chez les requins en aquariums et en parcs zoologiques sur l'hexagone.*
- *D'identifier les différents examens complémentaires et les outils diagnostiques.*
- *De connaître les traitements mis en place à ce jour afin de les comparer aux traitements connus dans la bibliographie.*

Afin de travailler sur ce sujet, je suis pendant l'été 2021 en stage à l'aquarium de Monaco. Ces questions pourront au besoin, être directement abordées avec vous par visioconférence ou en rencontre directe. Cette fiche donnant les grands axes de discussion. Cet état des lieux sera ainsi intégré au sein de ma thèse dans une sous-partie s'intitulant :

*« État des lieux dans les aquariums français. »*

Afin de garantir l'anonymat lors de la publication des résultats, un numéro aléatoire sera attribué à la réception du questionnaire à chaque aquarium participant à cet état des lieux.

Un retour de ce questionnaire vous sera systématiquement envoyé à la fin de cette thèse.

*« Je vous remercie de la bienveillante attention que vous porterez à ce questionnaire »*

# I. Description générale

- Quelles sont les espèces de requins qui ont été présentées au cours des années au sein de votre structure ?
- Quel type de filtration utilisez-vous dans vos bassins hébergeant des requins ? Quelle(s) technologie(s) est (sont) mise(s) en œuvre ? Précisez :
  - Filtration mécanique :
  - Filtration chimique :
  - Filtration biologique :
 Autres précisions :
- D'où vient l'eau utilisée (pompage en mer, eau synthétique...) ?
- Quel est le taux de renouvellement de cette eau ? Quel est le taux de recirculation ?
- Quel est votre système de désinfection ? (UV : puissance à renseigner, ozone...) Précisez :
- Organisation de la surveillance des paramètres des bassins :

>Quels paramètres sont surveillés (mesures systématiques ou occasionnelles) ?

Paramètres surveillés	Technique utilisée (système centralisé, appareil de mesure manuel...)	Fréquence des mesures
<input type="checkbox"/> la température		
<input type="checkbox"/> la salinité		
<input type="checkbox"/> le pH		
<input type="checkbox"/> le niveau d'eau		
<input type="checkbox"/> le bon fonctionnement appareil électrique		
<input type="checkbox"/> le potentiel d'oxydoréduction		
<input type="checkbox"/> taux d'oxygène		
<input type="checkbox"/> dosages ioniques		
<input type="checkbox"/> taux de nitrate		
<input type="checkbox"/> taux de nitrite		
<input type="checkbox"/> taux d'ammoniaque		
<input type="checkbox"/> autres (préciser) :		

>Quelles autres analyses vous permettent d'évaluer la **qualité de l'eau**, quelle(s) technique(s) est (sont) utilisée(s) et à quelle fréquence ( polluants, métaux...)?

## II. Concernant vos requins

- Quelles espèces de requins sont présentes à l'aquarium actuellement ? Combien de représentants de chaque espèce ? Merci de remplir le tableau ci-dessous.

Bassin	Nom des espèces présent	Combien de représentants ? (Mâles et femelles si possible)	Volume du bassin ?	Informations complémentaires
1				
2				
3				
4				
5				
6				

- Faites-vous du **training** avec vos requins ? OUI  NON   
Si oui, dans **quel(s) objectif(s)** ? Soins vétérinaires – Nourrissages - autres :

- Quelle **surveillance** réservez-vous à vos requins ? Quels sont les critères que vous surveillez ? :

Critères surveillés :	Combien de fois par jour/semaine :	Combien de temps dédié :
<input type="checkbox"/> le comportement général		
<input type="checkbox"/> la fréquence respiratoire		
<input type="checkbox"/> le comportement alimentaire		
<input type="checkbox"/> le comportement reproducteur		
<input type="checkbox"/> l'état d'embonpoint		
<input type="checkbox"/> autres (préciser)		

- Quels sont les **signes d'alertes** d'un problème chez vos requins ?

→ En cas d'anomalie(s) observée(s) :

Y a-t-il un **examen clinique rapproché** ? OUI  NON

Si OUI : **quelle procédure** est mise en place pour le réaliser ? (Sortie de l'animal du bassin, training, photographies...)

- Avez-vous la même gestion s'il s'agit d'une **pathologie individuelle ou collective** ? Précisez :  
(par exemple : y a-t-il un isolement, une mise en quarantaine et de premiers soins ? Appelez-vous votre vétérinaire en première intention ou après les premiers soins ou en cas d'échec des premiers soins ?...)

- Avez-vous votre propre vétérinaire salarié dans votre structure et si non, qui prend en charge le(s) cas au sein de l'aquarium ?

- Qui sont **vos partenaires** ?

- un vétérinaire spécialisé aquarium/aquaculture (précisez)
- un vétérinaire non spécialiste
- les laboratoires vétérinaires départementaux
- des laboratoires indépendants
- des laboratoires spécialisés

Travaillez-vous avec d'autres professionnels non mentionnés ci-dessus ? Précisez.

- Avez-vous des échanges réguliers avec [d'autres aquariums concernant des questions](#) d'analyses, de pathologies, de soins, de traitements... ?

### III. Discussion autour de chaque espèce

→ L'alimentation :

Nom de l'espèce	Quelles espèces sont données, en quelles quantités ? Les aliments donnés sont-ils congelés ? En quel(s) pourcentage(s) ?	Taux de rationnement ?	Apports en plus de l'alimentation ? Apports vitaminiques par exemple. Si oui, précisez ?	Fréquence des nourrissages et fréquence de l'apport des compléments alimentaires.	Informations complémentaires

- Quelles sont vos sources d'information pour déterminer les paramètres alimentaires et le taux de rationnement ?
- Préciser le(s) intervalle(s) de température(s) auquel(s) vivent vos requins ?



**Tableau support pour le remplissage du tableau précédent (liste non exhaustive) — usage facultatif :**

Signes cliniques ?	Pathologies si cause trouvée ? ou origine/voie investiguée	Examens complémentaires	Traitements	Voies pour chaque traitement :
<input type="checkbox"/> Arrêt de la prise alimentaire <input type="checkbox"/> Variation du comportement alimentaire <input type="checkbox"/> Plaies, ulcères cutanés, papules... <input type="checkbox"/> Parasites <input type="checkbox"/> Anomalie oculaire (opacification, globe oculaire...) <input type="checkbox"/> Mortalité <input type="checkbox"/> Léthargie <input type="checkbox"/> Signes neurologiques <input type="checkbox"/> Signes d'anémie, hémorragie, pâleur branchies <input type="checkbox"/> Maigreur	<input type="checkbox"/> Hémorragie <input type="checkbox"/> Comportement <input type="checkbox"/> Mortalité <input type="checkbox"/> Déshydratation <input type="checkbox"/> État de choc <input type="checkbox"/> Intoxication et si oui à quoi ? <input type="checkbox"/> Respiratoire <input type="checkbox"/> Atteinte du SNC : méningites Dermatologie : <input type="checkbox"/> Décoloration idiopathique <input type="checkbox"/> Mycose à Fusarium <input type="checkbox"/> Dermatite d'été Pathologies digestives et nutritionnelles : <input type="checkbox"/> Arrêt de la prise alimentaire <input type="checkbox"/> Entérite <input type="checkbox"/> Affection hépatique <input type="checkbox"/> Carences vitaminiques ou minérales Endocrinologie : <input type="checkbox"/> Thyroïde <input type="checkbox"/> Autre : Respiratoire : Pathologies bactériennes : si oui, précisez Pathologies virales : si oui, précisez Parasitologie : si oui précisez	<input type="checkbox"/> Prise de sang pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Frottis sanguin</li> <li>○ Numération formule</li> <li>○ Biochimie quels paramètres dosés ?</li> </ul> <input type="checkbox"/> Prélèvement liquide d'ascite <input type="checkbox"/> Prélèvement mucus pour frottis <input type="checkbox"/> Biopsie préciser : <input type="checkbox"/> Prélèvement pour culture bactérienne ou fongique : sang, organes... ? <input type="checkbox"/> Culture virale <input type="checkbox"/> Examen ophtalmo <input type="checkbox"/> Radiographie <input type="checkbox"/> Echographie <input type="checkbox"/> ECG <input type="checkbox"/> Autopsie	<input type="checkbox"/> Anti-inflammatoire <input type="checkbox"/> Corticoïdes <input type="checkbox"/> Antibiotique(s) : le(s) quel(s) : <input type="checkbox"/> Vitamines : le(s) quel(s) : <input type="checkbox"/> Antiparasitaire(s) : le(s) quel(s) : <input type="checkbox"/> Autres :	<input type="checkbox"/> Balnéation <input type="checkbox"/> Locale topique <input type="checkbox"/> Voie digestive <input type="checkbox"/> Voie intramusculaire <input type="checkbox"/> Voie intrapéritonéale <input type="checkbox"/> Voie intraveineuse <input type="checkbox"/> Voie intracardiaque

- Concernant les examens complémentaires mis en place **que faites-vous et qu'analysez-vous par vous-même ?**

- Prises de sang
- Frottis sanguin avec comptage cellulaire
- Hématocrite
- Cultures bactériennes pour identification — milieu d'isolement et mode d'identification à préciser :
- Antibiogrammes
- Autopsies
- Autres ?

- Avec qui **partagez-vous ces données ?**

- Vétérinaire(s) ?
- Autres aquariums ?
- Autres professionnels ? Précisez ?
- Autres ? Précisez ?

- Faites-vous des **prises de sang de contrôle ou d'autres examens médicaux réguliers** même lors de l'absence de pathologies observées et à quelle fréquence ?
- Rentrez-vous ces informations dans un **logiciel spécifique** ?
- Seriez-vous intéressés par une **plateforme d'échange** strictement dédiée aux aquariums ?

Si vous avez sur le sujet des remarques que vous souhaitez évoquer, merci de bien vouloir les développer :

**Vous concernant :**

Merci de me préciser vos rôles au sein de l'aquarium ?

**Merci pour votre participation !** Je vous remercie du temps que vous avez consacré à ce questionnaire

## Annexe 2 : Tableau comparatif des différentes teneurs en métaux lourds dans les muscles de différents requins

Sources : (Endo *et al.* 2008 ; Barrera-García *et al.* 2013 ; Alves *et al.* 2016 ; Endo *et al.* 2016 ; Vignatti *et al.* 2018 ; Wosnick *et al.* 2021)

MUSCLE		Métaux lourds en µg/g MS										Région géographique
Références	Espèce	Mercuré	Arsenic	Cadmium	Cuivre	Nickel	Sélénium	Plomb	Zinc total	Argent total	Fer total	
<i>In situ</i>	<i>Zebra shark</i> n°2	3	35	<1	3	<1	1	<1	32	<0,50	20	
(Wosnick <i>et al.</i> 2021)	<i>Galeocerdo Cuvier</i> (N=1)				0,9	10,54					87,74	Atlantic Brazilian Amazon Coast
	<i>Carcharhinus limbatus</i> (N=2)				1,57	8,94					155,57	
	<i>Sphyrna lewini</i> (N = 2)				1,89	8,32					156,66	
	<i>Ginglymostoma cirratum</i> (N=3)				1,16	9,13					100,15	
	<i>Carcharhinus porosus</i> (N = 3)				1,53	13,12					146,02	
	<i>Rhizoprionodon porosus</i> (N=3)				1,4	1,89					114,09	
	<i>Isogomphodon oxyrhynchus</i> (N = 3)				1,22	11,95					105,07	
	<i>Carcharhinus leucas</i> (N = 3)				1,28	18,74					133,01	
(Endo <i>et al.</i> 2016)	<i>Silvertip sharks Male</i> (N=32)	2,24 ± 1,14										Pacific Ishigaki Island, Japan
	<i>silvertip sharks Femelle</i> (N=39)	1,87 ± 1,16										
(Endo <i>et al.</i> 2008)	<i>Tiger shark</i> (N=42)	0,78 ± 0,29							4,72 ± 3,28		3,10 ± 1,47	Pacific Ishigaki Island, Japan
	<i>Silvertip shark</i> (N=8)	1,80 ± 0,45							3,40 ± 0,81		3,26 ± 1,93	
	<i>Bull shark</i> (N=1)	3,65							4,36		3,51	
	<i>Sandbar shark</i> (N=1)	1,66							3,35		1,9	
(Vignatti <i>et al.</i> 2018)	<i>Prionace glauca</i> (N=9)				0,98				5,38			Atlantic Southeast-south coast of Brazil
(Alves <i>et al.</i> 2016)	<i>Prionace glauca</i> . (N=20) 12 femelles et 8 males	1,36 ± 0,83	78,19 ± 21,98	0,01 ± 0,03	1,15 ± 0,55	0,34 ± 0,57	0,29 ± 0,93	0,12 ± 0,11	24,61 ± 15,51	0	28,21 ± 26,17	Atlantic Ocean

### Annexe 3 : Tableau comparatif des différentes teneurs en métaux lourds dans les foies de différents requins

Sources : (Alves et al. 2016 ; Endo et al. 2008 ; Vignatti et al. 2018 ; Barrera-García et al. 2013 ; Endo et al. 2016 ; Wosnick et al. 2021)

FOIE		Métaux lourds en µg/g MS										Région géographique
Références	Espèce	Mercuré	Arsenic	Cadmium	Cuivre	Nickel	Sélénium	Plomb	Zinc total	Argent total	Fer total	
<i>In situ</i>	<i>Zebra shark</i> n°2	0,7	2	3	17	<1	1	<1	64	<0,50	41	
(Wosnick et al. 2021)	<i>Galeocerdo Cuvier</i> (N=1)				3,66	30,41					367,73	Atlantic Brazilian Amazon Coast
	<i>Carcharhinus limbatus</i> (N=2)				2,92	16,73					284,38	
	<i>Sphyrna lewini</i> (N = 2)				6,8	3,42					255,29	
	<i>Ginglymostoma cirratum</i> (N=3)				2,95	23,74					238,5	
	<i>Carcharhinus porosus</i> (N = 3)				2,93	9,35					246,33	
	<i>Rhizoprionodon porosus</i> (N=3)				4,06	28,4					291,07	
	<i>Isogomphodon oxyrinchus</i> (N = 3)				3,43	8,69					295,58	
	<i>Carcharhinus leucas</i> (N = 3)				3,37	26,26					428,08	
(Endo et al. 2016)	<i>Silvertip sharks Male</i> (N=32)	2,24 ± 1,14		0,82± 1,41	1,46 ± 0,37				8,21 ± 4,39		36,3 ± 25,8	Pacific Ishigaki Island, Japan
	<i>Silvertip sharks Femelle</i> (N=39)	3,71 ± 7,96		1,61± 3,05	1,92 ± 1,13				8,82 ± 4,83		26,9 ± 13,8	
(Endo et al. 2008)	<i>Tiger shark</i> (N=42)	1,17 ± 3,14		0,15 ± 0,24	1,67 ± 0,73				2,88 ± 0,90		20,2 ± 6,5	Pacific Ishigaki Island, Japan
	<i>Silvertip shark</i> (N=8)	0,70 ± 0,42		0,26 ± 0,46	1,24 ± 0,43				4,28 ± 1,07		35,3 ± 17,3	
	<i>Bull shark</i> (N=1)	28,1		2,97	2,38				5,02		69,7	
	<i>Sandbar shark</i> (N=1)	3,62		0,73	4,07				6,16		102	
(Alves et al. 2016)	<i>Prionace glauca</i> (N=20) 12 femelles et 8 males	0,28 ± 0,35	39,98 ± 27,76	4,52 ± 3,60	6,81 ± 3,89	0,04 ± 0,15	0	1,30 ± 4,35	43,9 ± 39,6	0	99,8 ± 55,8	Atlantic Ocean
(Barrera-García et al. 2013)	<i>Prionace glauca</i> (N=35)	0,22± 0,35	10,62± 4,76	34,66± 29,61	9,28 ± 8,39		1,67± 0,58	0,37 ± 0,37	49,9 ± 27,1		195,67 ± 95,5	West coast of Baja California Sur (Mexico).





**Nom de l'auteurice :** Camille SIBOUT

**TITRE DE LA THÈSE**

ANATOMIE, PATHOLOGIES DES REQUINS, LEURS GESTIONS, ET ETAT DES LIEUX DANS LES  
AQUARIUMS ET PARCS ZOOLOGIQUES EN FRANCE.

ANATOMY, PATHOLOGIES IN SHARKS AND MANAGEMENT, AQUARIUM AND ZOOLOGICAL PARK  
CURRENT STATE IN FRANCE.

**Thèse d'État de Doctorat Vétérinaire :** Nantes, le 21 Octobre 2022

**RÉSUMÉ**

Cette thèse présente dans un premier temps, une partie bibliographique qui a permis une étude générale de l'anatomie des requins, des différentes gestions possibles d'un animal malade, et des examens complémentaires et traitements disponibles aujourd'hui sur le terrain.

La partie expérimentale de cette thèse s'est ensuite intéressée aux pathologies ainsi qu'aux différentes causes de mortalité des requins dans les aquariums français. Pour ce faire, un état des lieux *via* un questionnaire d'enquête a été réalisé. L'enquête a permis le recensement de 184 cas de requins ayant présenté une ou plusieurs pathologies, dont 96 cas de requins décédés. Cette étude a pu être comparée aux résultats existants dans la littérature.

Cette même partie expérimentale comporte l'étude de deux cas de mortalité de requins de l'espèce *Stegostoma fasciatum*, ayant présenté des signes d'anémie. Cette thèse a pour objectif l'investigation des possibles causes d'anémie, de mortalité, et des potentiels diagnostics anatomopathologiques de ces deux cas cliniques de manière rétrospective.

Cette thèse offre une vision globale de la gestion des requins dans les aquariums français et souligne parfois l'hétérogénéité des pratiques mises en œuvre. Elle vise à enrichir les connaissances actuelles sur ces espèces et à apporter un soutien bibliographique et terrain aux différents opérateurs travaillant au quotidien avec ces espèces.

**MOTS CLÉS :**

- Elasmobranchie
- Requin
- Anémie
- Pathologie
- Mortalité
- Aquarium
- France

**DATE DE SOUTENANCE :** 21 Octobre 2022