



HAL
open science

Anatomie et pathologie de l'œil des poissons en aquarium : gestion, prévention et état des lieux en France et à Monaco

Emma Billard

► To cite this version:

Emma Billard. Anatomie et pathologie de l'œil des poissons en aquarium : gestion, prévention et état des lieux en France et à Monaco. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04906402

HAL Id: dumas-04906402

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04906402v1>

Submitted on 22 Jan 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.

ANNÉE 2024 - Thèse n° 129

ANATOMIE ET PATHOLOGIE DE L'OEIL DES POISSONS EN AQUARIUM : GESTION, PRÉVENTION ET ÉTAT DES LIEUX EN FRANCE ET À MONACO

THÈSE

pour l'obtention du diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

l'UFR de Médecine de l'Université de

Nantes le 20/11/2024

par

Emma, Solenne BILLARD

Sous la direction de

Ségolène CALVEZ

Président du jury : Madame Emmanuelle MOREAU, Professeure en Infectiologie à Oniris.

Membres du jury : Madame Frédérique NGUYEN, Maîtresse de Conférences en Histologie et Anatomie pathologique à Oniris
Madame Ségolène CALVEZ, Professeure en Aquaculture à Oniris.

Département BPSA Biologie, Pathologie et Sciences de l'Aliment		
Responsable : Emmanuel JAFFRES – Adjointe : Frédérique NGUYEN		
Pharmacologie et Toxicologie	Jean-Claude DESFONTIS (Pr) Yassine MALLEM (Pr) Hervé POULIQUEN (Pr)	Antoine ROSTANG (MC) Meg-Anne MORICEAU (MC Stagiaire) Martine KAMMERER (Pr émérite) Marc GOGNY (Pr émérite)
Physiologie fonctionnelle, cellulaire et moléculaire	Jean-Marie BACH (Pr) Lionel MARTIGNAT (Pr)	Julie HERVE (Pr) Grégoire MIGNOT (MC)
Histologie et anatomie pathologique	Marie-Anne COLLE (Pr) Jérôme ABADIE (MC) Florian CHOCTEAU (MC stagiaire)	Laetitia JAILLARDON (MC) Frédérique NGUYEN (MC) Pierre CORDIER (CERC)
Biochimie alimentaire industrielle	Carole PROST (Pr) Joëlle GRUA (MC)	Clément CATANEO (MC) Alix KHALIL (MC) Laurent LE THUAUT (MC)
Microbiotech	Hervé PREVOST (Pr) Géraldine BOUE (MC) Nabila HADDAD (MC HDR) Emmanuel JAFFRES (MC HDR)	Mathilde MOSSER (MC) Boris MISERY (MC) Raouf TAREB (MC) Judith LORANT (MC stagiaire)
PACENV = VET1	Eléonore BOUGUYON (PRAG) Nicolas BROSSAUD (PRAG)	Charlotte MOCQUARD (PRAG) Aurore CALVEL (PRAG)
Département SAESP Santé des Animaux d'Élevage et Santé Publique		
Responsable : Raphaël GUATTEO – Adjoint : Jean-Michel CAPPELIER		
Elevage, nutrition et santé des animaux domestiques	Nathalie BAREILLE (Pr) François BEAUDEAU (Pr) Christine FOURICHON (Pr)	Juan Manuel ARIZA CHACON (MC) Ségolène CALVEZ (Pr) Aurélien MADOUASSE (MC HDR) Nora NAVARRO-GONZALES (MC)
Infectiologie	Alain CHAUVIN (Pr) Emmanuelle MOREAU (Pr) Nathalie RUVOEN-CLOUET (Pr) Pauline MAISONNASSE (CERC)	Albert AGOULON (MC) Suzanne BASTIAN (MC HDR) Léa LOISEL (AERC) Kenny OBERLE (MC) Nadine RAVINET (MC)
Médecine des animaux d'élevage	Catherine BELLOC (Pr) Raphaël GUATTEO (Pr) Anne RELUN (MC) Aurore BOISHARDY (CERC)	Sébastien ASSIE (MC) Isabelle BREYTON (MC) Mily LEBLANC MARIDOR (MC) Maud ROUAULT (AERC)
Hygiène et qualité des aliments	Jean-Michel CAPPELIER (Pr) Louis DELAUNAY (MC) Bruno LE BIZEC (Pr)	Sofia STRUBBIA (MC) Marie-France PILET (Pr)

Département DSC Sciences cliniques		
Responsable : Olivier GAUTHIER – Adjoint : Marion FUSELLIER		
Anatomie comparée	Eric BETTI (MC) Claude GUINTARD (MC)	
Pathologie chirurgicale et anesthésiologie	Eric AGUADO (Pr) Olivier GAUTHIER (Pr) Eric GOYENVALLE (Pr)	Pierre MAITRE (MC) Caroline TESSIER (MC) Claire DEFOURMSTRAUX (MC)
Dermatologie, parasitologie des carnivores et des équidés, mycologie	Jacques GUILLOT (Pr) Emmanuel BENSIGNOR (Pr Ass) Vincent BRUET (MC)	Sabrina VIEU (AERC) Maria Dolores SANCHEZ (CERC)
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 (Pr) Catherine IBISCH (MC HDR) Aurélia LEROUX (MC) Odile SENECAT (MC)
Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Jean-François BRUYAS (Pr) François FIENI (Pr)	Djemil BENCHARIF (Pr) Lamia BRIAND (Pr)
Département GPA Génie des procédés alimentaires		
Responsable : Vanessa JURY – Adjointe : Cyril TOUBLANC		
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 (Pr) Emilie KORBEL (MC)	Jean-Yves MONTEAU (MC HDR) Eve-Anne NORWOOD (MC) Raphaël PORYLES (MC) Laurence POTTIER (MC) Cyril TOUBLANC (MC)
PAC-ING	Cyril Gaillard (PCEA)	
Département MSC Management, statistiques et communication		
Responsable : Jean-Michel GALHARRET – Adjointe : Sibylle DUCHAINE		
Mathématiques, statistiques, informatique	Chantal THORIN (Pr Ag) Evelyne VIGNEAU (Pr) Jean-Michel GALHARRET (MC)	Véronique CARIOU (Pr) Benjamin MAHIEU (MC) Michel SEMENOU (MC)
Economie, gestion, législation	Jean-Marc FERRANDI (Pr) Pascal BARILLOT (MC) Ibrahima BARRY (MC) Florence BEAUGRAND (MC) Franck INSGNARES (IE)	Sibylle DUCHAINE (MC) Sonia MAHJOUB (MC) Samira ROUSSELIERE (MC) Christophe PAPINEAU (Ens. Cont.)
Langues et communication	Marc BRIDOU (PLPA) David GUYLER (Ens. Cont.) Nathalie GOODENOUGH (PCEA) Patricia JOSSE (Ens. Cont.)	Shaun MEEHAN (Ens. Cont.) Linda MORRIS (PCEA) Ian NICHOLSON (ENS. Cont.)
Formations Techniciens supérieurs		
Responsable : Laurence FRERET		
	Laurence FRERET (PCEA) Françoise BRICHET (IAE) Christophe CARON (PLPA) Virginie MAGIN (Ens. cont.)	

Pr Ag : Professeur Agrégé, Pr : Professeur, MC : Maître de Conférence, 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 en incluant les éléments bibliographiques suivants :

- **Nom et prénoms de l'auteur** : Emma BILLARD
- **Année de soutenance** : 2024
- **Titre de la thèse** : Anatomie, pathologie de l'œil des poissons en aquarium : gestion, prévention et état des lieux en France et à Monaco.
- **Intitulé du diplôme** : Thèse de doctorat vétérinaire
- **Université de soutenance** : Faculté de Médecine de Nantes.
- **Ecole de soutenance** : Oniris VetAgroBio Nantes
- **Nombre de pages** : 204 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 3 000 000 € d'amende.

REMERCIEMENTS DU JURY

À Madame Emmanuelle MOREAU,
Professeure en Infectiologie à Oniris.

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

À Madame Ségolène CALVEZ,
Professeure en Aquaculture à Oniris,

Pour m'avoir accompagnée sur toute la durée du projet. Merci pour votre disponibilité, votre réactivité, vos relectures attentionnées et votre patience.
Très sincères remerciements.

À Madame Frédérique NGUYEN,
Maîtresse de Conférences en Histologie et Anatomie pathologique à Oniris

Pour la relecture attentive de ma thèse et l'intérêt que vous portez à ce sujet.
Très sincères remerciements.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES ANNEXES.....	16
TABLE DES FIGURES.....	16
TABLE DES TABLEAUX.....	18
TABLE DES ABRÉVIATIONS ET DES SIGLES.....	19
CONTEXTE ET INTRODUCTION.....	21
PARTIE 1 : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	22
I. L'œil des poissons : définitions.....	22
A. Rappel de la classification phylogénétique des poissons.....	22
1. Définition du terme "poisson".....	22
2. Les groupes taxonomiques rencontrés en aquarium.....	23
a) Les chondrostéens.....	23
b) Les holostéens.....	24
c) Les téléostéens.....	24
B. Anatomie et physiologie de l'oeil.....	24
1. Anatomie et physiologie générale.....	24
a) Description générale.....	25
b) Les annexes.....	25
c) La cornée.....	26
d) L'humeur aqueuse.....	28
e) L'uvée.....	29
f) Le cristallin.....	31
g) L'humeur vitrée.....	31
h) La rétine.....	32
i) La vision.....	36
2. Adaptations de l'œil des poissons aux différents milieux.....	38
a) Les espèces récifales.....	38
b) Les espèces nocturnes.....	38
c) Les espèces vivant en profondeur.....	39
d) Les espèces dans un environnement aquatique et aérien.....	40
e) Les espèces vivant dans le sable.....	41
II. Dominantes pathologiques de l'oeil des poissons.....	43
A. Les lésions oculaires.....	43
1. Les lésions du globe oculaire.....	43
a) La buphtalmie.....	43
b) La microphthalmie.....	44
c) Le phthisis bulbi.....	44

d) L'énophtalmie.....	45
e) L'exophtalmie.....	45
f) La luxation du globe oculaire.....	46
2. Les lésions de la cornée.....	46
a) L'opacification cornéenne.....	46
b) L'œdème cornéen.....	47
c) La kératite.....	47
(1) Non ulcéralive.....	47
(2) Ulcéralive.....	48
3. Les lésions de la chambre antérieure.....	49
a) L'hyphéma.....	49
b) L'hypopion.....	50
4. Les lésions de l'uvée.....	50
a) L'hétérochromie.....	50
b) L'uvéite.....	50
c) L'endophtalmie.....	51
d) La panophtalmie.....	51
5. Les lésions du cristallin.....	52
a) La cataracte.....	52
b) La luxation du cristallin.....	53
6. Les lésions de la rétine.....	54
a) Le décollement de la rétine.....	54
b) L'atrophie rétinienne.....	54
B. Les pathologies infectieuses.....	55
1. Les pathologies bactériennes.....	55
a) La flore bactérienne des poissons.....	55
b) Les bactérioses Gram négatif.....	56
(1) La maladie des eaux froides.....	56
(2) La maladie de la bouche rouge.....	57
(3) La furunculose.....	58
(4) Les Aeromonas mobiles.....	59
(5) Les vibrioses.....	59
c) Les bactérioses Gram positif.....	60
(1) La maladie bactérienne rénale.....	60
(2) La lactococcose.....	61
(3) La streptococcose.....	62
d) Les mycobactérioses.....	63
2. Les pathologies virales.....	64
a) Les birnaviroses.....	64
b) Les rhabdoviroses.....	65

c) Les nodaviroses.....	66
3. Les pathologies fongiques et apparentés.....	68
a) La saprolégniose.....	68
b) Les phaeohyphomycoses.....	69
c) La democystidiose.....	70
d) L'ichthyophonose.....	71
4. Les pathologies parasitaires.....	72
a) Les parasites protozoaires.....	72
(1) La maladie des points blancs et la cryptocariose.....	72
(2) La scuticociliatose.....	73
b) Les parasites helminthiques.....	75
(1) La douve oculaire.....	75
(2) Neobenedenia spp.....	77
c) Les myxozoaires.....	78
C. Les pathologies non infectieuses.....	81
1. Les pathologies nutritionnelles.....	81
a) Rappels sur l'alimentation des poissons.....	81
(1) Protéines.....	81
(2) Glucides.....	81
(3) Lipides.....	82
(4) Vitamines.....	82
(5) Minéraux.....	82
b) Les excès nutritionnels.....	83
(1) Les excès en lipides.....	83
(2) Les toxines alimentaires.....	86
c) Les carences nutritionnelles.....	86
(1) Les hypovitaminoses.....	86
(2) Les carences en minéraux.....	88
(3) Les carences en acides aminés.....	88
2. Les pathologies environnementales.....	88
a) La maladie des bulles de gaz.....	88
b) Physiopathologie.....	89
(1) Étiologie.....	89
(2) Signes cliniques et gestion.....	90
c) La température.....	92
d) La salinité.....	92
e) Le pH.....	93
f) Ammoniac, nitrites et nitrates.....	93
g) Les rayonnements.....	94
h) Les agents toxiques environnementaux.....	95

3.	Les traumatismes.....	95
a)	Les origines comportementales.....	96
b)	Les origines environnementales.....	97
4.	Les troubles métaboliques.....	97
5.	Les anomalies congénitales.....	100
6.	Les néoplasies.....	100
III.	Gestion d'une atteinte oculaire chez le poisson d'aquarium.....	103
A.	Conduite à tenir face à une affection oculaire en aquarium.....	103
1.	Observation de l'environnement : commémoratifs.....	103
a)	Présentation du biotope.....	103
b)	Configuration des infrastructures/bassins.....	104
c)	Gestion alimentaire et sanitaire.....	105
2.	Observation de l'animal.....	105
a)	Anamnèse.....	105
b)	Examen à distance.....	107
c)	Isolement de l'individu.....	108
d)	Examen clinique rapproché.....	108
e)	Examen ophtalmologique.....	110
B.	Outils diagnostiques et interprétations.....	111
1.	Analyses de l'environnement.....	112
a)	Température.....	112
b)	Salinité.....	112
c)	Oxygène dissous.....	113
d)	pH.....	113
e)	Ammoniac, nitrites et nitrates.....	113
2.	Test à la fluorescéine.....	113
3.	Mesure de la pression intra-oculaire.....	114
4.	Prélèvement de routine.....	114
5.	Imagerie.....	115
a)	Radiographie.....	115
b)	Échographie.....	115
6.	Ponction rétro-orbitaire.....	116
a)	Principe.....	116
b)	Anesthésie.....	116
c)	Mode opératoire.....	117
7.	Autopsie.....	118
8.	Analyses.....	119
a)	Cytologie.....	119
b)	Histopathologie.....	120
c)	Bactériologie.....	120

d) Sérologie.....	121
e) Mycologie.....	121
f) Virologie.....	121
C. Thérapies disponibles et mesures de prévention.....	121
1. Les thérapies environnementales.....	122
a) Salinité.....	122
b) Éclairage.....	122
c) Chambre hyperbare.....	123
d) Les agents environnementaux.....	123
2. Les thérapies médicamenteuses.....	124
a) Les voies d'administration.....	124
(1) Balnéation.....	124
(2) Voie orale.....	124
(3) Voie injectable.....	125
(4) Voie topique.....	125
b) L'acétazolamide.....	126
c) Les antibiotiques.....	126
d) Les antiparasitaires.....	128
e) Les antifongiques.....	128
f) Les antiviraux.....	129
g) Les anti-inflammatoires.....	129
h) Les autres molécules.....	130
3. Les thérapies chirurgicales.....	130
a) Mesures préopératoires.....	130
b) Soins postopératoires.....	131
c) Procédures chirurgicales.....	131
(1) L'énucléation.....	131
(2) La lensectomie.....	133
(3) Prise en charge chirurgicale d'un ulcère cornéen.....	134
(4) La kératectomie.....	134
(5) La pseudobranchiectomie.....	135
(6) La cryochirurgie.....	135
4. Prévention des atteintes oculaires.....	136

PARTIE 2 : ÉTUDES DE TERRAIN, ÉTAT DES LIEUX DES PATHOLOGIES OCULAIRES CHEZ LES POISSONS D'AQUARIUMS EN FRANCE ET À MONACO ET EXEMPLES DE CAS CLINIQUE.....139

I. Étude de terrain n°1 : État des lieux des exophtalmies chez les poissons d'aquarium en France.....	139
---	-----

A.	Objectifs de l'étude.....	139
B.	Matériel et méthodes.....	139
1.	Réalisation et diffusion du questionnaire.....	139
2.	Prise de contact approfondie.....	139
3.	Collecte des données.....	140
a)	Anonymat.....	140
b)	Animaux d'intérêt.....	140
c)	Choix de l'interprétation des résultats.....	140
C.	Résultats du questionnaire.....	140
1.	Participants de l'étude.....	140
2.	Incidence des exophtalmies.....	141
3.	Épidémiologie des exophtalmies.....	141
4.	Gestion des exophtalmies.....	141
a)	Démarche diagnostique.....	141
b)	Mise en place d'un protocole, traitement et évolution.....	142
D.	Résultats des discussions approfondies.....	142
1.	Épidémiologie des exophtalmies.....	142
2.	Critères de surveillance et approfondissement.....	143
3.	Protocole de soins.....	145
4.	Causes majeures des exophtalmies.....	146
II.	Étude de terrain n°2 : État des lieux des exophtalmies chez les poissons de l'aquarium de Monaco.....	146
A.	Objectifs de l'étude.....	146
B.	Matériel et méthodes.....	146
1.	Infrastructure.....	146
2.	Suivi des cas.....	147
a)	Fiches pathologiques.....	147
b)	Fiches sur les exophtalmies.....	147
c)	Autopsies.....	147
3.	Collecte des données.....	148
a)	Animaux d'intérêt.....	148
b)	Recensement des cas cliniques.....	148
c)	Analyse des cas cliniques.....	148
d)	Choix de l'interprétation des résultats.....	149
C.	Résultats.....	149
1.	Participants de l'étude.....	149
2.	Épidémiologie des exophtalmies.....	149
a)	Secteur Méditerranée.....	149
b)	Secteur Tropical.....	151
3.	Gestion des exophtalmies.....	153

a) Manifestations cliniques.....	153
b) Mise en place d'un protocole, traitement et évolution.....	155
III. Discussions des deux études de terrain.....	156
A. Critique de l'analyse et de l'interprétation des questionnaires.....	156
B. Discussion comparative entre les deux études et la bibliographie.....	156
1. Fonctionnement des différentes infrastructures : critères de surveillance de la qualité de l'eau et des poissons.....	156
2. Inventaire des exophtalmies chez les poissons d'aquarium en France et à Monaco.....	157
a) Comparaison des matériels et des méthodes avec les études de la littérature.....	157
b) Comparaison des espèces, des secteurs cibles et de la saisonnalité.....	158
c) Comparaison de la gestion des exophtalmies.....	160
d) Comparaison de la finalité des cas d'exophtalmie.....	162
3. Discussion de la démarche diagnostique des exophtalmies.....	162
a) Les principaux signes cliniques associés.....	162
b) Les principales démarches diagnostiques.....	164
c) Principales étiologies et lien avec la littérature scientifique.....	165
d) Création d'un outil d'aide au diagnostic.....	167
CONCLUSION.....	173
BIBLIOGRAPHIE.....	174
ANNEXES.....	190

TABLES DES ANNEXES :

Annexe 1 : Tableau récapitulatif des bactéries composant le microbiote des téléostéens.....	190
Annexe 2 : Questionnaire envoyé aux aquariums publics français.....	191
Annexe 3 : Modèle de fiche pathologique utilisée à l'Institut Océanographique de Monaco.....	197
Annexe 4 : Modèle de fiche d'exophtalmie utilisée à l'Institut Océanographique de Monaco.....	198
Annexe 5 : Modèle de fiche d'autopsie utilisée à l'Institut Océanographique de Monaco.....	201

TABLES DES FIGURES :

Figure 1 : Classification simplifiée du vivant et situation des poissons.....	23
Figure 2 : Schéma anatomique de l'œil du téléostéen en coupe transversale.....	25
Figure 3 : Coupe histologique de cornée de poisson zèbre.....	27
Figure 4 : Schéma de la dynamique de l'humeur aqueuse chez le poisson zèbre.....	29
Figure 5 : Vascularisation de la glande choroïde de la truite arc-en-ciel.....	30
Figure 6 : Illustration schématique de l'appareil de soutien et d'accommodation du cristallin chez les téléostéens.....	31
Figure 7 : Coupe histologique d'une rétine de téléostéens sous microscope électronique.....	33
Figure 8 : Diagramme schématique montrant la croissance de la rétine des téléostéens.....	36
Figure 9 : Section tangentielle de rétine de téléostéens sous microscope électronique.....	37
Figure 10 : Schéma de la morphologie de deux types de poissons vivant zone mésopélagique.....	39
Figure 11 : Photographies des yeux de poissons téléostéens de récifs nocturne et diurne.....	40
Figure 12 : Photographie d'un poisson quatre yeux.....	41
Figure 13 : Contributions relatives de la cornée et du cristallin dans la formation des images sur la rétine selon les vertébrés.....	41
Figure 14 : Photographie d'un Blackmoor présentant une buphtalmie héréditaire.....	44
Figure 15 : Photographie d'une fiatole argentée présentant une microphthalmie unilatérale droite.....	44
Figure 16 : Photographie d'un tilapia sauvage présentant un phthisis bulbi gauche.....	45
Figure 17 : Photographie comparative entre une carpe Koï présentant une enophtalmie et une carpe Koï présentant un œil sain.....	45
Figure 18 : Photographie d'un Vivaneau à cinq bandes présentant une exophtalmie unilatérale gauche.....	46
Figure 19 : Photographie d'une murène verte présentant une opacification cornéenne bilatérale.....	47
Figure 20 : Rascasse brune photographiée dans son habitat naturel avec une kératite non ulcéralive caractérisée par un œdème cornéen de l'œil droit.....	48
Figure 21 : Photographie d'un sébaste présentant une kératite ulcéralive gauche.....	49
Figure 22 : Photographie d'un turbot commun présentant un hyphéma unilatéral gauche.....	50
Figure 23 : Photographie d'une uvéite aiguë gauche sur un Saint-Pierre.....	51
Figure 24 : Photographie d'un poisson rouge en queue d'éventail présentant une panophtalmie.....	52
Figure 25 : Photographie d'une cataracte totale sur un sébaste cuivré.....	52
Figure 26 : Photographie d'une luxation du cristallin gauche associée à un croissant aphaque sur un pageot acarné.....	54
Figure 27 : Photographie d'une truite arc-en-ciel présentant un hyphéma secondaire à une maladie de la bouche rouge.....	58
Figure 28 : Vibriose sévère chez une truite arc-en-ciel.....	60
Figure 29 : Maladie bactérienne rénale chez un saumon royal.....	61
Figure 30 : Streptococcose chez une tilapia du Nil.....	63

Figure 31 : Mycobactériose chez un molly.....	64
Figure 32 : Coupe histopathologique de rétine de mérou corail tacheté infecté par un nodavirus.....	67
Figure 33 : Opacification cornéenne chez un Tilapia du Nil secondaire à une infection à <i>Saprolegnia parasitica</i>	69
Figure 34 : Suspicion de phaeohyphomycose chez un sébaste à nez fendu.....	70
Figure 35 : Dermocystidiose chez une carpe Koï.....	71
Figure 36 : Cycle de développement de <i>Cryptocaryon irritans</i>	73
Figure 37 : Spécimen d' <i>Uronema marinum</i>	74
Figure 38 : Schéma simplifié du cycle de développement de <i>Diplostomum spp</i>	75
Figure 39 : Photomicrographie de <i>Diplostomum spp</i> . prélevé sur un cristallin d'un poisson.....	76
Figure 40 : Schéma simplifié du cycle de développement de <i>Neobenedenia spp</i>	77
Figure 41 : <i>Pomacanthus asfur</i> présentant une opacification cornéenne bilatérale causée par <i>Neobenedenia melleni</i>	78
Figure 42 : Cycle de développement des parasites myxozoaires.....	78
Figure 43 : Schéma de spores matures de <i>Myxobolus</i>	80
Figure 44 : Arowana argenté avec un syndrome drop-eye unilatéral.....	84
Figure 45 : Photographies d'yeux de murènes avec des dépôts cornéens lipidiques.....	85
Figure 46 : Coupe histopathologique d'une cornée de l'oeil droit d'une murène verte.....	85
Figure 47 : Photographie d'un oeil de bar commun présentant des bulles de gaz dans la chambre antérieure.....	91
Figure 48 : Photographie d'une chambre hyperbare.....	91
Figure 49 : Cycle de l'azote simplifié.....	94
Figure 50 : Analyse histologique de la mort cellulaire des photorécepteurs lors de dégénérescence rétinienne induite par la lumière.....	95
Figure 51 : Schéma du mécanisme de sécrétion de l'O ₂ dans le réseau admirable de la choroïde chez les téléostéens.....	98
Figure 52 : Hydropisie chez un poisson rouge.....	99
Figure 53 : Cataracte congénitale sur un tilapia du Mozambique.....	100
Figure 54 : Photographies de tumeurs oculaires.....	101
Figure 55 : Photographies de deux bassins.....	104
Figure 56 : Photographies de fond d'oeil de poissons.....	111
Figure 57 : Examen ophtalmologique réalisé à l'aide d'un ophtalmoscope indirect.....	111
Figure 58 : Mesure de pression intra-oculaire avec un tonomètre sur un oscar.....	114
Figure 59 : Échographie sur un oeil sain de poisson chirurgical olive.....	116
Figure 60 : Ponction rétrobulbaire sur un sébaste canari.....	118
Figure 61 : Autopsie sur un poisson Saint-Pierre.....	119
Figure 62 : Coupe histopathologique de scuticociliatose sur une cornée de chinchard.....	120
Figure 63 : Sites d'injection chez le poisson.....	125
Figure 64 : Vivaneau sédaté recevant un traitement antibiotique topique.....	126
Figure 65 : Énucléation gauche sur un poisson rouge présentant une tumeur rétinienne.....	132
Figure 66 : Lensectomie réalisée sur un loup tacheté.....	134
Figure 67 : Localisation de la pseudobranchie chez un bar rayé.....	135
Figure 68 : Cryochirurgie réalisée sur une carpe Koï.....	136
Figure 69 : Diagramme en bâton présentant l'incidence des exophtalmies par espèce entre janvier 2015 et octobre 2023 dans le secteur Méditerranée.....	150
Figure 70 : Diagramme en bâton présentant le nombre d'occurrences d'exophtalmies par bassin entre janvier 2015 et octobre 2023 dans le secteur Méditerranée.....	151
Figure 71 : Diagramme circulaire présentant les proportions saisonnières des exophtalmies entre janvier 2015 et octobre 2023 dans le secteur Méditerranée.....	151
Figure 72 : Diagramme en bâton présentant l'incidence des exophtalmies par espèce entre janvier 2015 et octobre 2023 dans le secteur Tropical.....	152
Figure 73 : Diagramme en bâton présentant le nombre d'occurrences d'exophtalmies par bassin entre	

janvier 2015 et octobre 2023 dans le secteur Tropical.....	153
Figure 74 : Diagramme circulaire présentant les proportions saisonnières des exophtalmies entre janvier 2015 et octobre 2023 dans le secteur Tropical.....	153
Figure 75 : Diagramme circulaire présentant les proportions des exophtalmies associées à une atteinte de l'état général entre janvier 2015 et octobre 2023.....	154
Figure 76 : Diagramme circulaire présentant la proportion des types de circuit utilisés sur les cas d'exophtalmies entre janvier 2015 et octobre 2023.....	155
Figure 77 : Diagramme circulaire présentant la proportion des finalités observées sur les cas d'exophtalmies entre janvier 2015 et octobre 2023.....	155
Figure 78 : Proportion des principales familles de poissons d'aquarium retrouvés dans les diagnostics oculaires dans l'étude de Kumaratunga et al. (2022).....	159
Figure 79 : Proportion des principales lésions oculaires observées (hors cataracte) sur une population de poisson-lune (<i>Monodactylus argenteus</i>).....	163
Figure 80 : Proportions de la nature des diagnostics oculaires et périoculaires obtenus dans l'étude de Kumaratunga et al. (2022). Graphique réalisé à partir des résultats décrits dans l'étude.....	166
Figure 81 : Proportions des types d'inflammations oculaires obtenues dans l'étude de Kumaratunga et al. (2022). Graphique réalisé à partir des résultats décrits dans l'étude.....	167
Figure 82 : Arbre 1, exophtalmie sur un cas isolé.....	169
Figure 83 : Arbre 2, exophtalmie sur plusieurs cas.....	170
Figure 83 : Arbre 3, examens complémentaires selon la première hypothèse diagnostique.....	171

TABLES DES TABLEAUX :

<u>Tableau 1</u> : Catégories des rhabdovirus d'intérêt selon la loi Santé animale.....	65
<u>Tableau 2</u> : Les nutriments essentiels chez les poissons d'ornements.	83
<u>Tableau 3</u> : Signes cliniques oculaires et systémiques associés lors d'hypovitaminose.....	87
<u>Tableau 4</u> : Exemple de fiche de renseignements pour définir l'anamnèse.....	106
<u>Tableau 5</u> : Stades anesthésiques chez le poisson.....	117
<u>Tableau 6</u> : Principaux agents désinfectants utilisés en médecine aquacole.....	123
<u>Tableau 7</u> : Principales molécules antibiotiques utilisées en médecine aquacole.....	127
<u>Tableau 8</u> : Principales molécules antiparasitaires utilisées en médecine aquacole.....	128
<u>Tableau 9</u> : Principales molécules antifongiques utilisées en médecine aquacole.....	129
<u>Tableau 10</u> : Principales molécules anti-inflammatoires utilisées en médecine aquacole.....	129
<u>Tableau 11</u> : Autres molécules utilisées en médecine aquacole.....	130
<u>Tableau 12</u> : Récapitulatif des différents paramètres environnementaux mesurés dans six aquariums et leur fréquence de mesure.....	143
<u>Tableau 13</u> : Récapitulatif des différents approvisionnements de l'eau des bassins dans trois aquariums et leurs traitements.....	145
<u>Tableau 14</u> : Récapitulatif des différents usages antibiotiques lors d'exophtalmies dans les quatre aquariums concernés.....	145

TABLES DES ABRÉVIATIONS ET DES SIGLES :

ADN : Acide désoxyribonucléique
AINS : Anti-inflammatoire Non Stéroïdien
AIS : Anti-inflammatoire Stéroïdien
AMM : Autorisation de mise sur le marché
ARN : Acide ribonucléique
Ba : Balnéation
BFNNV : Barfin Flounder Nervous Necrosis Virus.
CNRTL : Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales
ELISA : Enzyme-like Immunosorbent Assay : Technique d'immunoabsorption par enzyme liée.
et al. : et alii
etc. : et cetera
g : gramme
IFAT : Immunofluorescence Antibody Test : Technique d'immunofluorescence
IM : Intramusculaire
INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
IP : Intrapéritonéal
ITIS : Integrated Taxonomic Information System : Système intégré d'information taxonomique.
IV : Intraveineux
L : Litre
MALT : Mucosa Associated Lymphoid Tissue : Tissu Lymphoïde associé aux muqueuses
mm : Millimètre
mmHg : Millimètre de mercure
PAH : Polycyclic Aromatic Hydrocarbons : Hydrocarbures aromatiques polycycliques
PCR : Polymerase Chain Reaction : Réaction de polymérase en chaîne
pH : Potentiel Hydrogène
PIO : Pression intra-oculaire
PO : *Per os*
qPCR : Quantitative PCR
RCP : Résumé des Caractéristiques du Produit
RT-PCR : Reverse Transcriptase PCR
RGNNV : Red-spotted Grouper Nervous Necrosis Virus
SJNNV : Striped Jack Nervous Necrosis Virus
TPNNV : Tiger Puffer Nervous Necrosis Virus
UV : Ultraviolet
VER : Viral encephalopathy and retinopathy : Encéphalopathie et rétinopathie virales
VNN : Viral Nervous Necrosis : Nécrose nerveuse virale
°C : Degré Celsius
µm : Micromètre
% : Pourcentage

CONTEXTE ET INTRODUCTION :

En France, le développement de la médecine des poissons en aquarium est récent au sein de la profession vétérinaire. De plus, les vétérinaires exerçants dans le domaine de l'aquariophilie sont rares et ils conservent souvent une activité reliée à la pisciculture. Par ailleurs, le poisson d'aquarium implique différentes populations. D'une part, on distingue les poissons issus d'aquariums privés. Ils sont gérés par des aquariophiles amateurs. D'autre part, les poissons issus d'aquariums publics, c'est-à-dire ouverts à la visite du public. Selon le type d'aquariums, les enjeux de la consultation vétérinaire varient. En effet, les aquariums publics ont des considérations esthétiques quant aux soins effectués. Les aquariums privés peuvent avoir plus de restrictions sur le coût des soins. Le vétérinaire aquacole doit être en mesure de prendre en charge tout type d'espèce en s'adaptant au contexte de la consultation.

Actuellement, une grande variété d'espèces de poissons sont présentes dans les aquariums. Les aquariums publics s'efforcent d'exposer des poissons, issus de milieux différents afin d'instruire les visiteurs. D'après FishBase, une base de données internationale recensant les différentes espèces de poissons, plus de 30 000 espèces de poissons dans le monde sont actuellement décrites. Malgré cette grande diversité d'espèces, certains caractères restent conservés immuables. C'est le cas de la vision. En effet, au sein des espèces de poissons, la vision est majoritairement assurée par une structure anatomique immuable : l'œil. Chez les poissons, l'œil est un organe en continuité avec le milieu extérieur et est, par conséquent, sensible aux pathogènes externes. Cependant, de nombreuses affections oculaires chez les poissons ont une origine systémique. Ainsi, les troubles oculaires sont fréquemment observés en aquarium.

L'essor de la médecine aquacole s'accompagne donc d'un développement des connaissances en ophtalmologie. Ce travail de thèse a pour objectif de dresser un état des connaissances actuelles concernant l'ophtalmologie des poissons, et de les confronter aux pathologies observées dans les aquariums publics. Ce travail est rédigé en deux parties :

- La première partie cible la bibliographie actuelle permettant de faire un point sur les notions anatomiques et physiologiques de l'œil des poissons, après un rappel de la classification phylogénétique des poissons. Elle présente également les pathologies oculaires rencontrées chez les poissons d'ornement. Enfin, elle expose les différentes gestions possibles d'une atteinte oculaire et comment les prévenir.
- La seconde partie est composée d'une analyse descriptive dans les aquariums français ciblant le signe clinique oculaire le plus fréquemment observé dans les aquariums publics : l'exophtalmie. Un état des lieux plus poussé sur les exophtalmies présentes à l'Institut Océanographique de Monaco fait suite au premier inventaire. Cette deuxième analyse a pour objectif de fournir une aide au diagnostic et à la prise en charge des exophtalmies.

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. L'oeil des poissons : définition

A. Rappel de la classification phylogénétique des poissons

1. Définition du "poisson"

Afin de mieux établir les limites du sujet, il est important de bien définir le terme de "poisson". D'après la définition du CNTRL, le poisson désigne "un animal aquatique vertébré à peau non cornée, à température variable et à respiration généralement branchiale, pourvu de nageoires et possédant généralement une vessie natatoire, présentant souvent un corps fusiforme et couvert d'écailles, qui se reproduit selon le mode ovipare ou vivipare."

Cependant, d'un point de vue phylogénétique, le terme de poisson n'a plus de sens. La phylogénie correspond à l'étude des liens de parenté entre les êtres vivants dans le but de les répartir dans différents embranchements, appelés taxons. Ces liens de parenté s'appuient sur différents critères (anatomiques, physiologiques, moléculaires, comportementaux, etc.).

Le terme de "poisson" fait référence à diverses espèces aquatiques qui appartiennent à des classifications différentes. Par exemple, le poisson-pierre (*Synanceia verrucosa*) est physiquement proche de la petite roussette (*Scyliorhinus canicula*), mais il est phylogénétique plus proche de l'hippocampe à gros ventre (*Hippocampus abdominalis*). Depuis la fin des années 1990, le travail des taxonomistes (Lecointre et al., 2001) a mis en évidence des divergences entre les espèces, les obligeant à modifier la classification des poissons. Avant même de s'intéresser aux principales familles de poisson, il est important de situer ces derniers au sein de l'arbre du vivant. D'abord, l'arbre du vivant repose sur trois embranchements principaux (Wheelis et al. 1992) : celui des archées (micro-organismes unicellulaires extrémophiles procaryotes avec un ADN circulaire libre), des eubactéries (micro-organismes unicellulaires procaryotes avec un ADN circulaire libre) et des eucaryotes (organismes pluri- ou unicellulaires avec un noyau contenant de l'ADN). C'est depuis l'embranchement des eucaryotes que provient le taxon des métazoaires (organismes animaux pluricellulaires), où on y trouve les espèces animales aquatiques. Les poissons font partie du sous-embranchement des vertébrés (Fig. 1) cependant, au sein des vertébrés on distingue deux classes qui marquent le début des divergences entre les espèces aquatiques animales. D'une part, on trouve la classe des chondrichthyens constituée des organismes aquatiques munis d'un squelette entièrement cartilagineux. On y retrouve les espèces de requins et de raies, qui ne seront pas ciblées pour le travail de cette thèse. D'autre part, on trouve la classe des ostéichthyens constituée des organismes aquatiques munis d'un squelette osseux. Parmi les ostéichthyens, on distingue plusieurs taxons où sont classées les espèces de poissons. Les principaux groupes taxonomiques concernés sont les suivants :

- Les téléostéens : espèces animales aquatiques avec un squelette entièrement ossifié.
- Les holostéens : espèces animales aquatiques avec un squelette majoritairement cartilagineux
- Les chondrostéens : espèces animales aquatiques avec un squelette incomplètement ossifié.

Ainsi, les poissons constituent un groupe paraphylétique dont la classification phylogénétique évolue sans cesse. Malgré cette diversité de taxons, un groupe reste majoritaire : les téléostéens. Il s'agit du groupe dans lequel on retrouve plus de 90 % des espèces de poissons. Ils représentent 47% des espèces de vertébrés actuelles connues. Pour la suite de ce manuscrit, le terme "poisson" concerne les espèces animales aquatiques incluses dans les trois groupes précédemment cités : les chondrostéens, les holostéens et les téléostéens (Lecointre et al., 2010).

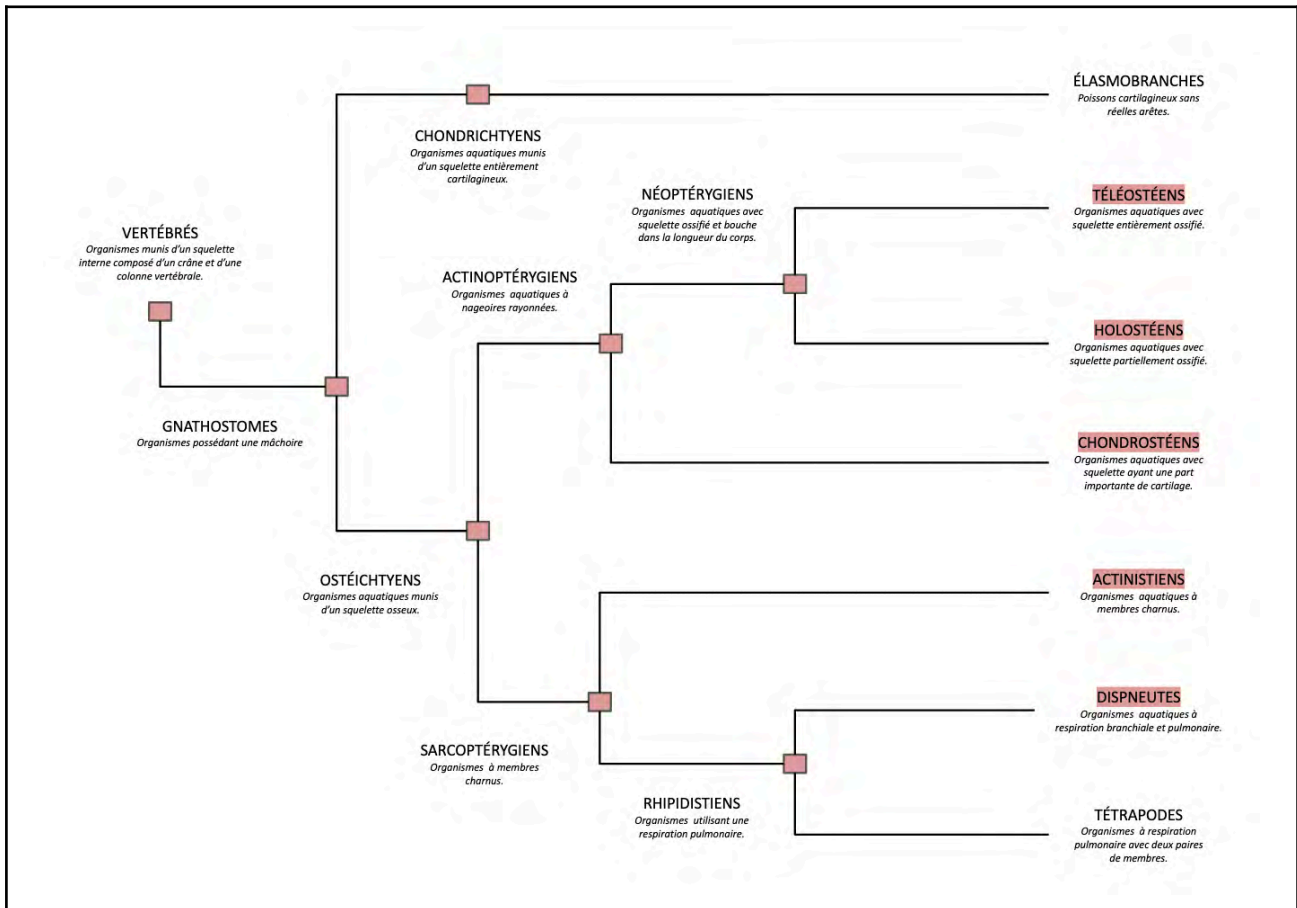


Fig. 1 : Classification simplifiée des vertébrés. Les "poissons" d'intérêt pour cette thèse sont indiqués en rouge.

2. Les groupes taxonomiques rencontrés en aquarium

La diversité des espèces de poissons rencontrées en aquarium est telle qu'une simple énumération ne fait pas sens. C'est pourquoi, seules les principales familles de poisson seront présentées ici.

a) *Les chondrostéens*

Les chondrostéens sont un groupe monophylétique de poissons issu des actinoptérygiens (Fig. 1). Ils se caractérisent par un squelette incomplètement ossifié avec une part majoritaire de cartilage. On y trouve des espèces vivant en eau douce, d'autres vivant en mer et enfin des espèces potamotoques (individu vivant en mer mais naissant et

se reproduisant en eau douce). Cette sous-classe contient beaucoup d'espèces aujourd'hui disparues, mais il reste trois familles actuelles :

- La famille des Acipenseridae : constituée des espèces d'esturgeons tels que le béluga (*Huso Huso*) ou l'esturgeon d'Europe (*Acipenser sturio*).
- La famille des Polyodontidae : constituée des poissons-spatules ou polydons. Aujourd'hui il ne reste qu'une seule espèce, le spatulaire (*Polyodon spatula*). Le spatulaire chinois (*Psephurus gladius*) s'étant éteint récemment.
- La famille des Polypteridae : constituée d'espèces de poissons possédant des poumons tels que le bichir guinéen (*Polypterus ansorgii*) ou le poisson-roseau (*Erpetoichthys calabaricus*).

b) Les holostéens

Les holostéens présentent des caractères intermédiaires entre les chondrostéens et les téléostéens (Fig. 1). En effet, le squelette n'est pas entièrement ossifié comme chez les téléostéens mais la portion cartilagineuse est minoritaire comparée aux chondrostéens. De plus, ils présentent une nageoire caudale hétérocerque, c'est-à-dire constituée de deux lobes inégaux, contrairement aux téléostéens. De même que chez les chondrostéens, les holostéens sont principalement constitués d'espèces éteintes. Actuellement, on distingue deux familles :

- La famille des Lepisosteidae : constituée uniquement d'espèces d'eaux douces tels que la garpic alligator (*Atractosteus spatula*) ou le lépisosté tacheté (*Lepisosteus oculatus*).
- La famille des Amiidae : aujourd'hui on y trouve une seule espèce, le poisson-castor (*Amia calva*).

c) Les téléostéens

Il s'agit du groupe majoritaire concernant la répartition des espèces de poissons. On y trouve à la fois des espèces marines et dulçaquicoles. C'est un groupe riche, réparti en presque 400 familles différentes (Lecointre et al., 2010). A titre de comparaison, le groupe des mammifères est réparti en presque 160 familles différentes.

Selon le rapport de l'ITIS, les téléostéens sont constitués de plus de 25 000 espèces. Celles-ci sont réparties en quarante ordres différents. Dans les aquariums, les espèces exposées appartiennent environ à une dizaine d'ordres différents.

B. Anatomie et physiologie de l'oeil

1. Anatomie et physiologie générales

Bien que les espèces de poissons présentent de fortes différences morphologiques, l'oeil reste une structure anatomique très conservée. Dans un premier temps, l'anatomie et la physiologie générale de l'oeil seront abordées avec les principales structures communes à la plupart des poissons. Dans un second temps, quelques particularités et adaptations spécifiques seront détaillées.

a) Description générale

L'œil désigne l'organe de la vue. Il est constitué du nerf optique, du globe oculaire et de ses annexes, logés dans l'orbite. Chez les poissons, les yeux sont situés latéralement et ils grandissent durant toute la vie de l'individu.

Le globe oculaire est une structure sphérique, légèrement aplatie sur sa face orientée vers l'extérieur (Fig. 2). Il loge dans une cavité osseuse appelée orbite, d'où émerge le canal optique. C'est dans ce dernier que passe le nerf optique, permettant la transmission du signal électrique émis par la rétine vers le cerveau afin de traiter l'information. Anatomiquement, le globe ou bulbe oculaire des poissons peut être séparé en deux segments séparés par le cristallin. Le segment antérieur est constitué de la cornée, de la chambre antérieure et des corps ciliaires. La fente pupillaire assure la communication entre les deux segments. Dans le segment postérieur, on trouve l'iris, la chambre postérieure et la rétine (Chhetri et al., 2014). Tous ces éléments seront détaillés ultérieurement.

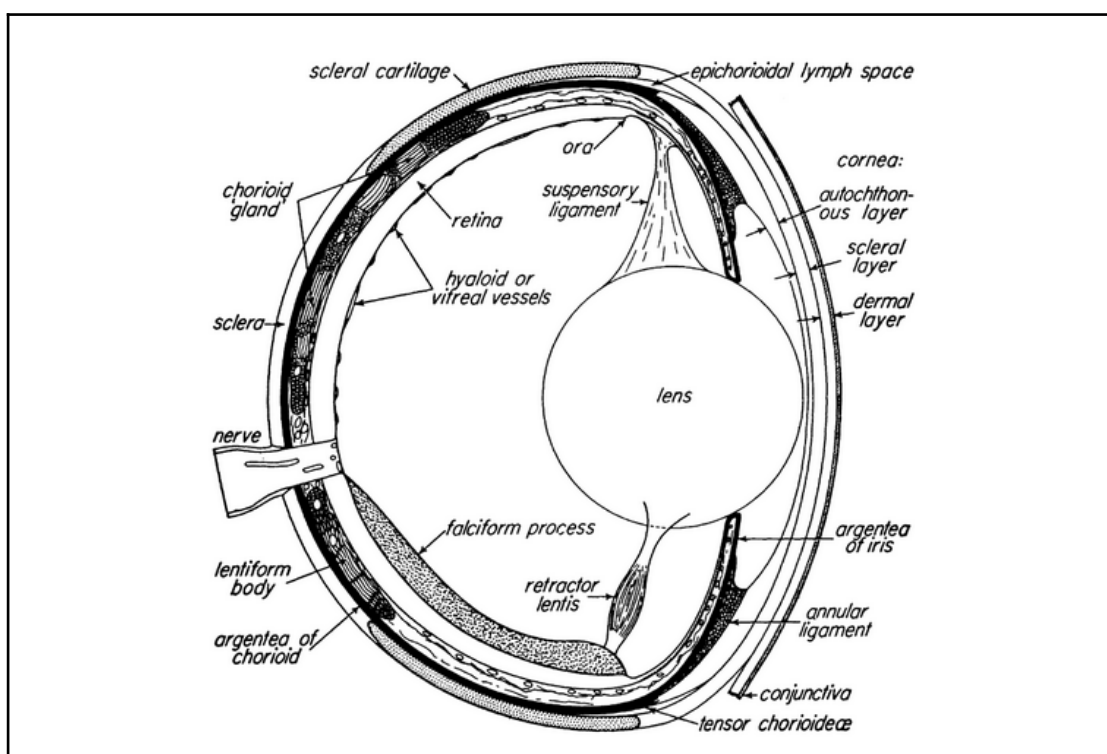


Fig. 2 : Schéma anatomique de l'œil du téléostéen en coupe transversale. Pas toutes les structures indiquées sont présentes. D'après J.T. Brett (1957).

b) Les annexes

Le soutien du globe oculaire dans l'orbite est assuré grâce aux annexes. L'orbite est une cavité osseuse de forme sphérique. La cavité orbitaire est issue de la fusion de plusieurs os du crâne tels que l'os frontal ou l'os zygomatique. Elle contient le globe oculaire ainsi que ses annexes. Parmi les annexes, on trouve des structures osseuses, cartilagineuses, fibreuses et musculaires.

En plus de l'orbite, d'autres éléments osseux assurent le soutien de l'œil dans la cavité orbitaire. On trouve au sein du cartilage scléreux, qui permet l'adhésion du globe

oculaire à l'orbite, deux os scléaux. L'un situé rostralement et l'autre caudalement au globe oculaire. Le cartilage scléreux se développe, chez les individus adultes, dorsalement et ventralement au globe oculaire (Parker-Graham et al. 2022). Il est adhérent à la sclère, une enveloppe fibreuse qui entoure le globe oculaire assurant une nouvelle protection des structures. C'est au niveau de la sclère que s'insèrent les muscles oculomoteurs. Ces muscles squelettiques permettent les mouvements du globe oculaire dans la cavité orbitaire. Ils sont innervés par la troisième paire de nerfs crâniens (Roberts, 1989). Chez les téléostéens, on distingue six muscles oculomoteurs :

- Le muscle oblique dorsal
- Le muscle oblique ventral
- Le muscle rectus dorsal
- Le muscle rectus médial
- Le muscle rectus ventral
- Le muscle rectus latéral

c) *La cornée*

La plupart des espèces de poissons, avec quelques exceptions, ont un milieu de vie aquatique. Ainsi, la cornée est sur sa surface externe et interne en contact avec du liquide ce qui influence les échanges osmotiques entre le globe oculaire et le milieu extérieur. L'indice de réfraction de la cornée est égal à celui de l'eau. Des irrégularités de la surface de la cornée impactent peu la vision des poissons, car il n'y a pas d'interface air-eau. De plus, la cornée est plus épaisse et plus aplatie chez les poissons que chez les mammifères. Elle est composée de plusieurs couches cellulaires assurant des fonctions spécifiques visualisables sur la figure 3.

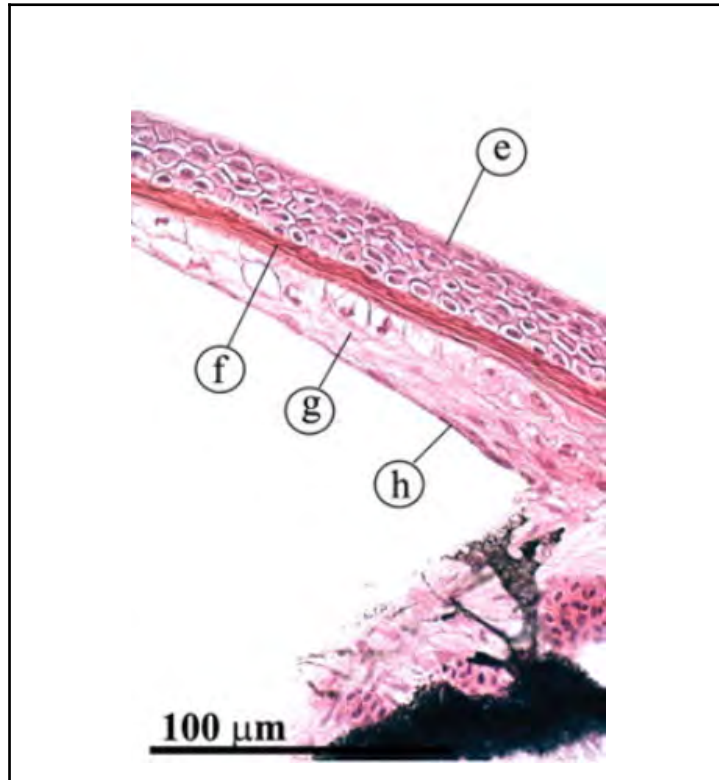


Fig. 3 : Coupe histologique de cornée de poisson zèbre (*Danio rerio*). On observe : (e) la couche épithéliale ; (f) la Membrane de Bowman ; (g) la couche conjonctive ; (h) l'endothélium. D'après A.L. Menke et al., 2011.

1- Couche épithéliale :

Constituée d'un épithélium pavimenteux couvert de mucus, la couche épithéliale est en continuité avec la sclère et le tégument. Elle est recouverte d'un film protéo-lipidique protecteur. Elle assure une protection physique et le maintien de la transparence de la cornée. De plus, elle permet une hydratation permanente de la cornée. Cet épithélium est aussi sous-divisé en différentes couches :

- Couche cellulaire externe : elle est perméable à l'eau et possède des micro-reliefs.
- Couche cellulaire interne : elle est imperméable à l'eau et au sodium constitué de cellules cuboïdes riches en mitochondries et desmosomes.
- Couche cellulaire basale : elle est constituée de cellules en forme de colonne.

2- Membrane de Bowman :

La membrane de Bowman n'est pas présente chez toutes les espèces de poissons. Chez les espèces concernées, cette couche est constituée de fibrilles de collagène organisées en un schéma horizontal.

3- Couche conjonctive :

La couche conjonctive est plus épaisse chez les espèces d'eau de mer. Elle est avasculaire et est constituée d'une couche superficielle et une couche profonde vaguement attachées entre elles. Histologiquement, le stroma dérive de la couche dermique.

4- Membrane de Descemet :

La membrane de Descemet permet une nouvelle protection de la couche conjonctive superficielle contre l'hyperhydratation en ne laissant passer que l'eau et le sodium. Elle n'est pas présente chez toutes les espèces de poissons. Il s'agit d'un ligament annulaire constitué de protéoglycanes avec une faible densité cellulaire. On peut noter que ce ligament se termine dorsalement en forme de U inversé tandis qu'il se termine ventralement en forme d'entonnoir. Sa fonction est encore inconnue mais, la membrane de Descemet possède un rôle sécrétoire.

5- Endothélium :

L'endothélium n'est pas non plus présent chez toutes les espèces de poissons. Il est principalement constitué de cellules hexagonales ou pentagonales. Sa densité est variable selon les espèces, mais ne semble pas être corrélée au milieu de vie (Parker-Graham et al. 2022).

Bien que cette organisation en couche de la cornée se retrouve chez toutes les espèces de poissons, on trouve donc des variabilités entre les espèces. Ces particularités proviennent souvent d'adaptation à des milieux aquatiques particuliers. Elles seront développées ultérieurement.

d) L'humeur aqueuse

L'humeur aqueuse est le liquide de la chambre antérieure du globe oculaire. La chambre antérieure désigne l'espace situé entre l'endothélium cornéen et l'iris. L'humeur aqueuse est sécrétée par les corps ciliaires. La présence de mucopolysaccharides assure une balance hydrique stable entre l'humeur aqueuse et la cornée grâce à l'effet Donnan (Parker-Graham et al. 2022).

D'aspect aqueux, clair et transparent, elle possède un indice de réfraction similaire à celui de la cornée. L'humeur aqueuse se forme dans les corps ciliaires au niveau de la chambre postérieure de l'œil en filtrant les capillaires sanguins. Elle accède ensuite à la chambre antérieure à travers la pupille, pour y être réabsorbée par deux voies principales. La première voie s'effectue au niveau du réseau canaliculaire ventral (voie d'accès 1 et 2 sur la figure 4) situé dans le ligament annulaire. Ce réseau est connecté au plexus angulaire ventral lui-même relié au système veineux choroïdien. La seconde voie s'effectue au niveau des vaisseaux vitréo-rétiniens ventraux des corps ciliaires (voie d'accès 3 sur la figure 4) (Gray et al. 2009). Les différentes voies d'absorption sont désignées par les flèches bleues sur la figure 4.

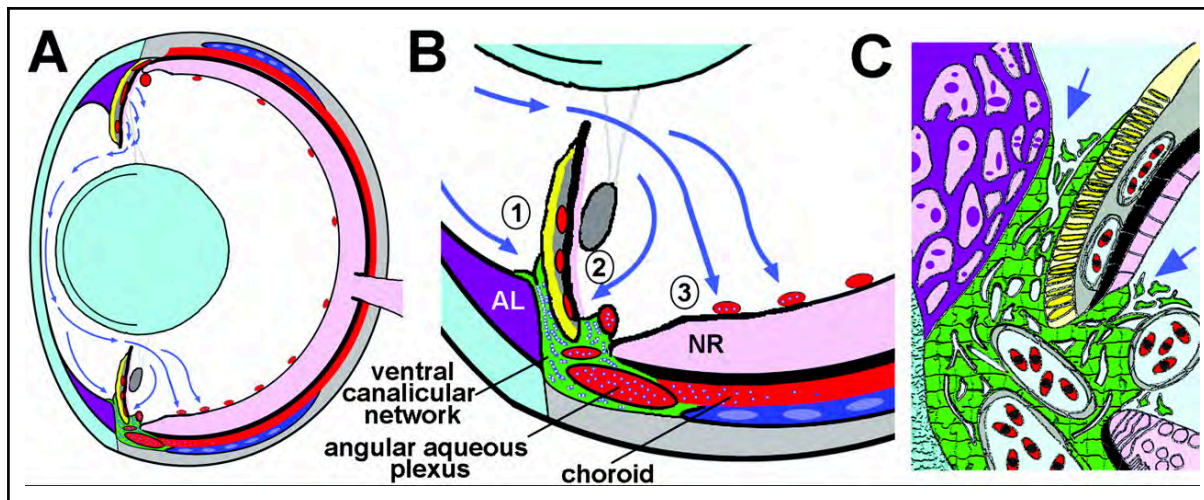


Fig. 4 : Schéma de la dynamique de l'humeur aqueuse chez le poisson zèbre (*Danio rerio*). (A) Vue d'ensemble du flux de l'humeur aqueuse (flèches bleues) ; allant de l'épithélium ciliaire dorsal au réseau canaliculaire ventrale et aux vaisseaux vitréo-rétiniens ventraux. (B) Augmentation de la grosseur du flux d'humeur aqueuse indiquant une absorption dans les ouvertures irido-cornéennes et ciliaires du réseau canalaire ventrale et des vaisseaux vitréo-rétiniens ventraux. (C) Détail de la structure histologique de la voie d'excrétion. On observe les cellules du tissu conjonctif juxta-canaliculaire aux ouvertures irido-cornéennes et ciliaires (flèches bleues).

Lentille et cornée (bleu clair); AL, ligament annulaire (violet); vaisseaux sanguins et sinus (rouge); iris argentea (jaune); iris stroma, lentis retractor et sclera (gris); NR, rétine neurale (rose); osselet scléral (bleu foncé); humeur aqueuse dans les tissus de sortie (points bleu-blanc en A et B; bleu pâle en C). D'après Gray et al. (2009).

L'humeur aqueuse sert à nourrir et à oxygéner les structures avasculaires de la partie antérieure de l'œil tels que la cornée et le cristallin. En parallèle, elle assure également le maintien de la pression intra-oculaire.

e) L'uvée

L'uvée correspond à la tunique moyenne de l'œil. Elle est constituée de deux parties distinctes :

1- L'iris :

L'iris est une membrane pigmentée de l'œil située derrière la cornée et qui présente en son centre un orifice pupillaire. Parmi les différentes espèces de téléostéens, on observe une grande variabilité de l'iris en taille et en forme. De plus, la plupart des téléostéens ne possèdent que peu voire aucun muscle squelettique ni de muscles dilatateurs de l'iris, rendant le réflexe pupillaire réduit voire absent (Whitaker, 2001). En partie ventrale de l'iris, il y a une fusion avec la membrane de Descemet afin de former l'angle irido-cornéen, qui est le lieu de drainage de l'humeur aqueuse.

L'iris possède plusieurs couches superposées. Une couche ectodermique pigmentée antérieure et une couche non-pigmentée postérieure caractérisée par un épithélium pavimenteux simple. Entre elles, on a un stroma constitué de vaisseaux sanguins, de mélanine et d'une couche antérieure de guanophores (Parker-Graham et al. 2022). En périphérie de l'iris, on trouve un ligament annulaire qui assure l'adhérence de l'iris à la cornée (Brett, 1957).

2- La choroïde :

La choroïde est une membrane vascularisée et pigmentée située entre la sclère et la rétine, en continuité avec l'iris. Elle contient un réseau vasculaire qui assure une oxygénation, une fonction immunitaire et un apport en nutriment à la rétine avasculaire (Whitaker, 2001).

Chez les téléostéens, on distingue différentes parties de la choroïde :

D'abord, le processus falciforme, qui est une crête vascularisée faisant protrusion antérieurement à travers la rétine, le long de la fissure embryonnaire. Chez les téléostéens, on distingue plus de quatre types anatomiques différents. Ce processus falciforme n'est pas présent chez toutes les espèces de téléostéens (Hanyu, 1959).

Ensuite, l'argenté ou tapetum lucidum, une couche cellulaire jaune-argentée réfléchissante composée de guanophores, à l'origine de dépôts de guanine. L'argenté n'est pas présente chez toutes les espèces de téléostéens, on la retrouve principalement chez les espèces marines (Nicol, 1975 ; Brett, 1957).

Et enfin, la glande choroïde, une structure en forme de fer à cheval (Fig. 5) entourant le nerf optique. Elle est constituée d'un réseau admirable ou "rete mirabile", avec un réseau de capillaires artériels parallèle à un réseau de capillaires veineux. Ainsi, on y trouve de fortes concentrations en oxygène (Barnett, 1951). L'arrivée du sang vers ce "rete mirabile", s'effectue depuis deux artères distinctes. La première provient de la pseudobranchie. Elle dérive du premier arc branchial et est composée de réseaux similaires de capillaires, alternant avec des rangées de cellules de fibroblastes minces (Menke et al. 2011). La seconde artère sert également à la vascularisation du nerf optique, des muscles extraoculaires et de la graisse péri-orbitale (Roberts, 1989) (Parker-Graham et al. 2022). Le "rete mirabile" assure également la vascularisation du processus falciforme et de la rétine, selon le même mécanisme que la vessie natatoire.

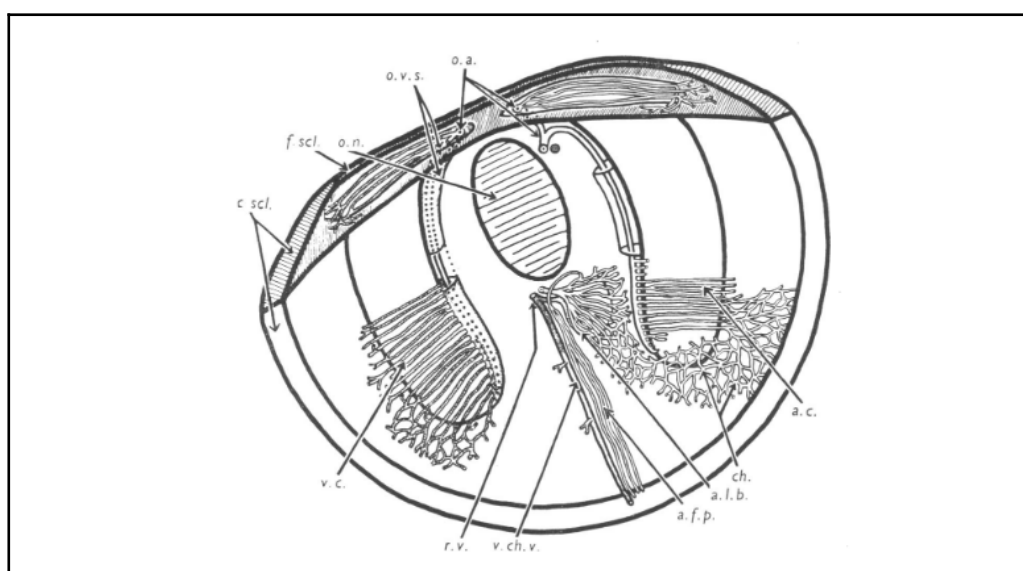


Fig. 5 : Vascularisation de la glande choroïde de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). D'après C. h. Barnett (1951).

o. n : nerf optique ; o.a : artère ophtalmique ; o. v. s : sinus veineux ophtalmique ; v. ch. f : veine choroïde ventrale ; ch. : choroïde ; r. v : veine rétinienne ; v. c : veines choroïdiennes ; a. c : artères choroïdiennes ; a. l. b : artère du processus lentiforme ; a. f. p : artère du processus falciforme.

f) Le cristallin

Le cristallin est une structure anatomique sphérique, avasculaire et sans structure nerveuse, qui permet la réfraction de la lumière sur la rétine. Il est composé de différentes couches cellulaires organisées en fibres concentriques. En son centre, on trouve un noyau ou nucleus, entouré d'un cortex, lui-même entouré d'une capsule hyaline. Les différentes couches cellulaires sont de même nature histologique.

Le cristallin fait légèrement protrusion à travers l'orifice pupillaire, ce qui permet aux téléostéens d'avoir un champ de vision élargi. Cependant, le cristallin des téléostéens ne possède pas de fibres musculaires rendant impossible une modification de la convergence de ce dernier. Une accommodation reste toutefois possible grâce au muscle retractor lentis (Fig. 6). Il s'insère ventralement au cristallin et distalement au processus falciforme (Brett, 1957). Il est à l'origine de mouvements antéro-postérieurs au sein du globe oculaire. L'accommodation est plus développée chez les prédateurs.

Dorsalement, le cristallin est principalement soutenu par un ligament suspenseur mais celui-ci n'intervient pas dans l'accommodation (Roberts, 1989). Dans le plan équatorial, plusieurs ligaments participent au maintien du cristallin (Fig. 6). Parmi les espèces de téléostéens on trouve une variabilité du nombre de ligaments suspenseurs du cristallin. Par exemple, chez certains cichlidés comme *Aequidens pulcher*, on observe deux fins ligaments qui s'insèrent de la partie médio-postérieure du cristallin au processus falciforme. Ces deux ligaments ne se retrouvent pas dans des espèces telles que *Centrolabrus exoletus* (Khorramshahi et al., 2008).

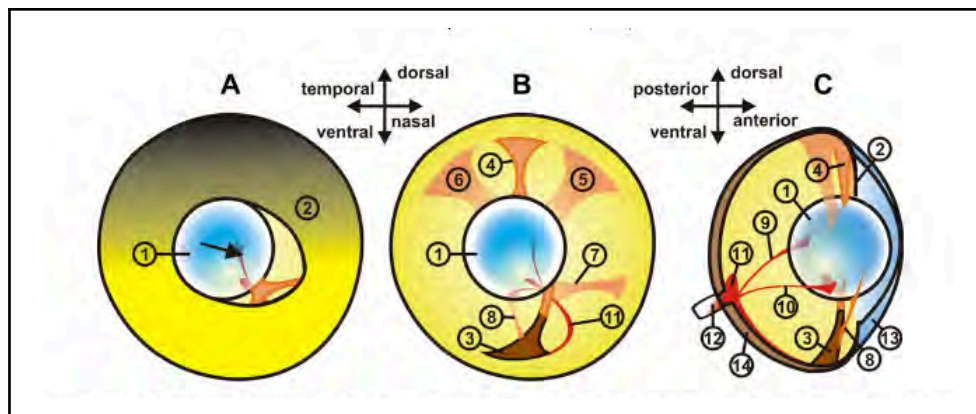


Fig. 6 : Illustration schématique de l'appareil de soutien et d'accommodation du cristallin dans l'œil droit d'un téléostéen en vue axiale (A et B) et en vue temporale (C). Légende : (1) cristallin ; (2) iris ; (3) muscle retractor lentis ; (4) ligament suspenseur central ; (5) ligament suspenseur nasal ; (6) ligament suspenseur temporal ; (7) ligament frontal ; (8) ligament accessoire ; (9) ligament postérieur dorsal ; (10) ligament postérieur ventral ; (11) processus falciforme ; (12) nerf optique ; (13) cornée ; (14) rétine. D'après Khorramshahi et al. (2008).

g) L'humeur vitrée

L'humeur vitrée ou le corps vitré est une structure transparente de la chambre postérieure du globe oculaire plus ou moins gélatineuse selon les espèces. Cette matrice extracellulaire est majoritairement composée de molécules structurales comme du collagène, de l'acide hyaluronique et des glycosaminoglycane (GAG). Elle possède un

indice de réfraction similaire à l'humeur aqueuse. L'humeur vitrée assure surtout une protection mécanique des structures oculaires de la chambre postérieure ainsi que le maintien de la pression intra-oculaire (Li et al., 2023).

h) La rétine

La rétine est une couche cellulaire avasculaire en contact direct avec l'humeur vitrée qui permet la traduction d'un signal lumineux en un signal électrique. C'est une structure très conservée au sein du règne animal avec de nombreuses caractéristiques anatomiques et physiologiques communes.

La vascularisation de la rétine est assurée par l'effet Root : une diminution du pH induit une diminution de l'affinité de l'oxygène à l'hémoglobine à l'origine d'une augmentation de la pression partielle en O₂. Chez les individus où cet effet est important on aura parallèlement une diminution de la quantité de capillaires pré-rétiens et intra-rétiens en privilégiant le rete mirabile de la choroïde (Waser et al., 2006).

L'épaisseur de la rétine varie selon la localisation au sein du globe oculaire. A l'instar des mammifères qui présentent une fovéa, on trouve une région spécifique de la rétine qui est plus dense en photorécepteurs. Cependant sa localisation diffère puisqu'elle se situe plus en périphérie par rapport à la papille optique située au centre (Parker-Graham, et al., 2022).

Tous les vertébrés possèdent une rétine où les cellules photosensibles sont réparties en trois grandes catégories. Ces populations cellulaires sont organisées en différentes couches que l'on retrouve sur la figure 7. Les couches cellulaires constitutives de la rétine de l'extérieur vers l'intérieur du globe oculaire sont les suivantes (Stenkamp, 2007).

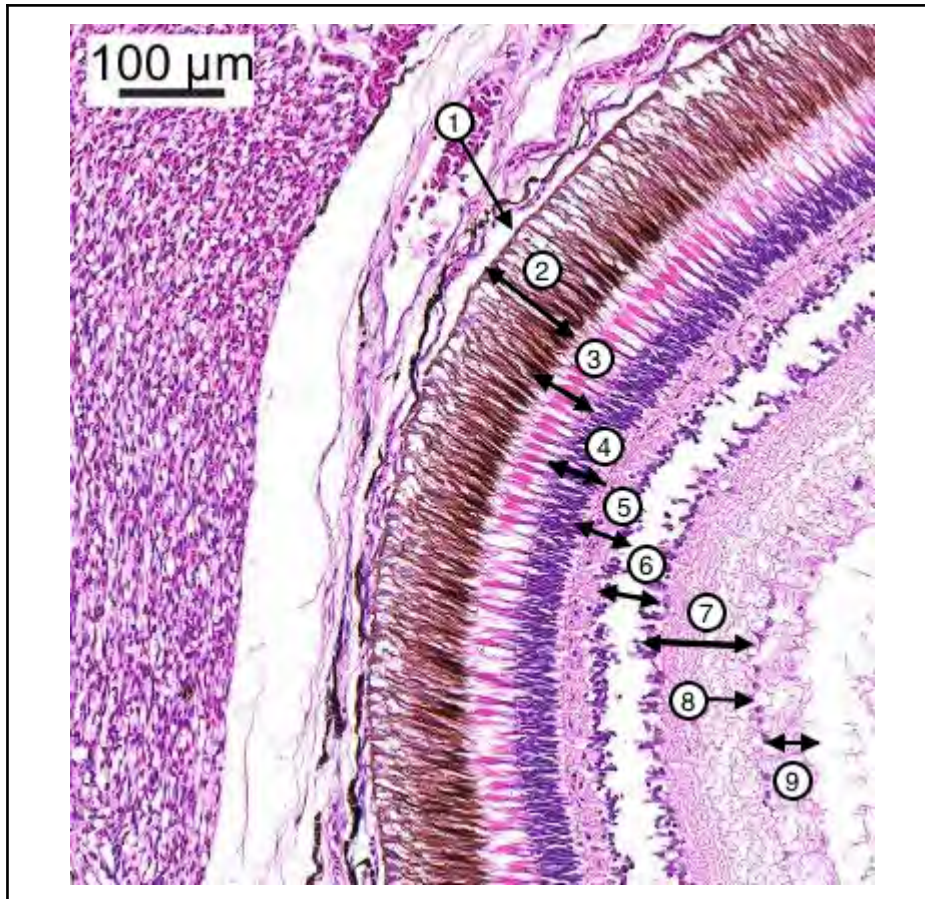


Fig. 7 : Coupe histologique d'une rétine de téléostéens sous microscope électronique. D'après Joselevitch et al. (2009).

Légende : (1) membrane de Bruch ; (2) épithélium pigmentaire ; (3) couche de cellules photoréceptrices ; (4) couche nucléaire externe ; (5) couche plexiforme externe ; (6) couche nucléaire interne ; (7) couche plexiforme interne ; (8) couche ganglionnaire ; (9) couche de fibre nerveuses.

1- La membrane de Bruch :

Cette membrane perméable correspond au stroma conjonctif de la barrière hémato-rétinienne, située entre les capillaires de la choroïde et l'épithélium pigmentaire de la rétine. Elle est elle-même constituée de différentes couches. De l'extérieur vers l'intérieur du globe oculaire, on trouve :

- La membrane basale de la couche choriocapillaire
- Une couche collagénique externe
- Une couche élastique
- Une couche collagénique interne
- La membrane basale de l'épithélium pigmentaire

Elle joue le rôle de filtre physico-chimique entre la couche choriocapillaire et l'épithélium pigmentaire.

2- L'épithélium pigmentaire :

Cet épithélium est constitué de cellules riches en mélanosomes, responsables de la synthèse de mélanine. Cette dernière est à l'origine de la pigmentation de l'épithélium.

Il joue un rôle essentiel dans la protection des photorécepteurs lors de fortes luminosité. En effet, la protection des cellules photosensibles repose sur deux mécanismes distincts : le premier consiste à les rétracter dans l'épithélium rétinien. Le second consiste à augmenter la mélanogenèse des cellules pigmentaires dans les processus épithéliaux rétiens. Ces deux mécanismes prennent presque deux heures afin d'assurer une protection complète. C'est pourquoi, des poissons subissant des changements drastiques de luminosité peuvent avoir des dommages rétiens (Whitaker, 2001).

3- La couche des photorécepteurs :

Comme son nom l'indique, cette couche contient les cellules photoréceptrices qui assurent la transduction d'un signal lumineux en un signal électrique grâce aux pigments visuels situés dans leur cytoplasme.

Chez les téléostéens, on distingue trois types de cellules photoréceptrices : les bâtonnets, les cônes simples et les cônes doubles. Les trois types cellulaires ne sont pas présents dans toute la rétine, ni dans toutes les espèces (Brett, 1957). Chacune de ces cellules expriment un seul type de pigment visuel exceptés les cônes doubles qui en expriment deux. Les bâtonnets sont extrêmement sensibles à la lumière mais ne caractérisent pas l'information spectrale. À l'inverse, les cônes sont moins sensibles à la lumière. Ils fournissent des informations sur le spectre de lumière captée selon le type de pigment visuel qu'ils contiennent. Les propriétés des pigments visuels seront développées ultérieurement.

4- La couche nucléaire externe :

Cette couche est en continuité avec la précédente puisqu'elle contient une partie des cellules photoréceptrices. En effet, les cellules photosensibles sont segmentées en deux parties, de part et d'autre d'une membrane limitante externe. Dans le segment externe, on retrouve des replis membranaires qui contiennent les pigments visuels. Le segment interne est situé dans la couche nucléaire externe. Il contient les mitochondries, le noyau et le début des terminaisons synaptiques des cellules photoréceptrices (Stenkamp, 2007).

4- La couche plexiforme externe :

Cette couche correspond à une zone de transition entre différents types cellulaires. D'une part, il y a les synapses entre les cellules photoréceptrices et les cellules bipolaires. D'autre part, au niveau de ces synapses, on trouve les cellules horizontales. Elles possèdent aussi des synapses avec des cellules photoréceptrices. Une seule cellule horizontale est reliée à plusieurs cellules photoréceptrices. Les cellules horizontales sont importantes dans la vision des contrastes. Lors de l'activation d'un photorécepteur, les cellules horizontales par l'intermédiaire d'une cascade moléculaire vont diminuer la sensibilité à la lumière des autres photorécepteurs auxquels elles sont reliées.

4- La couche nucléaire interne :

Cette couche cellulaire est composée de cellules bipolaires. Ces cellules possèdent deux pôles qui ont des synapses avec deux populations de cellules. Au niveau du pôle le plus externe, on trouve une synapse avec un cône ou un bâtonnet. Chaque cellule

photoréceptrice aura une synapse avec au moins un cône et un bâtonnet. La proportion de cônes et de bâtonnets reliés à une cellule bipolaire varie au sein de la rétine. On distingue deux types de cellules bipolaires : les types ON et les types OFF. Le type détermine l'activation (ON) ou l'inhibition (OFF) au niveau de la synapse du pôle interne avec les cellules ganglionnaires. Les cellules ON sont inhibées dans l'obscurité à l'inverse des cellules OFF. Lors d'un stimulus lumineux, les cellules ON sont activées et les cellules OFF sont inhibées. On distingue aussi des sous-types de cellules bipolaires selon la morphologie. Le nombre de sous-types varie selon les espèces. Par exemple, chez le poisson rouge (*Carassius auratus*) 14 à 15 types de cellules bipolaires ont été identifiées tandis que chez le poisson zèbre (*Danio rerio*) on en distingue 17 (Joselevitch et al., 2009).

5- La couche plexiforme interne :

De même que la couche plexiforme externe, la couche plexiforme interne est constituée des synapses entre les cellules bipolaires et ganglionnaires. Il existe une nouvelle population de cellules présentes dans cette couche, les cellules amacrines. Elles modulent la communication entre les cellules bipolaires et ganglionnaires grâce à leurs dendrites. On distingue différents types de cellules amacrines selon la morphologie des dendrites et les communications avec les cellules bipolaires et ganglionnaires. Par exemple, chez le gardon (*Rutilus rutilus*) plus de 40 cellules amacrines différentes ont été identifiées.

Au vu de la diversité de cellules amacrines, on peut aussi subdiviser la couche plexiforme interne selon la stratification des dendrites. En effet, les dendrites de ces cellules sont regroupées en sept sous-couches de largeur inégale. Quatre sous-couches occupent la portion externe, appelée sublamina a et trois sous-couches occupent la portion interne, appelée sublamina b (Wagner et al., 1988).

6- La couche ganglionnaire :

Cette dernière couche cellulaire contient les corps cellulaires des cellules nerveuses de la rétine : les cellules ganglionnaires. Elles reçoivent les afférences des cellules bipolaires et amacrines. Ainsi, une cellule ganglionnaire intègre une somme d'information provenant de plusieurs cellules photoréceptrices. Selon la localisation dans la rétine, le nombre de cellules photoréceptrices reliées à une cellule ganglionnaire varie. Par exemple, au niveau de la fovéa (zone de la rétine où la vision des détails est la plus précise) le ratio photorécepteurs sur cellule ganglionnaire sera nettement plus faible qu'en périphérie de la rétine. L'ensemble des cellules photosensibles pouvant envoyer des informations à une cellule ganglionnaire constitue son champ récepteur.

Plusieurs types de cellules ganglionnaires existent au sein de la rétine des téléostéens. On distingue des types OFF et ON comme pour les cellules bipolaires, mais aussi des types mixtes. De plus, on trouve une réponse différente selon la répartition des stimuli au sein du champ récepteur. En effet, certaines cellules seront ON si le centre du champ récepteur est ON mais elles seront OFF si uniquement la périphérie est ON. Ce phénomène améliore la vision des contrastes. De plus, certaines cellules ganglionnaires ont des centres ou des périphéries spécifiques de certains types de cônes, ce qui améliore le contraste de couleurs (Cook et al., 1991)

7- La couche de fibres nerveuses :

Cette dernière couche de la rétine contient les axones des cellules ganglionnaires qui achemine les informations nerveuses jusqu'à l'encéphale. Les fibres nerveuses convergent pour former le nerf optique. Il accède ensuite à la rétine au travers de plusieurs disques optiques qui sont localisés au niveau du processus falciforme.

Une des particularités anatomiques de la rétine des téléostéens est la croissance continue tout au long de la vie de l'individu. Cette expansion du tissu rétinien est possible grâce à deux mécanismes couplés. D'une part, il y a une expansion du tissu rétinien existant. D'autre part, il y a une prolifération cellulaire. Le nouveau tissu rétinien s'ajoute en périphérie de l'ancien tissu (Fig. 8). Il existe une voie de cellules souches spécifiques pour les bâtonnets (Mack et al., 2004).

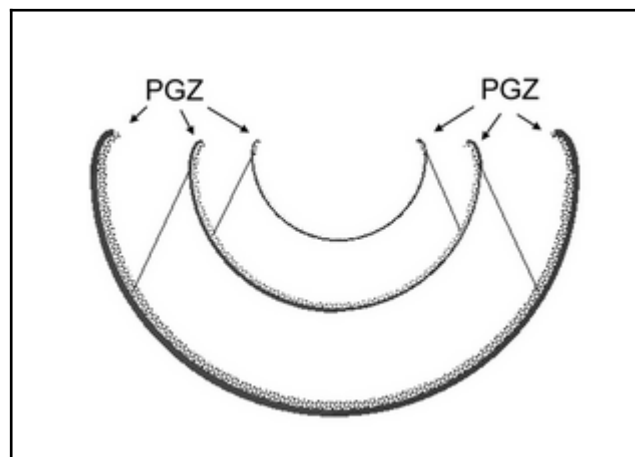


Fig. 8 : Diagramme schématique montrant la croissance de la rétine des téléostéens. Le nouveau tissu est ajouté à l'ancien tissu dans la zone de croissance périphérique (PGZ : periphèric growth zone). D'après Mack et al. (2004).

i) La vision

Après cette description anatomique de la rétine, nous nous intéresserons à la vision des téléostéens. L'ensemble des mécanismes physiologiques ne seront pas détaillés dans cette thèse mais uniquement les particularités propres au téléostéens.

Les cellules photoréceptrices possèdent des pigments visuels ou photopigments qui permettent la traduction d'un signal lumineux en un signal électrique. Ces photopigments ont une architecture moléculaire similaire chez tous les vertébrés; une partie protéique de la famille des opsines et un chromophore. Un stimulus lumineux induit un changement de conformation des chromatophores rétinien à l'origine d'une hyperpolarisation des cellules photoréceptrices (Stenkamp, 2007). Le spectre d'absorption d'un pigment visuel dépend à la fois de la composition chromatophore et de l'opsine (Douglas et al., 2009).

Parmi les espèces de poisson, il y a de fortes variabilités des pigments visuels. Concernant les bâtonnets, il y a deux possibilités selon l'espèce concernée : soit ils contiennent une opsine visuelle appelée rhodopsine (celle qu'on retrouve chez les mammifères), soit la prophyropsine ce qui entraîne une absorption décalée vers les tons rouges. De manière générale, la rhodopsine est principalement présente chez les espèces marines à quelques exceptions près comme le tautog (*Tautoga onitis*). En parallèle, la prophyropsine se retrouve surtout chez les espèces d'eau douce (Brett, 1957).

Parmi tous les vertébrés, les poissons présentent la plus grande gamme de pigments visuels avec des longueurs d'onde d'absorption maximale allant de 350 nm (domaine des UV) à 635 nm (Douglas et al., 2009).

Au plus, une espèce de téléostéens peut avoir quatre opsines visuelles réparties dans les cônes; avec une opsine sensible aux lumières bleues, une opsine sensible aux lumières vertes, une opsine sensible aux lumières rouges et une opsine sensible aux rayonnements ultra-violet. Parmi les espèces de poissons, il existe des espèces dichromatiques comme *Sphyræna helleri*, des espèces trichromatiques comme *Chromis verater* et des espèces tétrachromatiques tel que le poisson zèbre (*Danio rerio*) (Wilkins et al., 2016). La vision tétrachromatique est présente dans tout le champ visuel inférieur, où la plupart des contenus chromatiques peuvent être perçus par les poissons. On a une concentration plus élevée d'opsine sensible aux UV exprimée dans la zone caudo-ventrale de la rétine, la zone temporalis. Les opsines sensibles aux UV sont plus importantes chez les poissons récifaux. En effet, elles permettent aux individus de se différencier entre eux grâce à des marquages UV présents sur le corps.

Chez les téléostéens, les cônes sont organisés en mosaïque au sein de la rétine (Allison et al., 2010)(Fig. 9). Par exemple, chez *Metriaclima benetos*, un poisson ayant une vision trichromatique, on aura un cône central à opsine sensible aux lumières bleues, entouré de quatre doubles cônes qui expriment des opsines sensibles aux lumières vertes. Les couleurs sont différenciées par opposition. Les différences spectrales entre différents cônes doubles y sont enregistrées par des cellules ganglionnaires pour générer la couleur perçue par les poissons. Pour une même cellule cône, on aura une co-expression des opsines présentes. La distribution des cônes doubles varie au sein de la rétine. Elle est réduite sur l'aire centrale (area centralis) de la rétine favorisant la distinction des contrastes au détriment de la perception des couleurs (Parker-Graham, 2022).

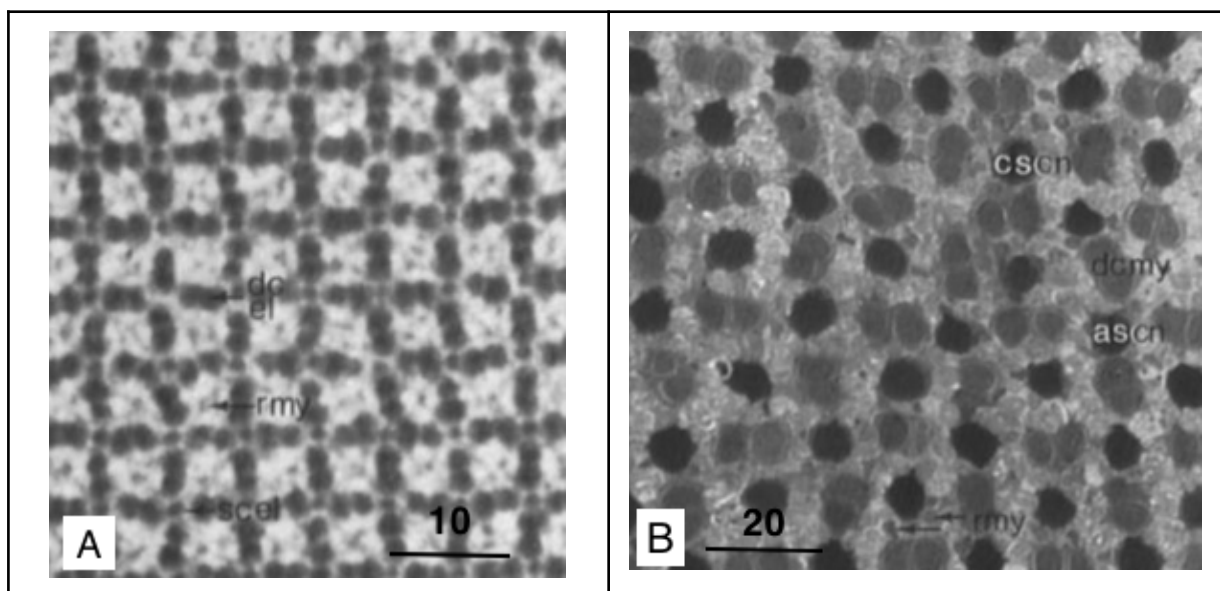


Fig. 9 : Section tangentielle de rétine de téléostéens sous microscope électronique. Échelle en μm . (A) Rétine de blennie (*Blennius cristatus*) organisée en motifs carrés de doubles cônes (dcel) et de cônes accessoires simples (scle). Les bâtonnets (rmy) sont situés au centre du motif carré. (B) Rétine d'ombre mouchetée (*Salvelinus fontinalis*) organisée en motifs carrés de doubles cônes (dcmv), de cônes simples (cscn) et de cônes accessoires (ascn). Les bâtonnets (rmy) sont situés à la fois au centre et dans les coins des motifs carrés. D'après Wagner HJ. (1978).

Au stade larvaire, les yeux prennent presque un quart de la totalité du corps et la moitié des cellules du système nerveux central est localisée dans les yeux (Zimmermann et al., 2018).

L'expression des gènes des opsines varie au cours de la vie de l'individu. Cette expression peut être modulée par les hormones sexuelles lors des périodes de reproduction. Par exemple, chez *Gasterosteus aculeatus* lors de la saison de reproduction, les individus sont plus sensibles aux lumières rouges suite à une modification des hormones androgènes circulantes. De plus, l'expression peut aussi être modulée en réponse à un changement d'environnement (modification du spectre lumineux ou de l'intensité). Ce phénomène est principalement observé dans les espèces ayant un environnement récifal. Ainsi, dans un environnement où les longueurs d'onde sont réduites, l'expression des opsines sensibles aux fortes longueurs d'onde sera réduite. Ce changement d'expression s'effectue sur plusieurs semaines voire moins.

En plus des cellules photoréceptrices, certaines espèces de téléostéens possèdent une glande pinéale (aussi appelée appareil pinéal) qui joue un rôle dans la photoréception extraoculaire. Cet organe influence la réponse du phototactisme grâce à des mécanismes physiologiques, comme la distribution des pigments dans les chromatophores. Chez le thon à nageoire bleue, la glande pinéale se situe dans la région dorso-médiale du crâne au niveau du foramen pinéal (Parker-Graham, 2022).

2. Adaptations de l'œil des poissons aux différents milieux

Bien que l'œil soit une structure anatomique très conservée au cours de l'évolution du vivant, certaines particularités anatomiques se sont développées. En effet, il est prouvé que le système visuel d'un organisme aquatique est souvent adapté aux propriétés spectrales spécifiques de l'eau dans laquelle il vit (Siebeck et al., 2008). Les poissons occupent un environnement extrêmement varié. Chaque espèce doit donc s'adapter à son propre environnement, à l'origine d'une grande variabilité.

Dans cette partie, seront développées les adaptations oculaires retrouvées chez les espèces de poissons ayant un habitat spécifique.

a) *Les espèces récifales*

Parmi les espèces marines, les poissons récifaux tels que *Pomacentrus moluccensis*, *Pomacentrus amboinensis* ou *Ostorhinchus cyanosoma*, ont une perception des couleurs très développée. Les espèces récifales possèdent une vision tétrachromatique : elles possèdent 4 opsines différentes dans les cônes, dont une sensible aux ultra-violets, et une opsine présente dans les bâtonnets. Des expériences comportementales ont prouvé que les espèces récifales possèdent une vision colorée et savent distinguer des gammes variées (Siebeck et al., 2008) (Wilkins et al., 2016).

b) *Les espèces nocturnes*

Certaines espèces ont une activité principalement nocturne. Le mode de vie nocturne étant plus contraignant pour les yeux, les espèces récifales nocturnes présentent davantage d'adaptations morphologiques que les espèces récifales diurnes. Ces

adaptations se traduisent par une faible variabilité de la morphologie des yeux chez les espèces nocturnes contrairement aux espèces diurnes. Parmi les adaptations morphologiques, les espèces nocturnes ont des globes oculaires environ 1,4 fois plus grands que les espèces diurnes pour une masse corporelle donnée. De plus, les espèces nocturnes possèdent une pupille plus ronde et un cristallin plus grand en proportion que les espèces diurnes. En effet, certaines espèces diurnes possèdent un croissant aphaque rostralement. Cela élargit le champ de vision (Fig. 10). En parallèle de ces modifications morphologiques, des modifications cellulaires sont observées sur la rétine. La population de cellules à cône est réduite en faveur des cellules à bâtonnets afin d'améliorer la vision des contrastes (Schmitz et al., 2011).

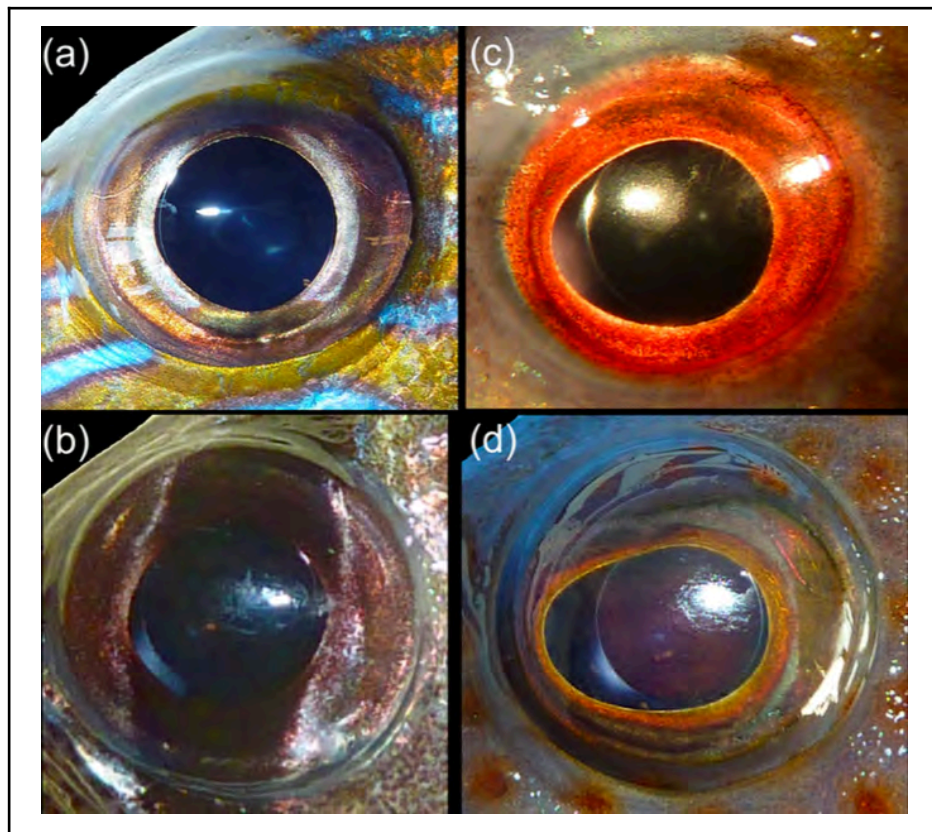


Fig. 10 : Photographies d'yeux de poissons téléostéens de récifs nocturnes et diurnes en vue latérale gauche. Espèces nocturnes : (a) gorette bleue (*Haemulon sciurus*), (b) apogon de Kaudern (*Pterapogon kauderni*). Espèces diurnes (c) labre créole (*Clepticus parrae*), (d) loche rouge (*Epinephelus cruentatus*). Notez la grande pupille arrondie chez les poissons nocturnes et le croissant aphaque prononcé dans *Epinephelus cruentatus*. Photographies pas à l'échelle. D'après Schmitz et al. (2011).

c) Les espèces vivant en profondeur

Les espèces vivant dans des eaux profondes présentent des adaptations proches des espèces nocturnes. En effet, à partir de 1000 mètres de profondeur, correspondant au début de la zone pélagique, les rayons lumineux ne sont plus visibles.

En plus de la prédominance des bâtonnets dans la rétine, certaines espèces possèdent des cônes dont la morphologie est plus proche des bâtonnets mais ils conservent leur opsine. De plus, au sein des bâtonnets, on peut trouver différentes opsines. C'est le cas chez les poissons nacrés (*Maurollicus spp.*)

Certaines espèces vivant en zone pélagique, comme *Rhynchohyalus natalensis*, auront un globe oculaire avec une morphologie tubulaire (Fig. 11). Un diverticule est présent sur la portion latérale du globe oculaire. Ce diverticule contient des cellules réfléchissantes qui agissent comme un miroir qui concentre la lumière en région ventro-latérale. Ces espèces peuvent ainsi visualiser à la fois la lumière du soleil et la bioluminescence sur un large champ de vision (Warrant et al., 2007).

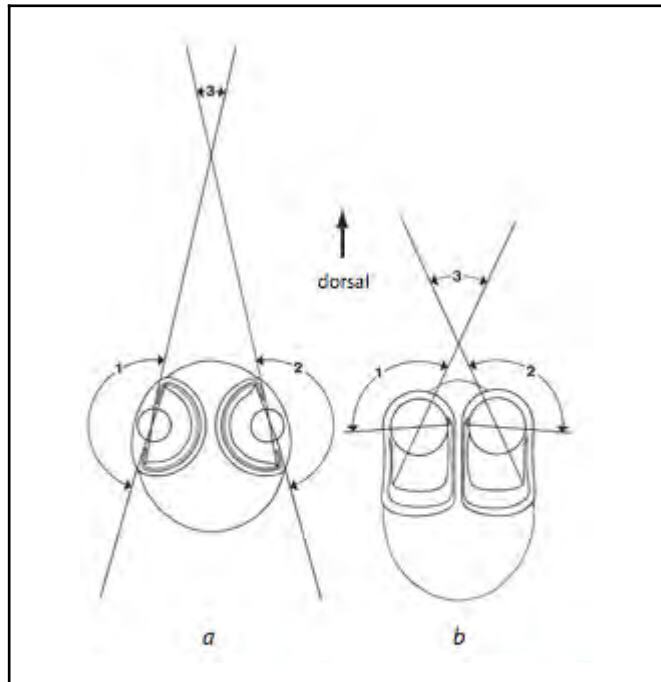


Fig. 11 : Schéma de la morphologie de deux types de poissons vivant zone mésopélagique. (a) morphologie typique ; (b) morphologie tubulaire dorsalement. Légende : (1) champ visuel de l'œil gauche ; (2) champ visuel de l'œil droit ; (3) champ visuel binoculaire. D'après Warrant et al. (2007).

d) Les espèces vivant dans un environnement aquatique et aérien

Chez les téléostéens, il existe des espèces avec un mode de vie aquatique et aérien. C'est le cas par exemple de *Anableps anableps*, autrement appelé le poisson à quatre yeux (Fig. 12). Le ménisque d'eau divise le globe oculaire en deux portions : une portion dorsale exposée à l'air et une portion ventrale exposée à l'eau. Ces portions se distinguent anatomiquement par la cornée et le cristallin. En effet, le cristallin pyriforme sera plus proche de la cornée et de la rétine en région dorsale. La cornée sera épaissie, améliorant la réfraction de la lumière et la protection des rayonnements UV.



Fig. 12 : Photographie d'un poisson à quatre yeux avec un globe oculaire en deux portions physiologiques distinctes

Source : *Un Anableps anableps quatre-yeux en aquarium*, image libre de droit, publiée sur : <https://www.aquaportail.com/fiche-poisson-3820-anableps-anableps.html> le 08/03/2020.

e) Les espèces vivant dans le sable

Certaines espèces de téléostéens vivent dans le sable pour se cacher et n'en sortent que la tête. Les observations des yeux de ces espèces, telles que les Ammodytidae, démontrent une adaptation morphologique. D'abord la morphologie générale de l'œil est différente de la morphologie classique des téléostéens. Elle se rapproche plutôt de la morphologie de l'œil des vertébrés terrestres (Fig. 13).

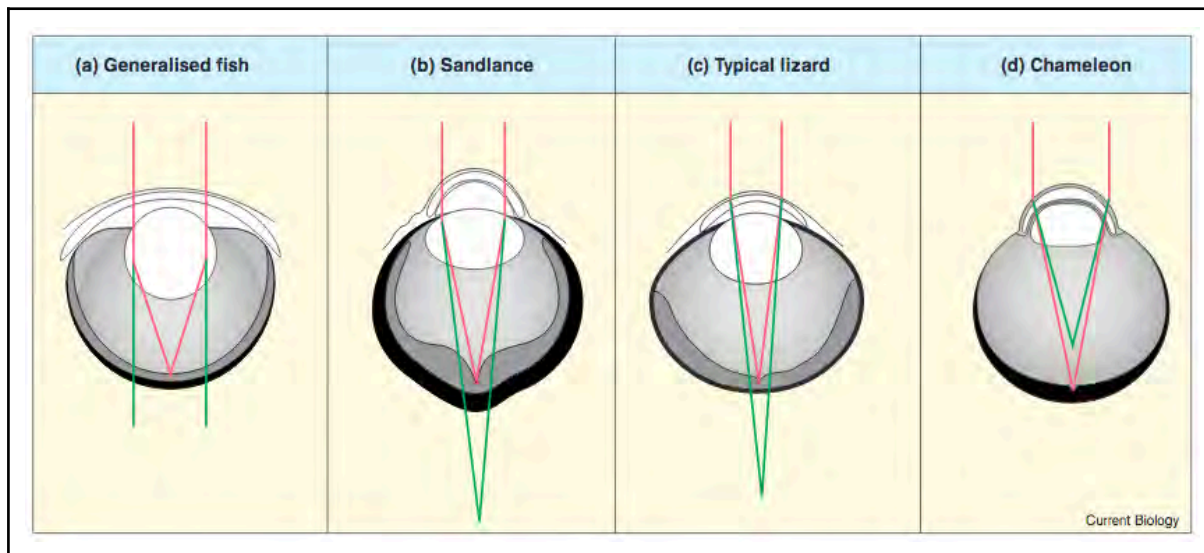


Fig. 13 : Contributions relatives de la cornée et du cristallin dans la formation des images sur la rétine selon les vertébrés. Le trajet des rayons lumineux final (cornée et cristallin) est en rouge. La contribution de la cornée seule est indiquée par les lignes vertes. (a) Chez les poissons de manière générale, la cornée ne contribue pas à l'accommodation ; (b) chez les poissons vivant dans le sable, la cornée épaissie contribue environ à un tiers de l'accommodation totale ; (c) chez les lézards, la cornée et le cristallin participe de manière égale dans l'accommodation ; (d) chez le caméléon, le cristallin est convergent. D'après Land M.F. (1999).

En parallèle, le cristallin est aplati et la cornée joue un rôle dans l'accommodation grâce à des muscles striés cornéens qui s'insèrent dans le stroma cornéen. Au repos, la cornée procure une myopie. C'est la contraction des muscles cornéens qui induisent une incurvation de la cornée. L'épithélium cornéen est aussi légèrement pigmenté ce qui aide au camouflage de l'individu (Parker-Graham, 2022).

Pour finir, les Ammodytidae ainsi que les Syngnathidae, chez lesquels se trouvent les hippocampes, possèdent la capacité de mouvoir les deux yeux indépendamment, ce qui n'est pas le cas de la majorité des téléostéens (Land, 1999).

En taxonomie, les poissons représentent un groupe paraphylétique. Au sein de chaque groupe, il existe une grande variabilité de genre et d'espèces. À travers ces différents groupes taxonomiques, l'œil constitue une structure anatomique très conservée au cours de l'évolution. Cette conservation s'observe aussi en comparant l'œil des poissons à celui des mammifères. L'œil prend la forme d'une structure plus ou moins sphérique avec des chambres, une antérieure et une postérieure, délimitées par un cristallin. De plus, la structure histologique de la rétine est très conservée au sein du règne animal.

Certaines particularités anatomo-physiologiques restent propres aux poissons. En effet, ils possèdent un œil adapté en milieu aquatique qui se caractérise par une accommodation limitée et une cornée plus épaisse en comparaison aux espèces terrestres. Par ailleurs, la rétine des poissons est organisée en mosaïque et se régénère tout au cours de la vie de l'individu.

Malgré cet aspect général conservé, la diversité du milieu aquatique amène différentes adaptations anatomiques et physiologiques. Les particularités anatomiques se retrouvent chez les espèces vivant dans un milieu aux conditions extrêmes. C'est le cas des espèces vivant en profondeur, dans le sable ou en milieu aquatique et aérien. Les particularités physiologiques se retrouvent surtout chez les espèces où la vision joue un rôle clé dans le milieu de vie. Cela concerne par exemple les espèces récifales et nocturnes.

Dans le cadre d'une consultation ophtalmologique, les connaissances propres aux espèces aident à l'identification des caractéristiques physiologiques et des lésions ophtalmologiques.

II. Dominantes pathologiques de l'oeil

Pour les dominantes pathologiques de l'œil, seules les affections du globe oculaire et de ses composants seront abordées.

Dans un premier temps, les principales lésions oculaires observées chez les poissons d'aquarium seront développées. Ensuite, les principales pathologies infectieuses et non infectieuses à l'origine de lésions oculaires seront présentées. Pour chacune de ces pathologies seront décrites les manifestations cliniques, les méthodes diagnostiques ainsi que les conduites à tenir.

A. Les lésions oculaires

Les définitions médicales des lésions oculaires sont identiques à celles retrouvées chez les mammifères domestiques.

1. Les lésions du globe oculaire

Les lésions du globe oculaires sont principalement des modifications de taille et/ou de son positionnement dans l'orbite.

a) La buphtalmie

La buphtalmie est une augmentation de la taille du globe oculaire provoquant une augmentation de sa surface d'exposition (Hadfield et al. 2021). Elle est causée par une augmentation de la pression intra-oculaire appelée glaucome. Chez les téléostéens, l'œil est plus sensible à l'étirement. La buphtalmie peut être héréditaire chez certaines espèces comme le Blackmoor, *Carassius auratus* (Fig. 14) (Matsumara et al., 1981). Chez cette espèce, des études ont montré qu'une myopie de privation visuelle provoque un élargissement de la chambre antérieure à l'origine d'une buphtalmie (Zhou et al. 2001 ; Yew et al. 2001).

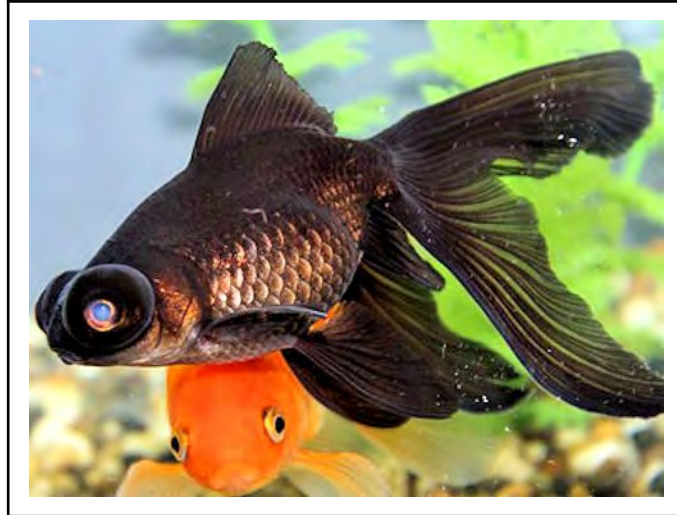


Fig. 14 : Photographie d'un Blackmoor (*Carassius auratus*) présentant une buphtalmie bilatérale héréditaire avec un poisson rouge.

Source : "Un Blackmoor est accompagné d'un poisson rouge en dessous", image libre de droit, publiée sur : <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/9040/blackmoor> le 20/02/2011.

b) La microphthalmie

La microphthalmie correspond à une diminution de la taille du globe oculaire d'origine suite à une anomalie du développement de l'œil (Fig. 15). Elle peut être observée seule ou en association avec d'autres lésions oculaires comme l'énoptalmie ou la cataracte. Cette anomalie du développement peut être d'origine congénitale ou acquise lors de la croissance de l'animal (Robert et al., 2009).



Fig. 15 : Photographie d'une fiatole argentée (*Pampus argenteus*) présentant une microphthalmie unilatérale droite. A : côté droit. B : côté gauche. D'après Laith et al (2017).

c) Le phthisis bulbi

Le phthisis bulbi est une lésion chronique non spécifique et terminale de diverses maladies oculaires graves comme des endophtalmies, des ulcères cornéens perforants ou des uvéites chroniques aboutissant à une perte de vision (Fig. 16) (Kumaratunga et al., 2022).



Fig. 16 : Photographie d'un tilapia sauvage (*Sarotherodon galilaeus*) présentant un phthisis bulbi gauche. D'après Eyngor et al. (2014).

d) L'énoptalmie

L'énoptalmie est une rétraction du globe oculaire dans son orbite. Chez les poissons, elle est principalement causée par une atteinte virale sévère comme l'herpèsvirus des carpes Koï ou le virus de l'œdème de la carpe, *Cyprinus carpio* (Fig. 17). Elle peut aussi être secondaire à un amaigrissement qui réduit le volume du coussinet adipeux rétrobulbaire (Parker-Graham, 2022). L'énoptalmie peut être physiologique par activation chez certaines espèces de tetraodontidés (poissons ballons) (Blanc, 2018).



Fig. 17 : Photographie comparative entre une carpe Koï présentant une enopthalmie (gauche) et une carpe Koï présentant un œil sain. D'après T. Ellis (2015).

e) L'exophtalmie

L'exophtalmie ou proptose est une protrusion de l'œil hors de l'orbite sans modification de la taille du globe oculaire (Fig. 18). Elle est souvent associée à une buphtalmie. Elle est principalement causée par la maladie des bulles de gaz et des

septicémies bactériennes (*Aeromonas spp.*, *Vibrio spp.*), à l'origine de la vasodilatation des vaisseaux rétrobulbaires. Il s'agit d'une des lésions oculaires les plus fréquentes chez les téléostéens de par la diversité des affections sous-jacentes. Elle fait l'objet d'une étude plus poussée dans la deuxième partie de cette thèse.

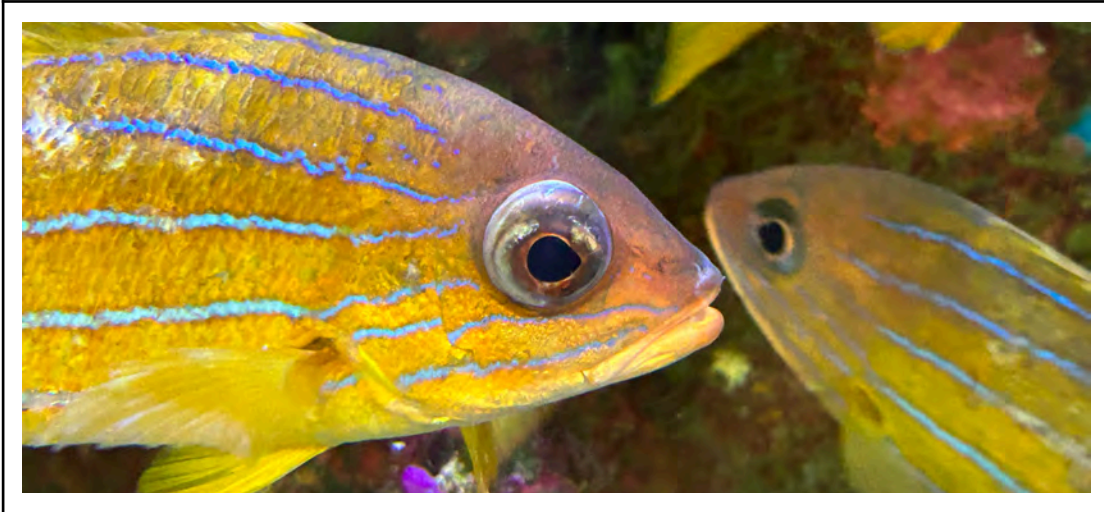


Fig. 18 : Photographie d'un Vivaneau à cinq bandes (*Lutjanus quinquelineatus*) présentant une exophtalmie unilatérale gauche.

Source : Institut Océanographique de Monaco, image utilisée avec autorisation.

f) La luxation du globe oculaire

La luxation du globe oculaire est une exophtalmie associée à une rupture du nerf optique et parfois des annexes (musculaires et vasculaires). La luxation est principalement d'origine traumatique mais elle peut aussi survenir lors de complication d'une exophtalmie initiale. Elle est associée à une cécité.

2. Les lésions de la cornée

a) L'opacification cornéenne

L'opacification cornéenne correspond à une diminution de la transparence de la cornée (Fig. 19). Elle s'explique par la présence d'un œdème cornéen associé à une infiltration cellulaire et une fibroplasie. Cette lésion est souvent associée à une kératite et peut avoir des origines variées (parasitaires, environnementales, nutritionnelles, etc.).

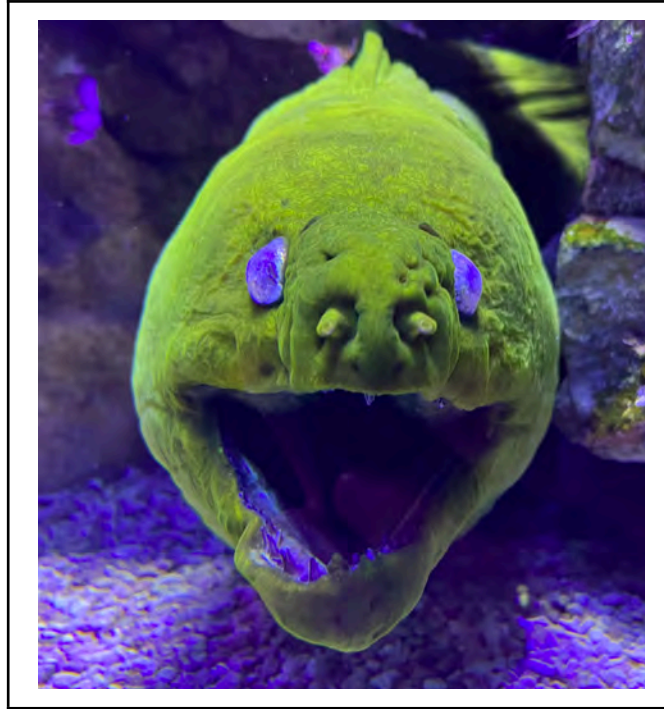


Fig. 19 : Photographie d'une murène verte (*Gymnothorax funebris*) présentant une opacification cornéenne bilatérale.
Source : Institut Océanographique de Monaco, image utilisée avec autorisation.

b) L'œdème cornéen

L'œdème cornéen est une infiltration excessive de liquide séreux qui se produit lors de rupture de l'intégrité anatomique ou fonctionnelle de l'épithélium ou de l'endothélium cornéen. Cette perte de l'intégrité de la cornée provoque une perturbation de l'équilibre osmotique à l'origine de l'infiltration. L'œdème induit donc un épaississement de la cornée à l'origine d'une opacification cornéenne (Fig. 20). Les poissons sont plus susceptibles d'avoir des œdèmes cornéens que les animaux terrestres (Edelhauser et al., 2006 ; Parker-Graham, 2022).

c) La kératite

La kératite est une inflammation de la cornée. Elle est souvent associée à une opacification cornéenne et un œdème cornéen. Cette lésion a des origines variées. Cependant, on peut orienter le diagnostic de celle-ci selon la présence d'ulcération.

(1) Non ulcération

La kératite non ulcération se présente comme une opacification cornéenne, associée à un œdème cornéen et souvent une néovascularisation (Fig. 20). Les principales causes sont un déficit nutritionnel (riboflavine, vitamine A ou thiamine), une surexposition aux rayonnements UV ou une dégradation de la qualité de l'eau. Même s'il n'y a pas d'ulcération de la cornée, des infections secondaires bactériennes restent possibles ce qui induit d'autres lésions tels que la panophtalmie ou le phthisis bulbi (Parker-Graham, 2022).



Fig. 20 : Rascasse brune photographée dans son habitat naturel avec une kératite non ulcéralive caractérisée par un œdème cornéen de l'œil droit. D'après Parker-Graham et al. (2022) photographie de D.G. Heidemann.

(2) Ulcéralive

L'ulcère cornéen est une lésion caractérisée par une altération de l'épithélium cornéen (Fig. 21). Il existe différentes appellations selon la profondeur de cette altération. L'ulcère cornéen superficiel s'étend jusqu'au stroma superficiel. L'ulcère cornéen profond s'étend jusqu'au stroma profond et touche l'endothélium cornéen. La profondeur de l'ulcère n'est pas corrélée à son agressivité. La cicatrisation d'un ulcère prend environ une à deux semaines.

Il existe le cas particulier du descemétocèle. C'est une atteinte de la membrane de Descemet sans atteinte de l'épithélium cornéen. Lors de descemétocèle, il est important de mettre en place un traitement d'urgence (Whitaker, 2001).

En cas de kératite ulcéralive, l'ulcère peut être soit la cause soit la conséquence. En effet, on peut avoir un ulcère primaire d'origine traumatique, associé à une infection secondaire bactérienne provoquant une kératite. Inversement, une kératite non ulcéralive primaire induit une opacification cornéenne et donc un gonflement et une vacuolisation de la cornée ce qui peut aboutir à une ulcéralion (Whitaker, 2001).

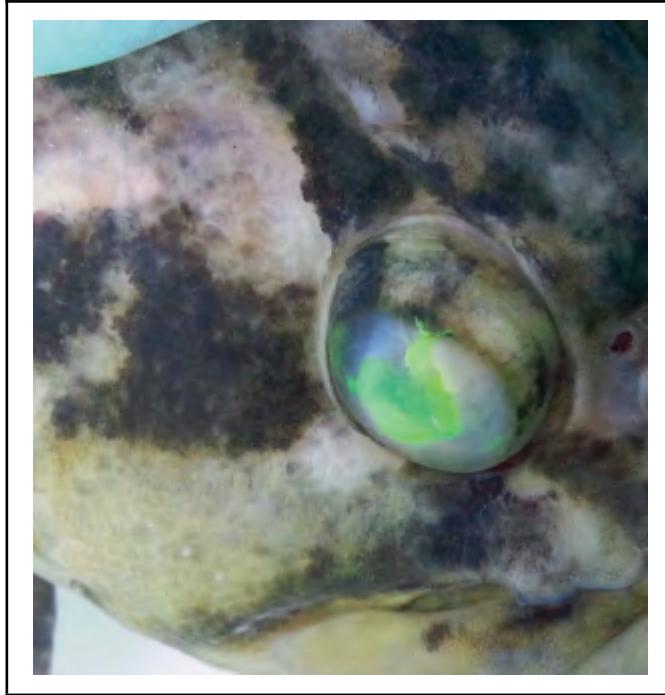


Fig. 21 : Photographie d'un sébaste (*Sebastes rastrelliger*) présentant une kératite ulcéreuse gauche. L'ulcère cornée est mis en évidence par un test fluorescéine. D'après Parker-Graham et al. (2022) photographie de D.G. Heidemann.

3. Les lésions de la chambre antérieure a) *L'hyphéma*

L'hyphéma correspond à la présence de sang dans la chambre antérieure. Il peut survenir lors de traumatisme ou bien lors d'infection (Fig. 22). Dans ce cas, il sera souvent associé à d'autres lésions oculaires comme l'uvéite.

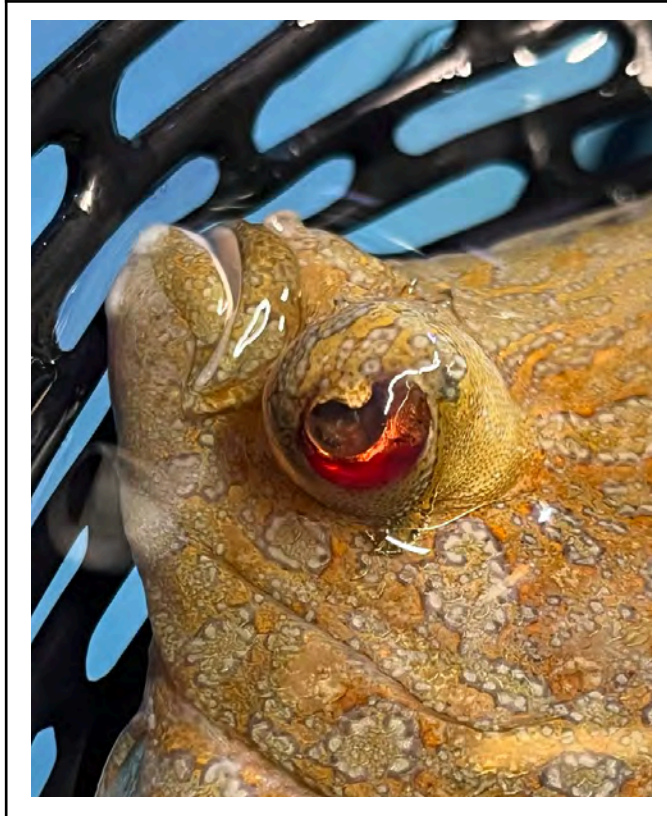


Fig. 22 : Photographie d'un turbot commun (*Scophthalmus maximus*) présentant un hyphéma unilatéral gauche (œil le plus ventral), supposé d'origine traumatique.

Source : Institut Océanographique de Monaco, image utilisée avec autorisation.

b) L'hypopion

L'hypopion correspond à la présence de pus dans la chambre antérieure. La présence de pus indique une infection bactérienne. Celle-ci peut être primaire ou secondaire. L'hypopion est souvent associé à une uvéite.

4. Les lésions de l'uvéite

a) L'hétérochromie

L'hétérochromie est une anomalie de la pigmentation qui se traduit par des iris de couleurs différentes. Elle peut avoir une origine congénitale. Elle peut être provoquée lors d'uvéite sur un œil. L'uvéite induit une néovascularisation dans l'iris pouvant modifier sa coloration. C'est une lésion qui est rare chez les téléostéens.

b) L'uvéite

L'uvéite correspond à une inflammation de la tunique vasculaire de l'œil. Pour rappel, cette tunique vasculaire est composée de l'iris, de la choroïde, de la glande choroïde et du processus falciforme. Une uvéite peut avoir différentes origines. D'une part, on distingue des origines systémiques lors d'infestation parasitaire, de toxicité ou de septicémie. D'autre part, des origines locales sont possibles par exemple, en cas de luxation du cristallin, de

cataracte ou d'une tumeur de l'uvée. Le plus souvent, l'uvéite est une lésion secondaire. C'est pourquoi, lors d'uvéite, il est important d'identifier la cause primaire afin de mettre en place un traitement efficace.

Lors d'uvéite, de nombreux signes oculaires peuvent également survenir comme un hyphéma, un hypopion, une exophtalmie, un décollement de la rétine ou des synéchies irido-cristalliniennes (Fig. 23). Ces dernières sont des adhérences entre la face postérieure de l'iris et le cristallin antérieur. Lorsque l'inflammation est localisée uniquement sur l'iris, on parle d'uvéite secondaire.

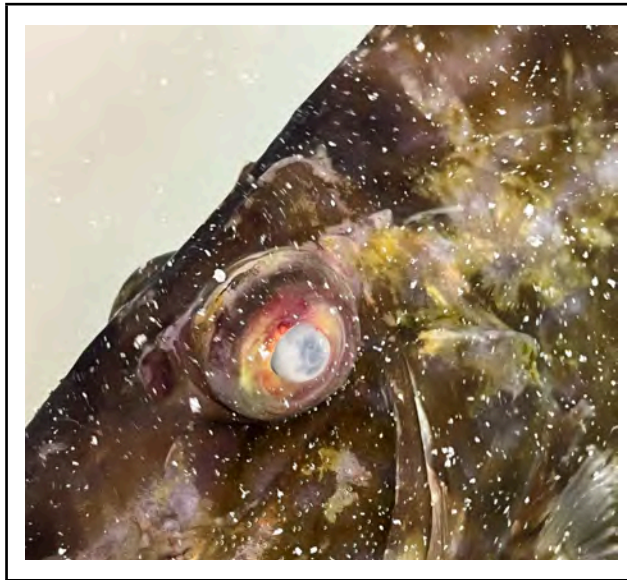


Fig. 23 : Photographie d'une uvéite aiguë gauche caractérisée par des remaniements vasculaires associée à une cataracte totale sur un Saint-Pierre (*Zeus faber*).
Source : Institut Océanographique de Monaco, image utilisée avec autorisation.

c) *L'endophtalmie*

L'endophtalmie est une uvéite postérieure c'est-à-dire localisée au niveau de la choroïde et de ses composants. À part la localisation, elle présente les mêmes caractéristiques que l'uvéite antérieure.

d) *La panophtalmie*

La panophtalmie est une lésion secondaire à une uvéite antérieure ou une endophtalmie (Fig. 24). Elle survient lorsqu'une uvéite s'étend aux autres structures oculaires comme la sclère. A cause de la petite taille de l'œil des poissons et de la proximité des structures oculaires, l'uvéite se présente souvent comme une panophtalmie (Parker-Graham, 2022).



Fig. 24 : Photographie d'un poisson rouge en queue d'éventail (*Carassius auratus*) présentant une panophtalmie suite à une uvéite chronique d'origine inconnue. D'après Parker-Graham (2022).

5. Les lésions du cristallin

a) *La cataracte*

La cataracte est une opacification du cristallin causée par un oedème hydrophobe associé à une lyse des fibres, une hyperplasie épithéliale et une migration de la surface de l'épithélium du nucleus (Fig. 25). Cette opacification peut être associée à une perte de la vision. Il s'agit d'une des lésions oculaires la plus fréquente chez les poissons avec l'exophtalmie.



Fig. 25 : Photographie d'une cataracte totale sur un sébaste cuivré (*Sebastes caurinus*) sans autres lésions oculaires associées. D'après Parker-Graham (2022) photographie de J.Gerlach.

Chez les poissons, il est possible de grader la cataracte de 0 (individu sain) à 3 (cataracte bilatérale avec des modifications de la portion antérieure et postérieure des yeux). Sur des cataractes chroniques, on peut avoir une extrusion du nucleus dans la chambre antérieure, à l'origine d'une uvéite ou d'une panophtalmie.

Les étiologies de la cataracte sont très variées. On distingue des causes non infectieuses et des causes infectieuses. Parmi les causes non infectieuses, on trouve des origines nutritionnelles (déficience en zinc, carence en riboflavine, carence en vitamine A et C), toxiques (PAH, sélénium, polluants), traumatiques et environnementales (rayonnement UV, maladie des bulles de gaz, modification de la salinité ou de la température). Parmi les causes infectieuses on retrouve les affections parasitaires (*Diplostomum spathaceum*), bactériennes (*Mycobacterium salmoniphilum*) et virales (Virus du Tilapia du lac, nécrose nerveuse virale) (Peuhkuri et al., 2009).

Dans la plupart des cas, la cataracte est irréversible sauf à quelques exceptions près. Par exemple, lors d'un ulcère cornéen, on a une dilution de l'humeur aqueuse provoquant une cataracte osmotique réversible. Il est possible d'effectuer une exérèse du cristallin ou lensectomie en cas d'atteinte sévère. Cependant, peu d'études sont disponibles sur cette pratique chez les téléostéens. De plus, il existe des réactions secondaires à cette opération tel qu'un œdème cornéen (Pujol et al., 2023). De même que pour l'exophtalmie ou l'uvéite, il est primordial d'identifier la cause primaire pour effectuer un traitement efficace.

b) La luxation du cristallin

La luxation du cristallin désigne une dislocation du cristallin de sa position physiologique suite à une rupture des ligaments qui assure son maintien. Macroscopiquement, un croissant aphaque est mis en évidence (Fig. 26) ou bien le cristallin est visible dans son intégralité dans la chambre antérieure. D'après une étude menée par DeSilva et al., en 2012, cette lésion est principalement causée par une maladie des bulles de gaz ou un traumatisme. Elle peut également être secondaire à une cataracte ou une néoplasie (Da Silva et al., 2010). Lors de luxation du cristallin, on peut avoir un glaucome récidivant. La lensectomie ou l'énucléation sont les traitements de choix.



Fig. 26 : Photographie d'une luxation du cristallin gauche associée à un croissant aphaque sur un pageot acarné (*Pagellus acarne*).
Source : Institut Océanographique de Monaco, image utilisée avec autorisation.

6. Les lésions de la rétine

Les atteintes rétiniennes sont plus rares chez les téléostéens. De plus, il est difficile de les caractériser sans effectuer un examen histologique post-mortem.

a) *Le décollement de la rétine*

Présence d'une poche de liquide ou d'air située entre la rétine et la choroïde ce qui entraîne une perte de vision dans la zone décollée. Généralement, il s'agit d'une lésion secondaire à une affection bactérienne ou environnementale. Par exemple, lors de septicémie bactérienne, on aura une vasodilatation de la choroïde pouvant engendrer un décollement rétinien. De plus, lors de maladie des bulles de gaz, on peut avoir la formation de bulles d'air à l'origine d'un décollement rétinien. Il s'agit d'une lésion irréversible. Même si cette lésion est plus facilement identifiable à l'histologie, on peut aussi la mettre en évidence à l'échographie. En plus d'un décollement, on peut également avoir des hémorragies rétiniennes.

b) *L'atrophie rétinienne*

L'atrophie rétinienne correspond à la disparition d'une ou plusieurs structures de la rétine. C'est une lésion que l'on retrouve fréquemment lors de rétinopathie, cependant elle est objectivée lors d'un examen histologique post-mortem. On distingue différentes causes possibles mais celles-ci sont majoritairement d'origine systémique. Par exemple, des études ont mis en évidence une atrophie rétinienne lors d'affection virale, comme l'encéphalo-rétinopathie virale (VER)(Purpari et al., 2019), ou bien lors d'hyperglycémie (Raja et al., 2015).

Les lésions ophtalmiques retrouvées chez les poissons d'ornements sont proches de celles décrites en médecine canine. La plupart sont visibles à l'échelle macroscopique et donc facilement identifiables. Certaines particularités spécifiques, comme le croissant aphaque, ne doivent pas être confondues avec des lésions oculaires.

Les principaux troubles oculaires décrits dans la littérature scientifique concernent les exophtalmies, les buphtalmies, les atteintes cornéennes (notamment les ulcères et les opacifications) et les cataractes. Il s'agit de lésions multifactorielles avec des origines infectieuses et non infectieuses possibles.

Selon la présentation et la localisation des lésions, il est possible de déterminer si l'atteinte oculaire est aiguë ou chronique, localisée ou systémique. Par conséquent, une bonne connaissance des lésions oculaires oriente les hypothèses diagnostiques et les choix des examens complémentaires à mettre en œuvre qui déterminent la prise en charge des animaux.

B. Les pathologies infectieuses

1. Les pathologies bactériennes

a) *La flore bactérienne des téléostéens*

Les différents microbiotes retrouvés chez les téléostéens varient considérablement selon les espèces et les individus. De même que chez les mammifères, les téléostéens possèdent des flores autochtones par exemple, au niveau des branchies, de la peau et de l'intestin. Chez un individu, les différentes flores sont déterminées selon son environnement, son alimentation et ses parents.

Actuellement, la plupart des études menées sur les flores bactériennes des téléostéens impliquent des espèces utilisées en laboratoire ou en aquaculture (poisson zèbre et truite arc-en-ciel principalement). C'est pourquoi, il reste encore des incertitudes quant aux microbiotes des espèces sauvages trouvées en aquarium.

Un article paru en 2021 regroupe les données de différentes études sur le microbiote des téléostéens (Sehna et al., 2021). Chaque famille de bactérie joue un rôle précis selon la localisation du microbiote (branchial, intestinal, cutané, etc.). Les différents ordres de bactéries qui composent les microbiotes des téléostéens selon leur localisation sont présentés dans l'annexe 2.

Au sein des branchies, le microbiote est moins diversifié que celui du tégument et de l'intestin. Mais, ce microbiote est enrichi en bactéries fixatrices d'azote à cause de l'excrétion d'ammoniac au travers de l'épithélium branchial (Pratte et al., 2018).

Le microbiote de la peau est en continuité avec la muqueuse oculaire. Kong et al. en 2024 ont démontré la présence d'un tissu lymphoïde associé à la muqueuse oculaire (MALT). Chez un individu sain, il existe un équilibre entre le microbiote cutané et oculaire, et le MALT. Lors de réaction inflammatoire oculaire, il y a une perturbation de cet équilibre. Il existe de nombreux facteurs de variations du microbiote oculo-cutané. Il s'agit principalement de facteurs environnementaux comme la température, la salinité et la composition de l'eau. Cependant, cela ne signifie pas que le microbiote cutané est identique à la population bactérienne présente dans l'environnement. Au contraire, une étude menée

chez 44 espèces récifales a montré des différences importantes entre le microbiote de l'eau de mer et le microbiome de la peau (Chiarello et al., 2018).

Comme chez les mammifères, les poissons ont un microbiote intestinal complexe. Cette flore bactérienne contribue à l'absorption des nutriments, au fonctionnement du système immunitaire, au développement intestinal, à l'homéostasie et au métabolisme. L'environnement des intestins favorise la présence de levures et de bactéries gram-négatives. La composition microbienne est fortement influencée par l'espèce, le régime alimentaire ainsi que l'environnement (Cantas et al., 2012).

Une des particularités du microbiote de certains téléostéens est la présence d'un microbiote sanguin physiologique. Les espèces bactériennes présentes dans le sang sont des bactéries aérobies (Ferchiou et al., 2023 ; Tarnecki et al., 2016). En effet, il a été isolé, suite à des prélèvements sanguins des *Pseudoalteromonas spp.*, *Psychrobacter spp.*, *Acinetobacter spp.* et des *Staphylococcus spp.* chez différentes populations de flétans en conditions physiologiques (Fronton et al., 2023). En continuité avec le microbiote circulant se trouve des microbiotes spécifiques des organes internes comme le foie ou la rate (Ofek et al., 2022).

Malgré la diversité de la flore bactérienne des poissons, certaines familles de bactéries restent communes, notamment les *Vibrio spp.* (Roberts et al., 2009). Ainsi, la présence de flores autochtones rend difficile le diagnostic d'atteinte oculaire. En effet, l'isolement d'une bactérie dans un échantillon d'un individu malade ne signifie pas qu'elle en soit la cause primaire. Cependant, parmi les différents microbiomes, on trouve des espèces opportunistes pouvant provoquer des signes oculaires. Dans la suite de cette partie seront présentées les principales bactérioses impliquées lors d'affection oculaire.

b) Les bactérioses gram -
(1) La maladie des eaux froides

La maladie des eaux froides est une affection systémique causée par la bactérie *Flavobacterium psychrophilum*. Elle touche les espèces d'eaux douces et plus particulièrement les salmonidés tels que la truite arc-en-ciel et le saumon argenté. Cependant on peut aussi la retrouver chez des cyprinidés comme la carpe commune (*Cyprinus carpio*) ou le poisson dragon (*Zacco platypus*) (Barnes et al., 2011).

Flavobacterium psychrophilum est une bactérie pathogène aérobie stricte qui se trouve dans l'environnement aquatique. Bien qu'il y ait une certaine divergence quant à la présence de la bactérie sur la peau saine du poisson, les ruptures dans le tégument sont les voies d'invasion les plus probables. De même, le pouvoir infectieux est plus important lorsqu'un autre agent pathogène est présent ou bien lors de modification environnementale engendrant un stress chez l'individu (Roberts et al., 2009).

La contamination s'effectue par des contacts directs entre les individus ou bien par des contacts indirects au sein de l'environnement. Une transmission verticale est suspectée à travers les œufs.

Cette bactérie cause dans un premier temps des lésions cutanées tels que des ulcères. Ces ulcères évoluent vers des plages de nécrose. En parallèle, du fait de la multiplication rapide de la bactérie, d'autres manifestations cliniques non spécifiques sont observables. Parmi ces signes cliniques, on trouve une nage anormale, une léthargie, une anémie, une splénomégalie et des exophtalmies. Dans ces cas, l'exophtalmie est une conséquence de la septicémie qui provoque une vasodilatation des vaisseaux

rétrobulbaires. Il est également possible d'observer des kératites (Nematollahi et al., 2003 ; Barnes et al., 2011).

Le diagnostic peut être clinique si on a une forte mortalité dans un bac avec des lésions ulcéreuses. Mais il peut aussi s'effectuer par prélèvement au niveau des lésions cutanées suivi d'une culture bactérienne sur un milieu sélectif.

Le traitement de cette maladie consiste en une administration d'un antibiotique ciblant les bactéries anaérobies gram négatives comme le florfénicol. Les posologies et les modes d'administrations seront développés ultérieurement.

(2) La maladie de la bouche rouge

La maladie de la bouche rouge est une affection systémique causée par la bactérie *Yersinia ruckeri*. Elle touche toutes les espèces de poissons mais principalement les salmonidés comme la truite arc-en-ciel.

Yersinia ruckeri est une bactérie aéro-anaérobie facultative que l'on retrouve dans l'environnement aquatique. On peut également la retrouver dans les intestins chez des porteurs asymptomatiques. Lors d'infection, la bactérie pénètre dans l'organisme via les branchies puis contamine les autres organes suite à une dissémination par voie sanguine.

La contamination s'effectue par contacts directs et indirects entre les individus. Actuellement, rien ne prouve l'existence d'une transmission verticale. De plus, il existe des porteurs sains de *Y. ruckeri* pouvant excréter par voie fécale la bactérie lors d'état de stress. Sur de jeunes individus, l'infection sera plutôt aiguë, tandis que sur des individus âgés, l'infection sera chronique (Hadfield, 2021).

Les manifestations cliniques sont celles retrouvées en cas de septicémie : nage anormale, léthargie, splénomégalie. Des exophtalmies sont également possible selon le même principe que lors d'infection à *F. psychrophilum*. En parallèle, des lésions spécifiques à *Y. ruckeri* sont retrouvées comme des pétéchies autour de la bouche et des hémorragies sur les organes internes notamment les reins, la rate et le foie. Il est aussi possible de retrouver des hémorragies au niveau de l'iris (Fig. 27).



Fig. 27 : Photographie d'une truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) atteinte de maladie de la bouche rouge présentant un hyphéma. D'après Pajdak-Czaus et al. 2019.

De nombreuses méthodes diagnostiques sont aujourd'hui disponibles lors d'une suspicion de maladie de la bouche rouge. On trouve des techniques sérologiques, moléculaires et des cultures bactériennes. Les prélèvements sont réalisés au niveau des tissus infectés.

Le traitement consiste en une administration d'antibiotiques ciblant la bactérie, par exemple la fluméquine. Au sein des élevages, il est possible de faire de la prévention grâce à un vaccin inactivé. En pratique, les protocoles vaccinaux sont peu utilisés dans les aquariums.

(3) La furonculose

La furonculose est une maladie causée par la bactérie immobile *Aeromonas salmonicida*. Chez les téléostéens, on distingue quatre sous-espèces d'intérêt : *Aeromonas salmonicida salmonicida*, *A. salmonicida acromogenes*, *A. salmonicida smithia* et *A. salmonicida masoucida*. Elle touche à la fois des espèces d'eau douce comme le poisson rouge (*Carassius auratus*) et des espèces marines ciblant préférentiellement les salmonidés.

Cette bactérie aéro-anaérobie facultative est un pathogène opportuniste. En effet, il est possible d'avoir un portage asymptomatique principalement sur des individus ayant déjà été exposés à la bactérie. Les individus porteurs sains peuvent développer la maladie à la suite d'un stress. De même que pour la maladie de la bouche rouge, l'infection est aiguë ou suraiguë chez les jeunes individus et elle est chronique chez les adultes. Sur les infections chroniques, il y a plus de chance d'avoir un portage asymptomatique. La contamination s'effectue par contacts directs ou indirects avec des individus atteints ou bien par relargage de bactérie par des porteurs sains (Roberts et al., 2009).

Les manifestations cliniques varient selon la sous-espèce bactérienne impliquée mais aussi selon l'espèce cible. Dans le cadre des lésions oculaires, celles-ci sont plus fréquentes lors de furonculose classique causée par *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*. Les autres sous-espèces sont à l'origine d'une furonculose dite atypique où les

signes oculaires sont moins fréquents. Lors de furunculose suraiguë, les signes cliniques sont plutôt frustes, et l'exophtalmie est parfois la seule modification macroscopique. En cas d'atteinte aiguë, les signes cliniques sont non spécifiques (abattement, anorexie, léthargie, etc.) associés à des hémorragies branchiales et à la base des nageoires avec possibilité d'évoluer vers une septicémie. Dans ce cas, il est aussi possible d'avoir des exophtalmies associées à de la nécrose cutanée et des hémorragies. Si l'atteinte est chronique, les lésions sont plus spécifiques et sont caractérisées par des furoncles.

Un portage asymptomatique et parfois l'absence de signes cliniques rendent le diagnostic difficile. De plus, les lésions cutanées présentent souvent des surinfections bactériennes ou fongiques brouillant le diagnostic. Le diagnostic définitif repose donc sur l'isolement et l'identification de la bactérie de la furunculose (typique ou atypique) dans un contexte clinique. Afin d'augmenter les chances d'isoler la bactérie impliquée, il est recommandé de prélever sur différents sites lésionnels. Des études ont montré que les prélèvements effectués sur les lésions cutanées et les branchies étaient plus fiables que ceux sur les organes internes (Gudmundsdóttir, 1998).

Un vaccin inactivé et des auto-vaccins sont disponibles en élevage. En début d'infection, il est recommandé de traiter par immunostimulation. Les *Aeromonas* immobiles présentent de nombreuses résistances aux antibiotiques, c'est pourquoi il est fortement conseillé d'effectuer un antibiogramme.

(4) Les *Aeromonas* mobiles

Les *Aeromonas* mobiles constituent un groupe de bactéries constituées d'*Aeromonas hydrophila*, *sobria* et *caviae*. Ce sont des bactéries aéro-anaérobies facultatives. Elles touchent les espèces marines et d'eau douce (Roberts et al., 2009).

Ces bactéries sont à l'origine de septicémies hémorragiques, caractérisées par des lésions cutanées et internes (principalement au niveau du foie et des reins), des exophtalmies, des ulcères, des abcès, des plages de nécrose (préférentiellement sur les nageoires), des oedèmes et des hémorragies. Cliniquement, il est difficile de les différencier des *Aeromonas* immobiles. Le diagnostic repose sur une identification bactérienne par culture au même titre que la furunculose. Il est également possible de le mettre en évidence par PCR.

Le protocole de traitement est similaire à celui détaillé dans le paragraphe sur les *Aeromonas* immobiles.

(5) Les vibrios

Les vibrios regroupent l'ensemble des pathologies causées par les bactéries opportunistes mobiles, les *Vibrio spp.* Chez les téléostéens, on trouve notamment *Vibrio anguillarum*, *V. salmonicida*, *V. alginolyticus*, *V. ordalli*, *V. parahaemolyticus* et *V. vulnificus*. Ces bactéries sont des pathogènes opportunistes car on les retrouve dans la flore intestinale de certaines espèces marines de téléostéens. Les vibrios peuvent toucher toutes les espèces de téléostéens mais elles restent plus fréquentes chez les espèces marines. En effet, ces bactéries font partie de la flore bactérienne de l'environnement marin (Roberts et al., 2009).

Les vibrios présentent un large panel de manifestations cliniques chez les poissons. Elles se multiplient principalement lors d'une pénétration cutanée suite à un

traumatisme par exemple, ou en tant qu'agent pathogène secondaire. Après pénétration de l'agent pathogène et multiplication, la dissémination dans l'organisme s'effectue par voie sanguine (Hadfield, 2021).

Les signes cliniques en cas de vibriose sont peu spécifiques. Ils se caractérisent par une septicémie hémorragique associée à une mélanisation, une coloration rouge au niveau de la bouche, une congestion de la base des nageoires et une exophtalmie bilatérale. Les lésions oculaires sont généralement plus marquées lors d'atteinte subaiguë : on peut observer des oedèmes rétiniens associés à une congestion et une infiltration cellulaire des vaisseaux choroïdiens et des ulcérations cornéennes provoquant des kératites, voire une perte totale de l'œil (Fig. 28)(Horne et al., 1977).



Fig. 28 : Vibriose sévère chez une truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). Perte complète de l'œil (flèche blanche) et lésions cutanées ulcérées graves (flèche noire). D'après Kurpe et al. (2022).

Il existe de nombreuses méthodes diagnostiques disponibles pour les *Vibrio spp.* (moléculaires, cellulaires et immunologiques). La plus efficace reste la culture et l'identification bactérienne suite à des prélèvements de lésions. Il est également possible d'effectuer un diagnostic à partir de prélèvements du milieu mais cette technique reste moins efficace (Eissa et al., 2017).

Le traitement des vibrioses repose sur une antibiothérapie ciblée, couplée à un antibiogramme. Dans les élevages il est possible de mettre en place un protocole vaccinal.

c) Les bactérioses gram + (1) La maladie bactérienne rénale

La maladie bactérienne rénale est causée par la bactérie aérobie *Renibacterium salmoninarum*. Elle touche surtout les Salmonidés d'eau salée mais la maladie a déjà été identifiée sur d'autres espèces tel que l'ayu (*Plecoglossus altivelis*).

La transmission de cet agent pathogène peut être verticale ou horizontale. La transmission s'effectue au travers du système digestif mais aussi à travers les lésions cutanées et oculaires. Des études soulèvent l'hypothèse d'un rôle réservoir des espèces marines. Parmi ces espèces on trouve des espèces de poissons mais également des mollusques et des ectoparasites comme le pou du saumon (Gnanagobal, 2023).

Responsable d'atteinte chronique, certains individus malades peuvent ne présenter aucun signe clinique. En cas de manifestations cliniques, celles-ci se caractérisent par de

l'ascite, du mélanisme et des exophtalmies. Plus occasionnellement, il est possible d'avoir des hémorragies notamment au niveau des yeux, associées à une opacification cornéenne (Fig. 29). Au niveau des organes internes, on peut observer des masses grisâtres au niveau des reins, du foie et de la rate, associées à une hypertrophie rénale. Histologiquement, la maladie bactérienne rénale se manifeste par une inflammation granulomateuse chronique des organes cibles (Delghandi et al. 2020).



Fig. 29 : Maladie bactérienne rénale chez un saumon royal (*Oncorhynchus tshawytscha*) présentant une opacification cornéenne associée à des hémorragies intra-oculaires. D'après Delghandi et al. (2020).

Il existe différentes méthodes diagnostiques. La plus efficace est une combinaison de la technique ELISA avec une PCR quantitative. En effet, cette dernière permet de détecter les bactéries malgré un portage asymptomatique.

Le traitement de cette affection repose sur une antibiothérapie à base d'érythromycine mais l'efficacité est variable. Il n'existe pas de vaccin disponible pour cette maladie.

(2) La lactococcose

La lactococcose est une maladie suraiguë provoquée par *Lactococcus garvieae*. Cette bactérie aéro-anaérobie facultative présente un potentiel zoonotique émergent. C'est pourquoi elle représente de grands enjeux dans le monde aquacole.

Cette bactérie est présente chez les espèces marines et d'eaux douces mais on peut aussi la retrouver chez des mammifères comme les ruminants et le porc. Sur les porteurs sains, elle est présente au sein de la flore intestinale des téléostéens. La maladie se déclenche souvent suite à une augmentation des températures autour de 20-21°C (Vendrell et al., 2006).

La transmission peut se faire par contacts directs ou indirects. Elle s'effectue principalement par l'intermédiaire des fèces des individus atteints et des porteurs asymptomatiques. Cependant, un individu ayant survécu à une épizootie peut tout de même continuer à transmettre la maladie.

La lactococcose se caractérise par une septicémie hémorragique associée à des exophtalmies. Les hémorragies peuvent avoir lieu dans les organes internes (surtout au

niveau du foie et de la vessie natatoire) ou bien en région péri-oculaire. En parallèle, une distension abdominale peut être observée (Hadfield, 2021).

Pour le diagnostic, il convient de s'appuyer sur l'historique du site et les paramètres de l'eau (température) en association avec un isolement de la souche bactérienne.

L'antibiothérapie peut être mise en place mais elle reste peu efficace au même titre que la vaccination. Pour cette maladie, la guérison est délicate. C'est pourquoi la prévention est importante.

(3) Les streptococcoses

Les streptococcoses regroupent les maladies causées par les bactéries *Streptococcus* spp. Les principales espèces impliquées chez les téléostéens sont : *Streptococcus iniae*, *S. dysgalactiae*, *S. ictaluri*. et *S. agalactiae*. Les espèces *S. iniae* et *S. agalactiae* présentent un potentiel zoonotique (Hadfield, 2021).

Ces différentes espèces présentent une répartition mondiale et touchent les espèces marines et d'eaux douces. La transmission horizontale peut être directe ou indirecte. La voie directe peut s'effectuer par contacts avec des lésions cutanées ou par voie oro-fécale. Cependant la transmission s'effectue le plus souvent à travers l'eau du fait de la forte résistance de la bactérie dans l'environnement. Une transmission verticale a été mise en évidence chez le tilapia pour *S. iniae* et *S. agalactiae* (Pradeep et al., 2016). Un portage asymptomatique est décrit à la fois chez les espèces de poissons sensibles et non sensibles ce qui participe à la propagation de la maladie. De plus, l'apparition de la maladie peut être favorisée par des conditions de stress ou des modifications de l'environnement tels qu'une alcalinisation des eaux ou des hausses de températures.

La symptomatologie est proche des septicémies causées par les bactéries gram négatif. On observe une décoloration et des ulcérations cutanées, des hémorragies conjonctivales, à la base des opercules et des nageoires, de l'ascite et de l'exophtalmie. Un des symptômes les plus caractéristiques est l'accumulation d'exsudat mucopurulent autour des yeux. Ce symptôme est à l'origine d'une autre appellation de la maladie qui peut aussi être appelée "pop-eye" (Fig. 30). En plus des signes de septicémie, la streptococcosse provoque fréquemment des signes neurologiques tels que des comportements de nage anormaux. Une inflammation suppurante des méninges et du cerveau, une entérite desquamative et des nécroses au niveau de la rate et du rein constituent les principaux changements histologiques (Anshary et al., 2014).

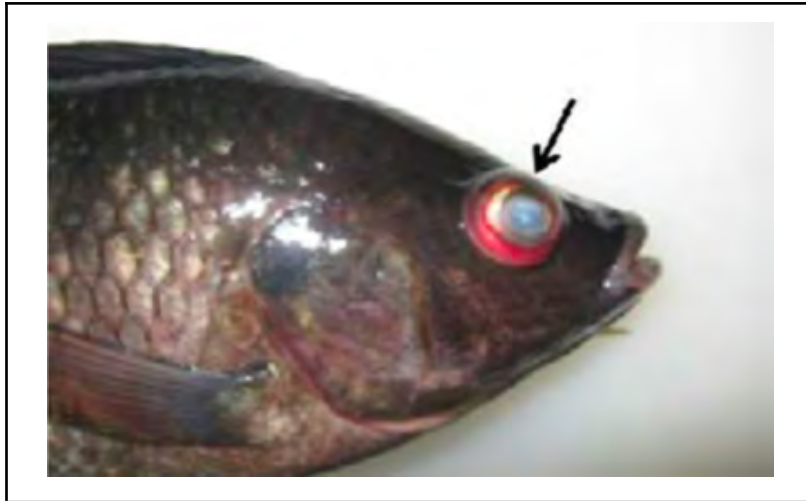


Fig. 30 : Streptococcose chez un tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*). Présence d'une exophthalmie, d'une opacification cornéenne et d'hémorragie conjonctivales (flèche noire). D'après Anshary et al. (2014).

Le diagnostic des streptococcoses est effectué sur des prélèvements réalisés au niveau organes internes (rate, rein et cerveau) par des techniques bactériologiques (cultures bactériennes). Cependant lors de nécessité de tests rapides il est aussi possible d'effectuer des PCR quantitatives (Sebastiao et al., 2015).

Le traitement repose sur une antibiothérapie mais elle est peu efficace. Il existe des vaccins inactivés et auto-vaccins pour les élevages. Afin d'optimiser le traitement, il est possible d'agir sur les paramètres de bacs, par exemple, en réduisant la température des eaux chaudes ou bien en acidifiant les eaux alcalines (Maekawa et al. 2020).

d) Les mycobactérioses

Les mycobactéries constituent un groupe de bactéries immobiles dénuées de paroi qui sont acido-alcool-résistantes. Les principales espèces impliquées dans les mycobactérioses des téléostéens sont : *Mycobacterium marinum*, *M. pseudoshottsii*, *M. fortuitum* et *M. chelonae*. Elles touchent toutes les espèces marines ou en eaux douces. De plus, certaines espèces telle que *Mycobacterium marinum* possèdent un potentiel zoonotique (Hadfield, 2021 ; Gauthier et al., 2009).

La transmission de la maladie n'est pas correctement établie. Cependant, il semblerait qu'il existe une transmission directe par ingestion ou par contact avec de l'eau contaminée. D'autres possibilités de transmission sont aussi suspectées. Parmi elles, la pénétration via des lésions cutanées ou la transmission par vecteur. De plus, une forte densité dans les bacs serait un facteur favorable au développement de la maladie. Il existe également un portage asymptomatique parmi les populations sauvages (Gauthier et al., 2009 ; Jacobs et al., 2009).

Les signes cliniques sont peu spécifiques. Les individus atteints présentent des signes de septicémie caractérisée par des lésions cutanées ulcératives, de l'anorexie, de la léthargie, de l'ascite de la nécrose de la queue et des nageoires et des exophthalmies. Les lésions internes sont toutefois spécifiques. Elles se manifestent sous la forme de multiples granulomes gris/blanc de taille variable dans de nombreux organes (principalement le foie, la rate et les reins). Les exophthalmies peuvent être provoquées par la septicémie, l'amaigrissement ou par la présence d'un granulome rétrobulbaire (Fig. 31). Dans de

nombreux cas, la maladie peut se développer sans signes cliniques externes (Urdes et al., 2022).



Fig. 31 : Mycobactériose chez un molly (*Poecilia sphenops*), caractérisée par une atrophie du pédoncule caudal associée à une exophthalmie bilatérale en vue dorsale. D'après Urdes et al. (2014).
Source : W.Baumgartner

Le diagnostic final est parfois difficile à atteindre. En effet, dans certains cas on ne peut pas savoir s'il s'agit d'une infection latente ou bien d'une infection secondaire. Lors de suspicion, le diagnostic repose sur une analyse histologique des lésions associée à une identification par culture bactérienne ou bien une coloration Ziehl-Neelsen (Jacobs et al., 2009).

L'antibiothérapie est peu efficace et doit être mise en place sur une période longue (au moins 21 jours). Les mycobactéries présentent de nombreuses résistances. Cependant, la désinfection du bac est possible avec du chlore ou des rayons UV (Delghandi et al. 2020).

2. Les pathologies virales

a) *Les birnaviroses*

Les birnaviroses regroupent les pathologies causées par les virus de la famille des Birnaviridae. Ces virus non enveloppés possèdent un génome en deux segments d'ADN double brin. Dans cette thèse, seuls le birnavirus marin et le birnavirus d'eau douce sont importants. Bien qu'ils soient proches, ces deux virus causent deux pathologies distinctes. La birnavirose marine provoque des exophthalmies associées à une distension de la vessie natatoire et de la vésicule biliaire. Une nage en spirale est également possible. Elle touche la plupart des espèces marines. La birnavirose d'eau douce ou la nécrose pancréatique infectieuse. Le virus cible préférentiellement les salmonidés et les cyprinidés. Sur les jeunes individus, l'exophthalmie est un signe dominant. De plus, le taux de mortalité est plus élevé que chez les individus adultes (De Kinkelin et al., 2018).

La transmission de ces virus est horizontale. On peut, par ailleurs, isoler le virus chez des adultes cliniquement sains. Cependant la virulence et le taux de mortalité varient selon la souche virale. Il existe différentes méthodes diagnostiques. Généralement, les prélèvements sont réalisés sur les individus sains :

- Culture cellulaire : le virus est présent en grande quantité dans plusieurs types de tissus. Il est recommandé pour ce type de détection, d'utiliser différentes lignées

cellulaires pour augmenter le taux de réussite. Cependant cette méthode de détection est plutôt adaptée lors d'une autopsie.

- Sérologie : deux techniques différentes sont disponibles. La première technique s'appuie sur une détection à partir d'anticorps qui se lient aux antigènes viraux. La seconde utilise les sondes basées sur les acides nucléiques. Il existe également des méthodes sérologiques utilisant des anticorps fluorescents. On trouve d'autres méthodes sérologiques disponibles telles que la neutralisation, l'ELISA ou la fixation du complément.
- PCR : cette technique est recommandée lorsqu'un diagnostic doit être obtenu rapidement. De plus, elle est facile à mettre en place.

Il n'existe pas de vaccins disponibles. En cas d'infection, les radiations UV ou les traitements iodophores peuvent limiter la transmission. En effet, les birnavirus sont parmi les virus les plus résistants dans l'environnement.

b) Les rhabdoviroses

Deux rhabdovirus ont un intérêt majeur dans cette thèse. Le premier est un rhabdovirus du genre vesiculovirus à ARN responsable de la septicémie hémorragique virale. Le second est un rhabdovirus du genre novirhabdovirus responsable de la nécrose hématopoïétique infectieuse. Ces affections sont considérées comme des dangers sanitaires de catégorie C, D et E. La liste des espèces touchées et des espèces vectrices est disponible dans la loi de Santé animale du règlement d'exécution UE 2018/1882 de la commission du 03/12/2018 (Tableau 1).

Tableau 1 : Catégories des rhabdovirus d'intérêt selon la loi Santé animale du règlement d'exécution UE 2018/1882 (03/12/2018).

Nom de la maladie répertoriée	Classe de la maladie répertoriée	Espèces répertoriées
		Espèces touchées
Septicémie hémorragique virale	C+D+E	Hareng (<i>Clupea spp.</i>), corégones (<i>Coregonus spp.</i>), brochet du nord (<i>Esox lucius</i>), églefin (<i>Melanogrammus aeglefinus</i>), morue du Pacifique (<i>Gadus macrocephalus</i>), morue de l'Atlantique (<i>Gadus morhua</i>), saumon du Pacifique (<i>Oncorhynchus spp.</i>), truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>), motelle (<i>Onos mustelus</i>), truite brune (<i>Salmo trutta</i>), turbot (<i>Scophthalmus maximus</i>), sprat (<i>Sprattus</i>)

		<i>sprattus</i>), ombre commun (<i>Thymallus thymallus</i>), cardeau hirame (<i>Paralichthys olivaceus</i>), truite marbrée (<i>Salmo marmoratus</i>), truite de lac (<i>Salvelinus namaycush</i>), labre (<i>Labridae spp.</i>) et lompe (<i>Cyclopteridae spp.</i>).
Nécrose hématopoïétique infectieuse	C+D+E	Saumon keta (<i>Oncorhynchus keta</i>), saumon argenté (<i>Oncorhynchus kisutch</i>), saumon japonais (<i>Oncorhynchus masou</i>), truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>), saumon sockeye (<i>Oncorhynchus nerka</i>), truite biwamasou (<i>Oncorhynchus rhodurus</i>), saumon chinook (<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>); saumon de l'Atlantique (<i>Salmo salar</i>), truite de lac (<i>Salvelinus namaycush</i>), truite marbrée (<i>Salmo marmoratus</i>), omble de fontaine (<i>Salvelinus fontinalis</i>), omble chevalier (<i>Salvelinus alpinus</i>), omble à taches blanches (<i>Salvelinus leucomaenis</i>).

La septicémie hémorragique virale se manifeste par des exophtalmies, du mélanisme, un abdomen distendu et des hémorragies à la base des nageoires. La nécrose hématopoïétique infectieuse a une symptomatologie proche, avec en plus des fèces sous forme de filaments et une alternance de phases d'excitation et de léthargie. Une étude menée par Wang et al., en 2023 montre que la muqueuse oculaire constitue une voie d'entrée du virus de la nécrose hématopoïétique infectieuse.

La transmission de ces virus est horizontale. De plus, de nombreuses espèces marines peuvent servir de vecteur. De même que pour les birnavirus, la mise en évidence peut s'effectuer par culture cellulaire, sérologie ou PCR. Il n'existe pas de traitement ni de vaccin. L'éradication de ces maladies passe par une éradication des individus du bac même si elle reste facultative (Woo et al., 1999).

c) Les nodaviruses

Chez les poissons, les nodavirus sont responsables de l'encéphalopathie et la rétinopathie virale ou VNN (Viral Nervous Necrosis). Ils appartiennent à la famille des Betanodavirus caractérisée par des virus de petite taille non enveloppés à ARN simple brin

(Lama et al., 2022). Les betanodavirus se classent en 4 grands génotypes différents selon la portion variable de la protéine de surface. En plus des 4 génotypes principaux, il existe des formes recombinantes. Les principaux génotypes sont les suivants (Tang et al., 2021 ; Totland et al., 1999) :

- Les SJNNV ou striped jack nervous necrosis virus. Ce génotype cible à la fois des espèces marines sauvages et d'élevage. Il est principalement détecté
- Les BFNNV ou barfin flounder nervous necrosis virus. Ce génotype cible les espèces marines en eaux froides.
- Les RGNNV ou red-spotted grouper nervous necrosis virus. C'est le génotype le plus souvent rencontré lors de VNN.
- Les TPNNV ou tiger puffer nervous necrosis virus.

La VNN se caractérise par une atteinte du système nerveux central et une atteinte de la rétine (Gjessing et al., 2009). Elle touche surtout les espèces marines avec plus de 100 espèces de poissons décrites sensibles dans le monde. Les poissons deviennent aveugles et présentent une nage aberrante, une réaction au stress amplifiée, une dilatation de la vessie natatoire et des exophtalmies. Histologiquement, on observe une vacuolisation des cellules rétinienne. La transmission du virus est horizontale et verticale, touchant les individus de tout âge (Fig. 32) (Nopadon et al., 2009).

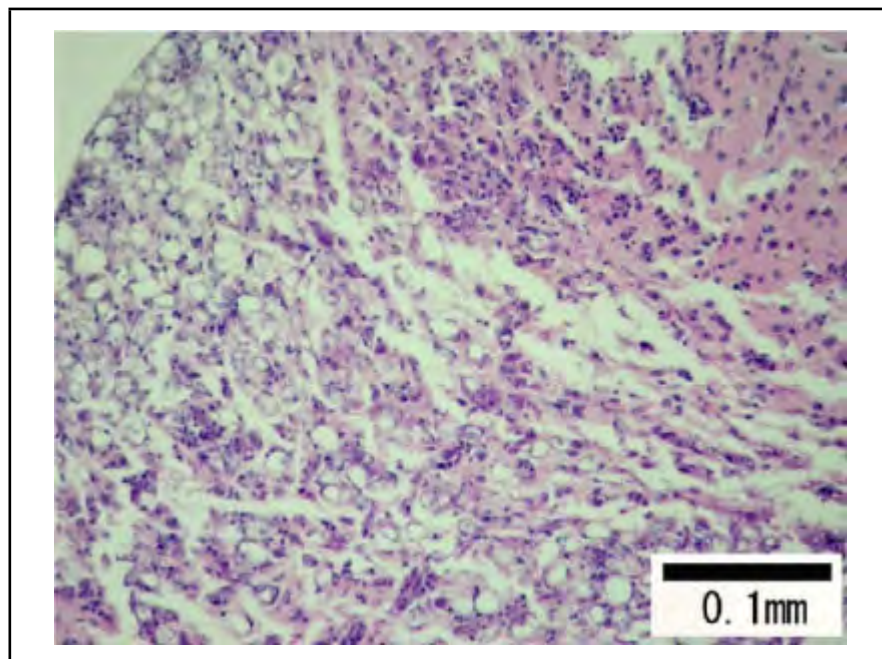


Fig 32 : Coupe histopathologique de rétine de mero corail tacheté (*Plectropomus maculatus*) infecté par un nodavirus. On observe une dégénérescence vacuolaire des couches nucléaires interne et externe. D'après Nopadon et al. (2009).

Le diagnostic de la VNN repose principalement sur l'isolement du virus en culture sur de lignées cellulaires sensibles suivi de l'identification par des techniques d'immunofluorescence (IFAT : immunofluorescence antibody test). D'autres techniques comme l'ELISA ou l'immunohistochimie sont aussi utilisées. Depuis quelques années, des techniques PCR sont également proposées : elles permettent une amélioration de la rapidité

dans le dépistage du virus. En pratique, les RT-PCR et les qPCR sont principalement utilisées sur du tissu de la rétine ou de l'encéphale suite à une autopsie (Eyngor et al., 2014 ; Gjessing et al., 2009).

Il n'y a pas de traitement disponible. La guérison des poissons repose uniquement sur l'immunité naturelle ou bien acquise par la vaccination. C'est pourquoi la prévention est importante. Elle repose sur le contrôle des intrants et la désinfection du matériel.

3. Les pathologies fongiques et apparentées

Bien que les agents fongiques représentent une plus faible proportion des atteintes oculaires chez les poissons, ils restent une cause non négligeable lors de signes oculaires. Cette famille de pathogènes est principalement opportuniste. Ainsi, les manifestations oculaires lors d'atteintes fongiques sont secondaires à une cause primaire par exemple, un stress environnemental. Différentes espèces fongiques sont retrouvées chez les poissons mais seules celles pouvant induire des atteintes oculaires sont mentionnées. Selon les espèces fongiques impliquées, différentes portions anatomiques de l'œil peuvent être touchées.

a) *La saprolégniose*

Chez les téléostéens, la pathologie fongique la plus fréquente est la saprolegniose. Elle est causée par les oomycètes *Saprolegnia spp*, et touchent majoritairement les espèces d'eaux douces. La saprolegniose se développe suite à des atteintes primaires. En effet, des études ont montré que la maladie se déclenche souvent suite à des lésions traumatiques, ou une élévation de la température du bac (Lindholm-Lehto et al., 2024). Cependant des cas de saprolegniose primaire ont déjà été mis en évidence (Lindholm-Lehot et al., 2024). La contamination s'effectue par contacts directs et indirects.

Cliniquement, la saprolegniose se caractérise par des lésions externes circulaires gris-blanc sur le tégument qui ressemble à de la laine sous l'eau. Les lésions s'étendent radialement et fusionnent ensuite entre elles. De plus, elles peuvent s'assombrir au cours de leur évolution. Ces lésions touchent principalement le tégument et les branchies mais dans certains cas elles peuvent atteindre l'épithélium cornéen à l'origine d'ulcères, de kératites ou d'opacifications cornéennes (Fig. 33). L'atteinte cornéenne peut être unilatérale ou bilatérale selon l'extension des lésions (Alam et al., 2024 ; Abd El Aziz et al., 2004).

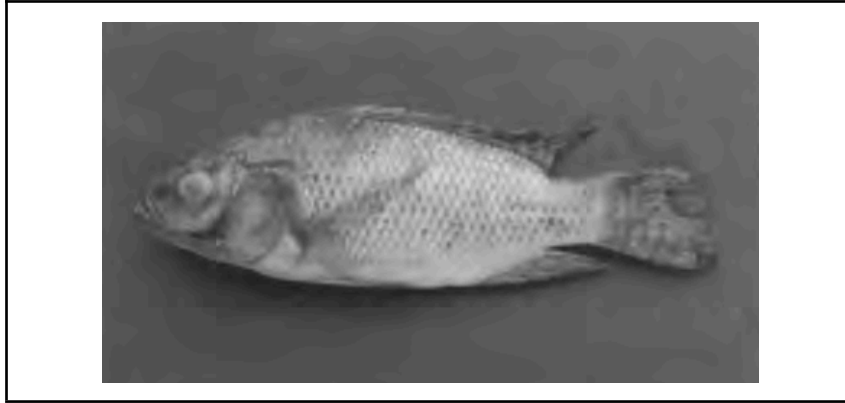


Fig 33 : Opacification cornéenne chez un Tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) secondaire à une infection à *Saprolegnia parasitica*. D'après Abd El Aziz et al. (2004).

Le diagnostic repose sur une observation clinique associée à un isolement de l'espèce. Ce dernier s'avère parfois difficile car il ne doit pas être infecté par des bactéries. La prise en charge passe d'abord par des méthodes de prophylaxie en limitant les variations des paramètres environnementaux. De plus, les individus pêchés en mer peuvent être porteurs, c'est pourquoi un isolement préalable est recommandé. En cas de maladie, le traitement consiste en une administration d'anti-fongique combiné à des agents désinfectants comme le vert de malachite (Khoo, 2000).

b) Les phaeohyphomycoses

Les phaeohyphomycoses désignent les pathologies sous-cutanées et systémiques causées par des champignons pigmentés, c'est-à-dire présentant des éléments de couleurs brun-verdâtre dans leurs hyphes. Ces atteintes se retrouvent chez de nombreuses espèces du vivant. De nombreuses espèces de champignons peuvent être à l'origine de phaeohyphomycoses. Chez les poissons, les principales espèces sont : *Exophiala sp.*, *Veronaea botryosa*, *Phoma herbarum* et *Ochroconis sp.*. Ces infections peuvent toucher toutes les espèces de poissons. Elles sont généralement considérées comme secondaires à des facteurs métaboliques ou environnementaux. De plus, elles peuvent être masquées par une surinfection bactérienne. La transmission s'effectue de manière directe ou indirecte.

Les manifestations cliniques sont variées et peu spécifiques. Généralement, on observe des lésions chroniques granulomateuses non suppurées. Elles peuvent être localisées sur les organes internes ou le tégument. Lors d'atteinte cérébrale, des anomalies comportementales peuvent être observées. Les manifestations oculaires varient selon l'origine de l'extension. On observe principalement des kératites et des ulcères cornéens lors d'origine cutanée, tandis qu'il y a surtout des exophtalmies, des buphtalmies et des uvéites lors d'origine systémique (Fig. 34). En cas d'aggravation des lésions, on observe des ulcères cutanés étendus avec des marges noires bien délimitées et de multiples foyers sombres dans les viscères, évoluant vers des plages de nécrose (Seyedmousavi et al., 2013).

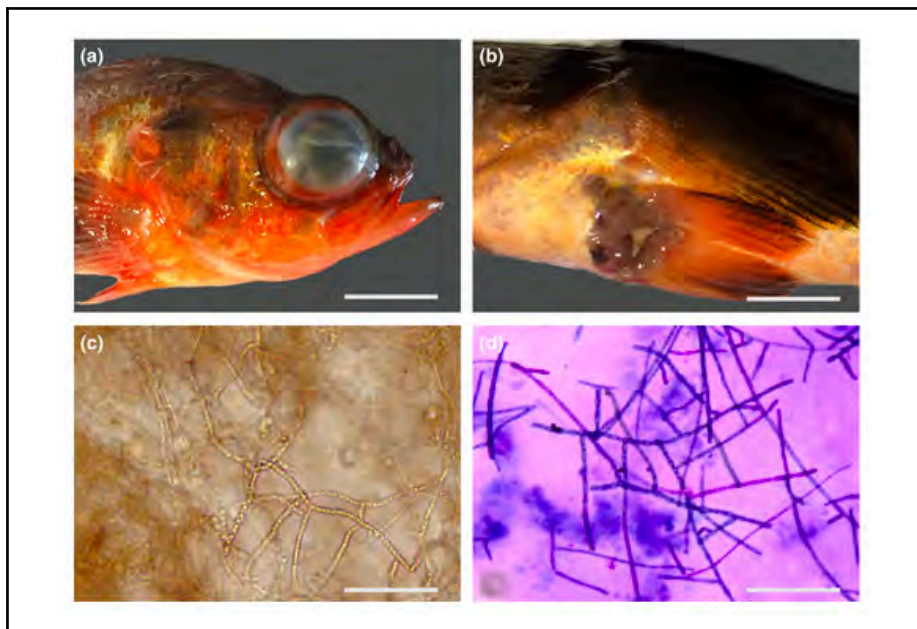


Fig 34 : Suspicion de phaeohyphomycose chez un sébaste à nez fendu (*Sebastes diploproa*). (a) Buphtalmie associée à une opacification de la chambre antérieure, échelle = 10 mm. (b) lésion cutanée nodulaire brun foncé entre les nageoires pelviennes, échelle = 10 mm. (c) frottis d'un aspirat uvéal montrant des champignons bruns segmentés et ramifiés, échelle = 85 μ m. (d) frottis d'un aspirat uvéal montrant les champignons colorés en bleu par la coloration de Wright-Giesma modifiée, échelle = 85 μ m. D'après Peel et al., 2021.

Comme mentionné plus haut, le diagnostic de ces affections peut être compliqué en cas de surinfection. C'est pourquoi, une simple observation clinique se révèle insuffisante. Celle-ci doit être combinée à une analyse histopathologique afin de mettre en évidence les hyphes pigmentés. Il est possible d'identifier l'espèce à partir d'une culture et d'un isolement. La plupart des espèces fongiques sont sensibles aux principaux antifongiques disponibles sur le marché. Cependant, il est important de ne pas négliger la prévention en limitant les conditions de stress afin de réduire le risque de déclenchement de la maladie (Peel et al., 2021).

c) *La dermocystidiose*

Dermocystidium spp. comprend différentes espèces fongiques qui sont des parasites obligatoires chez les poissons, touchant un large panel d'espèces. La classification taxonomique de ces pathogènes reste floue entre le champignon et le protozoaire. Cependant, l'observation d'hyphe lors d'infection chez des carpes Koï suggère la nature fongique de cet agent. Bien que ces agents fongiques aient une répartition mondiale, les infections sont plutôt sporadiques. Mais, un taux de mortalité élevé est observé si on a une augmentation du stress environnemental ou des températures (Ramaiah, 2006).

Les lésions causées par *Dermocystidium spp.* chez les poissons sont chroniques et se caractérisent par des kystes ou des nodules blanc-jaunâtres visibles sur le tégument et les nageoires, associés à un oedème généralisé. De nombreuses études décrivent aussi de

graves infections systémiques ou branchiales causant de la mortalité chez de nombreuses espèces. Lors d'atteintes systémiques, des kystes rétrobulbaires peuvent se former causant des exophtalmies unilatérales ou bilatérales (Sellyei et al., 2022). Bien que la dermocystidiose est une affection secondaire, un cas d'atteinte oculaire primaire a été reporté par Sirri et al. en 2020 chez une carpe koï. Le poisson présentait un tissu exophytique sous-conjonctival blanchâtre évident, entouré de bords rougeâtres, qui s'étendait sur les deux bulbes oculaires. À l'histologie, les tissus mous péribulbaires jusqu'aux muscles et l'espace choroïdien de la chambre postérieure étaient infiltrés par de nombreux kystes allongés (Fig. 35).

Sur des cas sporadiques, le diagnostic repose sur des raclages des lésions afin de mettre en évidence les hyphes. Pour une identification plus poussée de l'espèce, une mise en culture est nécessaire. Sur des cas enzootique, il est possible de réaliser des autopsies pour prélever du muscle et des branchies. Le traitement à base d'antifongique a une réponse variable. De plus, lors de manifestations cliniques, le pronostic reste réservé. C'est pourquoi, la prévention est importante. Cette dernière repose sur une réduction des facteurs de stress et une surveillance des températures (Hassan et al., 2014).

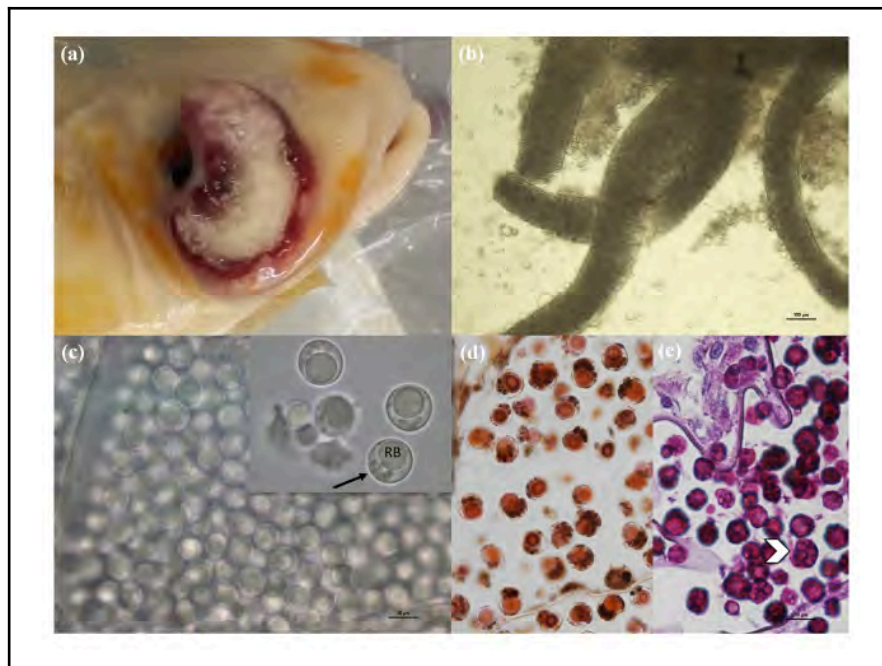


Fig 35 : Dermocystidiose chez une carpe Koï (*Cyprinus carpio var. koï*). (a) tissu oculaire exophytique blanchâtre. (b) Nombreux kystes filiformes hyphales visibles au stéréomicroscope, échelle = 100 μ m. (c) Les kystes sont remplis de spores matures rondes morphologiquement proches à *Dermocystidium* sp. Les spores présentent un corps réfractaire (RB), échelle = 10 μ m. (d) La coloration de Gomori montre les détails cytologiques des spores, échelle = 10 μ m. (e) La coloration PAS indique les stades de développement du parasite. Quatre zoospores sont visibles à l'intérieur d'une spore (pointe de la flèche), échelle = 10 μ m. D'après Sirri et al., 2021.

d) L'ichthyophonose

L'ichthyophonose est causée par des champignons de la famille des microsporidies. Cette famille correspond à un intermédiaire entre les champignons et les parasites. Pour résumer, l'ichthyophonose est causée par un champignon qui est un parasite obligatoire des poissons, ayant un spectre large d'espèces hôtes. Cette maladie se trouve à la fois chez les espèces marines et les espèces d'eau douce. Deux espèces en sont à l'origine :

Ichthyosporidium hoferi et *Ichthyosporidium gasterophilium*. La contamination s'effectue par contact directs ou indirects. Les spores de ces espèces peuvent persister plusieurs mois dans l'environnement (Ramaiha, 2006).

Cliniquement, elle se caractérise par une granulomatose systémique. La localisation des lésions varie selon les espèces. Chez certaines espèces, les lésions sont préférentiellement externes, caractérisées par un aspect rugueux de l'épithélium cutané en région ventrale, associé à des ulcérations. Dans d'autres espèces, les lésions sont préférentiellement internes, caractérisées par des nodules blanchâtres et des granulomes. Lors d'atteintes externes, il est possible d'avoir une extension des lésions jusqu'à l'épithélium cornéen induisant des lésions similaires à la saprolégniose. Lors d'atteintes internes, des exophtalmies peuvent être provoquées par un nodule rétrobulbaire. De plus, les lésions oculaires peuvent s'étendre à l'uvéa à l'origine d'uvéite voire de panophtalmie (Alam et al., 2023).

Le diagnostic est identique à celui de la saprolégniose. Cependant lors d'atteinte interne, il est possible de faire une identification à partir de prélèvement sanguin. Une étude menée par Reichenbach-Klinke et al. en 1965 a démontré qu'un traitement à base de phenoxetol fonctionnait sur les stades précoces de la maladie. Cependant, en pratique, il n'existe pas de traitement efficace.

4. Les pathologies parasitaires

Les parasites représentent une cause majeure d'atteinte oculaire chez les poissons. Kumaratungaa et al. en 2022 ont mis en évidence que lors d'inflammation oculaire, les parasites constituent la première cause identifiée. En conditions physiologiques, les parasites restent peu problématiques car un équilibre hôte-parasite empêche l'apparition de signes cliniques. Ainsi, une inflammation oculaire d'origine parasitaire démontre un déséquilibre entre les défenses immunitaires de l'hôte et le pouvoir pathogène du parasite. C'est pourquoi, dans ces situations, l'infestation parasitaire est secondaire. Toutefois, sur des individus immunodéprimés par exemple, une infestation primaire reste possible. Là encore, seuls les parasites provoquant des signes oculaires seront mentionnés.

a) *Les parasites protozoaires*

(1) La maladie des points blancs et la cryptocariose

Ces deux pathologies concernent des parasites obligatoires de la famille des protozoaires ciliés. Le premier, *Ichthyophthirius multifiliis*, affecte les espèces d'eau douce et le second, *Cryptocaryon irritans*, cible les espèces marines. Les infestations ont surtout lieu dans les eaux tempérées. La transmission est directe ou indirecte entre les individus.

Le cycle de développement de ces parasites est quadriphasique (Fig. 36). Le stade infestant est le théronte qui évolue vers le stade parasitaire, le trophonte. Les stades infestants envahissent l'épithélium, les nageoires, les branchies et les yeux. Ils se nourrissent de débris cellulaires. La durée des stades du cycle varie selon plusieurs paramètres environnementaux : la température, la salinité (pour *C. irritans*), le taux d'oxygène dissous et la photopériode (Li et al., 2021).

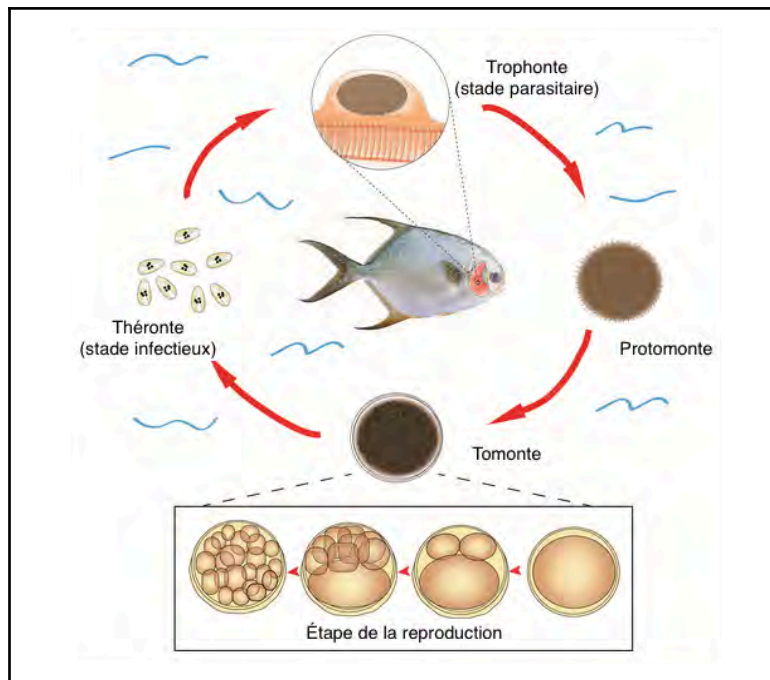


Fig. 36 : Cycle de développement de *Cryptocaryon irritans*, d'après Li et al (2016), traduit en français.

Cliniquement, des points blancs sont visibles sur le tégument et les branchies. Les poissons s'agitent et se frottent aux parois pour décrocher les parasites. Ce comportement mène souvent à des atteintes oculaires comme des kératites ulcératives, des cataractes ou des exophtalmies traumatiques. En cas d'infestation massive, on observe une anorexie de la léthargie aboutissant parfois à la mort de l'individu (Hadfield, 2021).

Les lésions en points blancs participent au diagnostic clinique. Cependant, le diagnostic de certitude repose sur la détection de trophontes au niveau des lésions par observation microscopique. Ainsi, un raclage cutané monté sous lame et lamelle constitue une méthode diagnostic rapide. D'autres méthodes diagnostiques existent comme l'analyse PCR et ELISA. Ces méthodes sont moins rapides mais utiles pour évaluer la charge parasitaire sur des poissons asymptomatiques (Vaughan et al., 2021)(Buchmann et al., 2021).

Différents traitements sont efficaces sur ces parasites. Dans le cas de *Cryptocaryon irritans*, une baisse de la salinité du bac provoque un choc osmotique à l'origine le détachement des parasites des poissons. Un traitement antiparasitaire comme le métronidazole associé à une désinfection des bacs avec, par exemple, du formaldéhyde est aussi possible.

(2) La scuticociliatose

Cette deuxième pathologie est causée par un ensemble de parasites protozoaires ciliés (Fig. 37). Il s'agit de parasites histophages opportunistes qui en condition physiologique vivent dans les écosystèmes marins. Les principales espèces responsables sont *Uronema marinum*, *Philasterides dicentrarchi* et *Pseudocohnilembus persalinus* (Song et al., 2009). Le cycle de développement est peu développé dans la bibliographie mais, comme tous les protozoaires ciliés, deux phases sont distinctes. La première aboutit à une multiplication asexuée et la seconde à une reproduction sexuée. Ce manque de données sur le cycle de développement provient de la culture difficile de l'espèce.

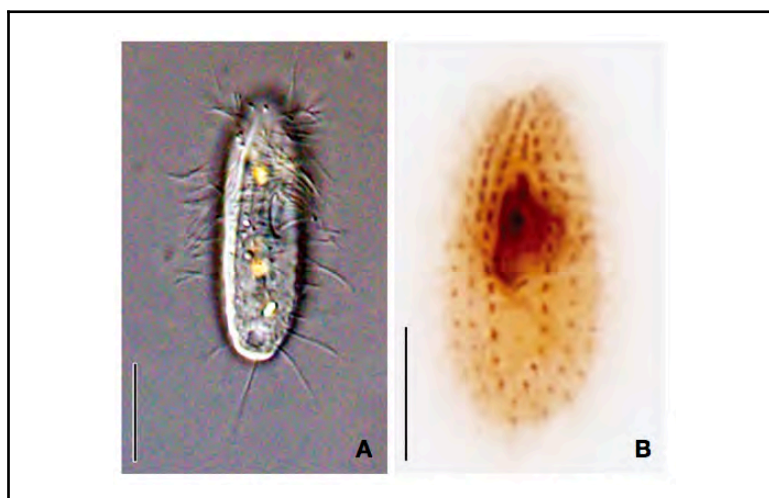


Fig. 37 : Spécimen d'*Uronema marinum* in vivo (A) et l'un imprégné de protargol en vue ventrale montrant la ciliature orale et ventrale (B). Échelles : A et B = 10 μ m. D'après Kim et al. (2017).

Plusieurs facteurs favorisent la scuticociliatose chez les poissons d'aquarium. Les plus fréquents sont la température, la salinité et le niveau des défenses immunitaires de l'hôte. De plus, la plupart des espèces marines sont touchées en cas d'infestation. Lorsque les conditions sont favorables, les parasites pénètrent le plus souvent dans l'organisme par les branchies ou des lésions cutanées, mais parfois à travers les narines et la région périoculaire. Ensuite les parasites colonisent progressivement le sang et les organes internes. Cliniquement, la scuticociliatose se manifeste d'abord par une nage anormale, de la léthargie, de l'anorexie et souvent des exophtalmies. En effet, les parasites peuvent entrer par la ligne latérale et coloniser le liquide céphalo-rachidien. Ensuite, des troubles respiratoires associés à une congestion des branchies avec surproduction. Lors d'infestation massive, de l'ascite et des hémorragies disséminées sur plusieurs organes sont observées. La scuticociliatose présente un taux de mortalité élevé dans les populations touchées (Steverding, 2022).

Différentes méthodes diagnostiques permettent d'identifier le parasite en cause. Les prélèvements s'effectuent sur plusieurs organes du fait de l'infestation systémique. Sur des individus vivants, une ponction de liquide céphalo-rachidien ou de liquide rétro-oculaire suivi d'une observation microscopique permet d'observer les ciliés mobiles. Sur des individus autopsiés, plusieurs prélèvements comme l'encéphale ou la cavité péritonéale pour une analyse PCR ou histologique (Kim et al., 2017) (Lamas et al., 2021).

Le traitement de la scuticociliatose repose sur une administration d'antiparasitaires comme le métronidazole ou des halogénophénols (niclosamide hors AMM). L'antiparasitaire peut être associé à l'administration d'immunostimulants (Steverding, 2022). En plus des traitements médicaux, une désinfection du bac doit être réalisée. En préventif, l'eau des bacs traitée par des rayonnements UV aide à la réduction de la charge parasitaire (Kasai et al., 2002). Il existe également un vaccin inactivé sur les poissons d'élevage.

b) Les parasites helminthiques
(1) La douve oculaire

La douve oculaire est causée par des trématodes de la famille des Diplostomidés. Lors d'infestation par ces parasites, on parle de diplostomiase. Elle se manifeste chez les espèces marines et les espèces d'eau douce. Sur un même individu, différentes espèces de *Diplostomum spp.* peuvent être présentes. Les *Diplostomum spp.* ont un cycle de développement en quatre phases. Celui-ci est présenté de manière simplifiée dans la figure 38. Les adultes *Diplostomum spp.* vivent dans le tube digestif de l'hôte final et y pondent des œufs qui seront relargués par les fèces dans le milieu aquatique. Les œufs évoluent en miracidiums mobiles qui infectent le premier hôte intermédiaire. Les miracidiums migrent vers le foie et les intestins puis, suite à une reproduction asexuée, évoluent en sporocystes et parfois en cercaires mobiles. Les cercaires quittent l'hôte intermédiaire lorsque les eaux se réchauffent et migrent vers le deuxième hôte intermédiaire, les poissons. Au niveau de l'épithélium des poissons se trouvent des signaux moléculaires qui stimulent l'attachement et la pénétration du parasite dans le poisson. Les deux sites préférentiels d'attachement sont les branchies et les pédoncules des nageoires. Après pénétration, les cercaires migrent en quelques heures par chimiotactisme vers l'organe préférentiel : l'œil. Les cercaires évoluent en métacercaires dans l'œil au niveau du cristallin, des humeurs vitrée et aqueuse, parfois dans la rétine. Les métacercaires rejoignent ensuite l'hôte final via la prédation pour atteindre le stade adulte. Lors d'infestation massive, une importante mortalité est possible. Dans ce cas, les migrations des cercaires peuvent être aberrantes. En hiver le parasite entre en hypobiose chez le poisson ce qui peut augmenter la mortalité au sein des populations (Longshaw et al., 2001).

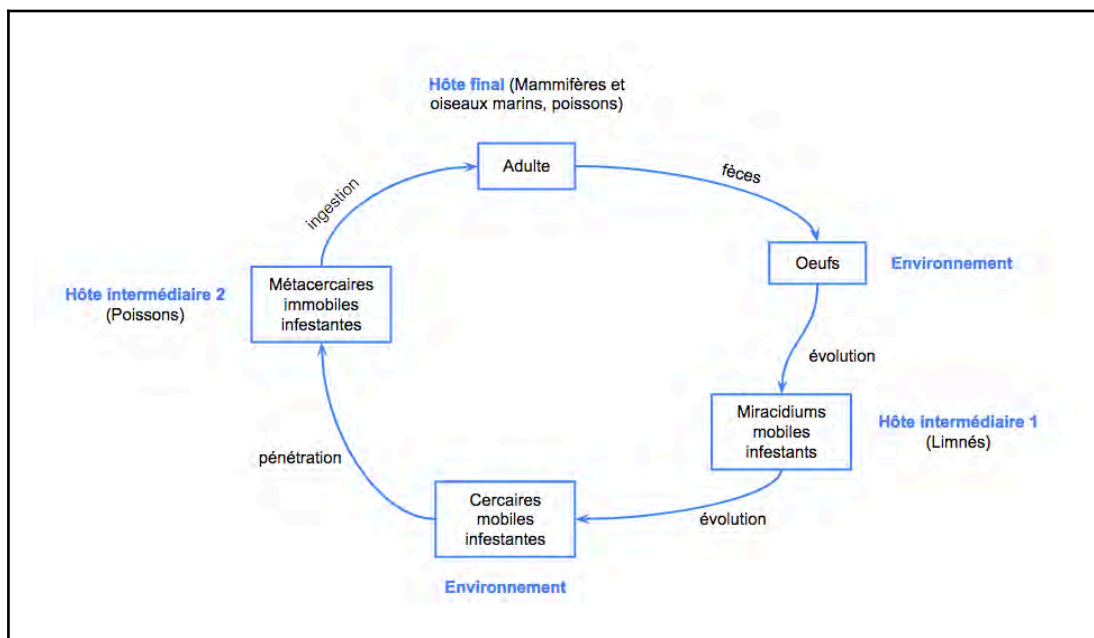


Fig. 38 : Schéma simplifié du cycle de développement de *Diplostomum spp.* D'après Longshaw et al. (2001).

De nombreuses adaptations sont décrites chez les diplostomides. Par exemple, lors de l'infestation des poissons sur les périodes chaudes, les cercaires sont relâchées dans l'eau pendant une longue période s'étendant sur plusieurs mois. La quantité de cercaires

émis diminue progressivement le long de la période. Cela permet de maximiser les chances de rencontre avec le nouvel hôte. De plus, les cercaires sont surtout relâchées pendant la journée expliquant que les espèces de téléostéens diurnes soient plus touchées que les espèces nocturnes. Lors de l'émergence des cercaires depuis les limnées, la migration dépend de facteurs environnementaux comme la luminosité et les courants (Longshaw et al., 2001).

Lors d'infestation aux diplostomides, les principaux signes cliniques sont la cataracte des détachements localisés de la rétine ou la choroïde et parfois une buphtalmie (Karvonen et al., 2008). Chez les poissons infectés, les métacercaires peuvent s'enkyster dans le cristallin ou l'humeur aqueuse. Concernant les poissons, des études ont mis en évidence des mécanismes de défense face à ces parasites, par exemple une résistance génétique héréditaire. De plus, il semblerait que les poissons soient capables de détecter et d'échapper aux zones avec une forte densité de parasites. Dans l'organisme, le système adaptatif immunitaire est le plus important dans la défense contre les parasites. Cependant l'activation du système immunitaire adaptatif requiert au moins 24h ce qui laisse le temps aux cercaires de migrer jusqu'au cristallin. Rauch et al. (2006) ont démontré la présence d'un système de défense immunologique. Ainsi, selon l'espèce de parasite, le degré d'infection sera différent.

On peut les observer grâce à la lampe d'ophtalmoscope car ils apparaissent comme des formes allongées de couleur blanche à transparente (Fig. 39). Le traitement le plus efficace est le praziquantel. L'objectif n'est pas d'éradiquer le parasite mais de limiter les infestations massives au sein d'une population de poissons afin de limiter les risques de cataracte et de cécité. Il est aussi possible de laisser les poissons dans un bac avec un faible taux de diplostomides pour favoriser le développement du système immunitaire. En parallèle, on peut fournir aux poissons un espace suffisamment large pour éviter les cercaires. On peut aussi agir sur l'environnement en réduisant le nombre de mollusques présents afin de limiter la libération des cercaires. Lors d'infestation massive, les complications ophtalmiques comme la luxation du cristallin favorisent les surinfections bactériennes secondaires.

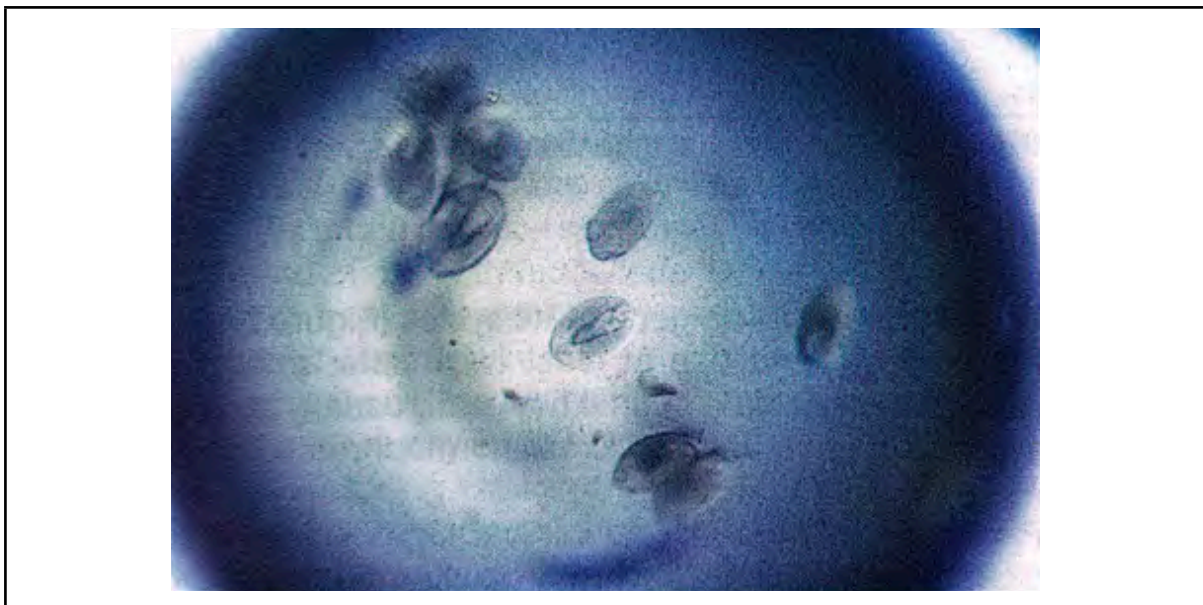


Fig. 39 : Photomicrographie de *Diplostomum* spp. prélevé sur un cristallin d'un poisson (montage humide entre lame et lamelle). D'après Longshaw et al., 2001.

(2) Neobenedenia

Neobenedenia spp. sont des cestodes (vers plats) qui ciblent uniquement les espèces marines de poisson. Parmi les espèces les plus fréquentes, on trouve *Neobenedenia melleni* chez les espèces marines d'eaux froides. *Neobenedenia* spp. sont des parasites monogènes c'est-à-dire qu'ils n'évoluent que chez un seul hôte. Ces parasites peuvent être ovipares ou vivipares. La transmission s'effectue de manière directe pour chaque étape du cycle de développement. Comme indiqué sur la figure 40, le mode de vie ovipare consiste en une ponte relarguant des oeufs dans l'environnement. Ceux-ci évoluent en oncomiracidiums qui infestent l'unique hôte. Le mode de vie vivipare repose sur la production de jeunes adultes. Les parasites jeunes adultes sont plus douloureux pour l'hôte car ce mode de reproduction permet aux parasites de se développer rapidement dans des conditions favorables, comme une augmentation des températures des bacs.

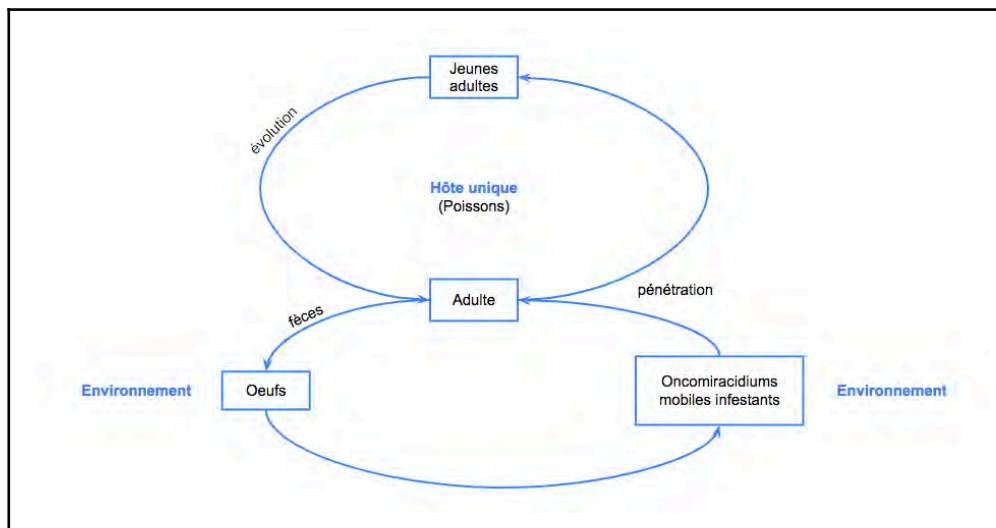


Fig. 40 : Schéma simplifié du cycle de développement de *Neobenedenia* spp. D'après M. Longshaw et S. W. Feist (1992).

Neobenedenia melleni a une prédilection pour les yeux de son hôte. Les crochets au niveau de sa bouche permettent l'attachement des oncomiracidiums sur la cornée. L'attachement chronique du parasite provoque des oedèmes cornéens en plus d'une opacification cornéenne (Hadfield, 2021)(Fig. 41). De plus, l'action de retirer le parasite peut aussi provoquer un ulcère.

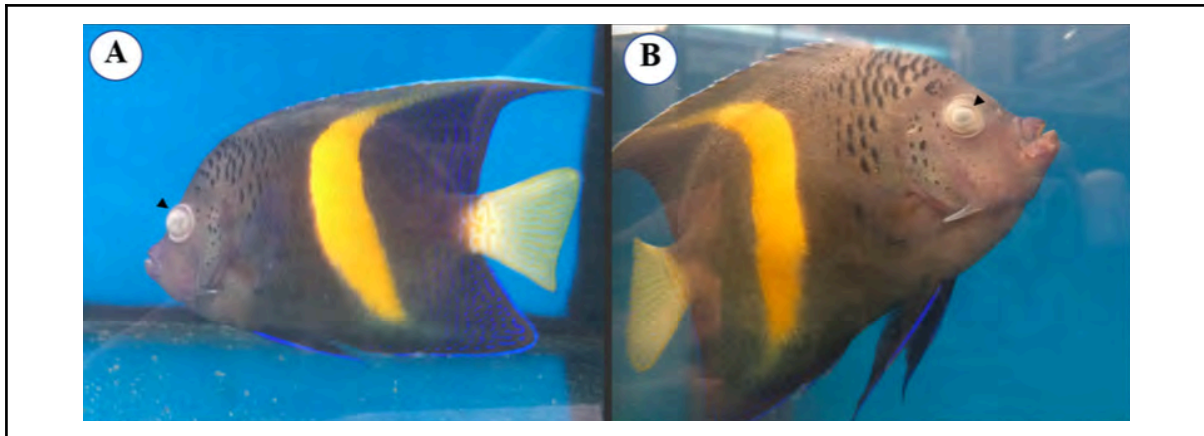


Fig. 41 : *Pomacanthus asfur* présentant une opacification cornéenne bilatérale (triangles noirs) causée par *Neobenedenia melleni*. (A) : vue latérale gauche, (B) : vue latérale droite. D'après Cardoso et al. (2019).

La principale méthode d'identification de ce parasite consiste à placer le poisson concerné dans un bain d'eau douce pendant quelques minutes. Les parasites se détachent et apparaissent alors opaques dans l'eau (Fajer-Àvila et al., 2008). L'autre option consiste en des bains au praziquantel pendant quelques heures. Le praziquantel constitue d'ailleurs l'un des traitements les plus efficaces. L'identification de l'espèce parasitaire n'est pas essentielle pour le traitement dès lors qu'on a identifié des vers plats.

c) Les myxozoaires

Cette famille de parasites intra-cellulaires est constituée de plusieurs espèces parasites des poissons en eau douce et en eau de mer. Toutefois, un nombre limité présente un intérêt dans le cadre de cette thèse. Les espèces de myxosporidies pouvant induire des lésions oculaires sont les suivantes : *Myxobolus hoffmani*, *Myxobolus scleroperca*, *M. heterospora*, *M. ocularis*, *M. dermatobia* et *M. spheroidalis* (Lom et al., 2006).

Le cycle de développement des *Myxobolus spp.* est complexe. Il implique des espèces hôtes intermédiaires. La nécessité d'avoir un hôte intermédiaire dans le cycle permet un contrôle de l'infestation en retirant ce dernier de l'aquarium. Le cycle généralisé des parasites myxozoaires est présenté sur la figure 42. Les poissons sont infectés par les actinospores. La pénétration du parasite dans l'hôte final (le poisson) s'effectue par pénétration directe c'est-à-dire via le tégument ou bien par ingestion d'un hôte intermédiaire (Noga, 2000).

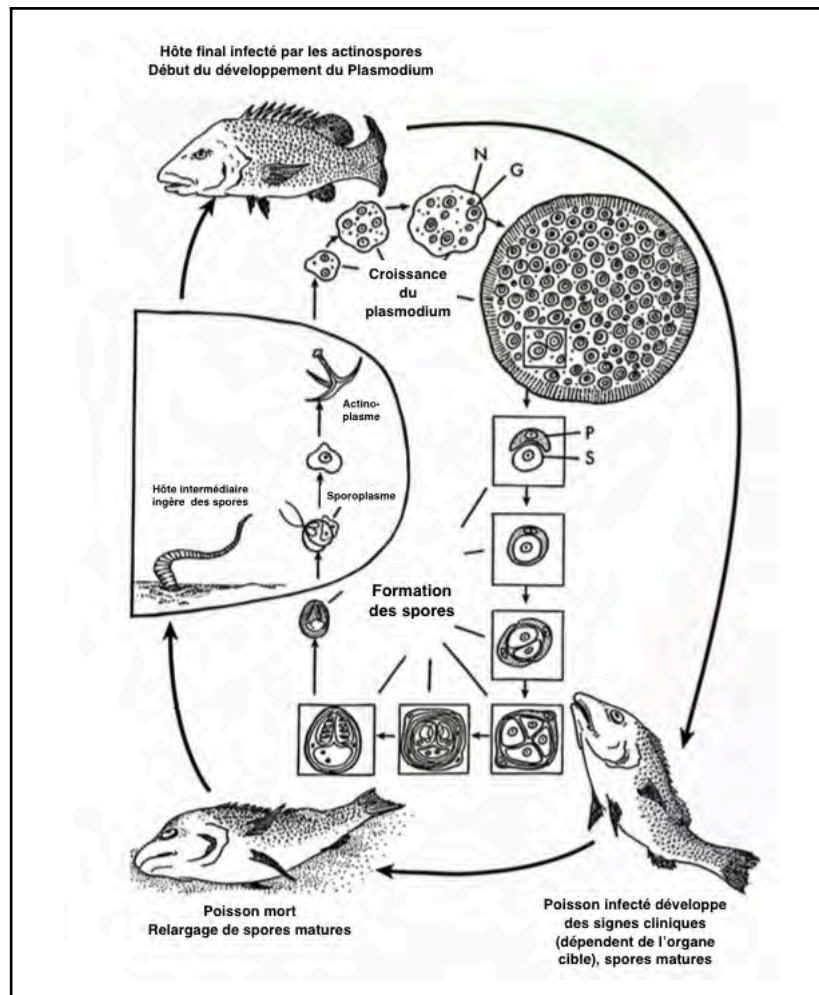


Fig. 42 : Cycle de développement des parasites myxozoaires. (G) cellule reproductrice, (N) nucléi, (P) péricyte et (S) cellule sporogonique. D'après Noga (2000), traduit en français.

Les manifestations cliniques varient selon l'espèce parasitaire, son stade de développement, l'espèce hôte et le site de l'infection. Généralement les *Myxobolus spp.* forment des kystes sur divers organes dont la rupture libère des spores en importante quantité. Les signes cliniques sont principalement frustes sauf lors d'infestations massives. De plus, les jeunes individus sont plus affectés par l'infestation. Les lésions macroscopiques sont peu spécifiques. Les lésions externes se caractérisent par la présence de nodules ou pseudokystes cutanés. Les lésions internes ont l'aspect de granulomes. En considérant uniquement les atteintes oculaires, *M. hoffmani* et *M. scleoperca* dans de rares cas peuvent pénétrer au niveau de la sclère pour ensuite s'enkyster dans la rétine ou bien provoquer des uvéites. Du fait de la continuité de la cornée avec le tégument, *Myxobolus spp.* causent souvent des kératites ulcératives (Longshaw et al., 2001).

Afin d'établir un diagnostic, les spores myxozoaires doivent être identifiées. La présence de spores avec une ou plusieurs capsules polarisées sont pathognomoniques d'une infection par des myxozoaires (Fig. 43). En cas d'identification de l'espèce, des spores libres sont nécessaires. Les prélèvements s'effectuent au niveau des pseudokystes. La prise en charge de l'infestation s'appuie sur l'association d'un traitement avec une désinfection des bassins. Il n'existe pas de remède établi pour ces infections cependant le vert de malachite semble être efficace contre les spores. Ceux-ci sont très résistants dans

l'environnement. C'est pourquoi, il est important d'isoler les individus infestés et de détruire les cadavres afin de limiter la propagation. Différentes mesures préventives peuvent être mises en place comme la suppression des hôtes intermédiaires (Noga, 2000).

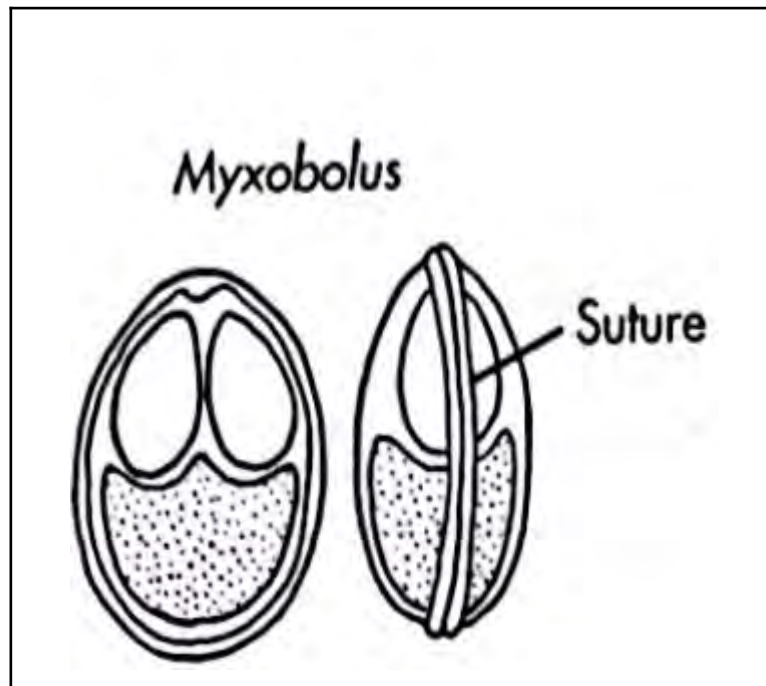


Fig. 43 : Schéma de spores matures de Myxobolus. D'après Noga (2000).

Les données aujourd'hui disponibles sur les pathologies oculaires infectieuses des poissons ciblent souvent les mêmes familles d'espèces de poisson. De plus, les études menées par la communauté scientifique concernent surtout les élevages aquacoles plutôt que les poissons d'ornement.

Malgré l'importance des maladies bactériennes chez les poissons, le ou les agents responsables restent souvent non identifiés. La flore microbienne des poissons est complexe et soumise à de grandes variabilités inter- et intra-spécifiques. De plus, elle contient de nombreuses bactéries pathogènes opportunistes. Ainsi, l'identification d'une bactérie en culture dans le cadre d'une atteinte oculaire ne signifie pas qu'elle est responsable des signes cliniques.

Les maladies virales présentent un intérêt majeur en élevage du fait de la réglementation de certaines familles de virus. De plus, les birnavirus, les rhabdovirus et les nodavirus sont à l'origine de signes cliniques systémiques, les signes oculaires étant secondaires. Enfin, il existe peu de données sur l'épidémiologie des virus dans les populations sauvages.

Bien que les pathologies fongiques soient moins fréquentes, elles n'en restent pas moins problématiques. Cela s'explique par la résistance des spores fongiques dans l'environnement. Les pathologies oculaires fongiques proviennent principalement d'infections fongiques externes.

Les maladies parasitaires sont une dominante pathologique en ophtalmologie aquacole. Les principaux parasites pathogènes sont aujourd'hui identifiés mais certaines affections sont émergentes et problématiques. Dans les aquariums publics, cela s'explique par la présence d'individus d'origine sauvage.

C. Les pathologies non infectieuses

1. Les pathologies nutritionnelles

a) *Rappels sur l'alimentation des poissons*

Du fait de la diversité des espèces en aquarium, les besoins nutritifs varient considérablement. Face à une espèce peu commune, on peut s'appuyer sur l'anatomie, le mode de vie, l'environnement de celle-ci afin d'obtenir des informations sur son régime alimentaire. Par exemple, la forme, la taille de la cavité buccale et la forme des dents fournissent déjà des indices. Les espèces sont classées en trois catégories selon leur régime alimentaire : les carnivores, les herbivores et les omnivores.

Les poissons sont des animaux poïkilothermes, c'est-à-dire que leur température corporelle dépend de celle de leur environnement. Ainsi, leurs besoins énergétiques selon leur masse, sont inférieurs par rapport aux animaux homéothermes. De plus, la plupart des espèces de poissons possèdent une vessie natatoire assurant un flottement sans dépense énergétique (Yanong, 2001).

Chez les espèces récifales, la coloration dépend grandement de l'alimentation. Une bonne alimentation est la clé pour une bonne coloration de l'individu qui varie selon son sexe, son âge et sa hiérarchie. Des préparations commerciales supplémentées en caroténoïdes sont aujourd'hui disponibles sur le marché.

(1) Protéines

Les protéines constituent la part du régime alimentaire la plus chère pour les aquariums. Cependant, elles constituent une part non négligeable des besoins nutritifs. En effet, la plupart des poissons ont des besoins protéiques variant de 25 à 50% de la ration. Ces besoins dépendent de différents facteurs tels que l'espèce, la taille de l'individu, la génétique, la température, la source protéique, la dépense énergétique, l'âge, etc. Ainsi, les jeunes individus ont des besoins protéiques supérieurs aux adultes. Les acides aminés essentiels aux poissons sont listés dans le tableau 2. Les protéines peuvent être d'origine animale ou végétale selon le régime alimentaire des espèces. À noter que les protéines végétales sont appauvries en certains acides aminés essentiels (méthionine et lysine) ce qui nécessite une supplémentation (Médale et al., 2013 ; Oliva-Teles, 2012). Il est à noter qu'un excès de protéines dans la ration ou une mauvaise assimilation conduit à une augmentation de la production d'ammoniac ce qui est délétère pour l'individu.

(2) Glucides

Les apports glucidiques sont importants chez les espèces herbivores et omnivores. Les glucides sont peu utilisés chez les espèces carnivores, c'est pourquoi certaines espèces vivent sans apports glucidiques dans leurs rations. De plus, les espèces vivant en eaux chaudes semblent mieux assimiler les glucides que les espèces vivant en eaux froides (Cowey et al., 1993). En parallèle, les poissons contrôlent moins bien la concentration en glucose dans le sang par rapport aux mammifères.

(3) Lipides

Les lipides ont d'importantes fonctions dans le métabolisme des poissons. Ils constituent une source d'énergie non négligeable, ils participent à la structure cellulaire en tant que principaux composants de la membrane plasmique. Certaines espèces ont des besoins spécifiques en acides gras comme les omégas 3 et 6. Il semblerait que les omégas 3 soient plus importants chez les espèces vivant en eaux froides (Oliva-Teles, 2012).

Le ratio énergétique protéine/lipide doit être équilibré. Un apport trop riche en protéines conduit à du gâchis alimentaire. En parallèle, un apport trop riche en lipides favorise les risques de carences en acides aminés.

(4) Vitamines

Les besoins vitaminiques varient selon l'anatomie et la physiologie des espèces de poissons. Certaines espèces comme la carpe commune, possèdent une flore intestinale capable de synthétiser certaines vitamines. Les vitamines indispensables sont listées dans le tableau 2. Les excès ou carences vitaminiques sont fréquents en aquarium et sont souvent associées à des atteintes oculaires. Celles-ci seront développées ultérieurement.

(5) Minéraux

Les poissons ont la capacité d'absorber des minéraux présents dans l'environnement grâce aux branchies. Plus particulièrement, les espèces marines en buvant de l'eau de mer, assimilent de nombreux minéraux. Cependant certaines familles comme les poissons-perroquets (Scaridae) ne sécrètent pas d'acides gastriques limitant l'assimilation de certains minéraux. De plus, il existe de nombreuses interactions lors de l'assimilation des minéraux. Par exemple, l'acide phytique, qui assure les apports en phosphore, réduit l'absorption du zinc à l'origine de carences. Parmi les minéraux disponibles dans l'environnement, il existe les métaux lourds comme le plomb ou le cadmium. Il s'agit de composés toxiques pour les poissons, de ce fait leur concentration doit être faible. Les principaux minéraux importants dans l'alimentation des poissons sont indiqués dans le tableau 2.

Tableau 2 : Les nutriments essentiels chez les poissons d'ornements. D'après Yanong (2001).

Acide aminés essentiels	Vitamines essentielles		Minéraux (selon leur importance)	
	Hydrosolubles	Liposolubles	Majeure	Mineure
Arginine Histidine Isoleucine Leucine Lysine Méthionine Phénylalanine Thréonine Tryptophane Valine	Thiamine Riboflavine Pyridoxine Acide pantothénique Biotine Niacine Acide folique Cyanocobalamine Acide ascorbique Choline Inositol	Vitamine A Vitamine D Vitamine E Vitamine K	Calcium Phosphore Magnésium Sodium Potassium Chlore Sulfure	Fer Iode Manganèse Cuivre Cobalt Zinc Molybdène Aluminium Nickel Vanadium Étain Silicium Selenium Chrome Fluor

b) Les excès nutritionnels

(1) Les excès de lipides

Les poissons sont souvent nourris en excès par rapport à leurs besoins énergétiques et sont donc susceptibles de développer de l'obésité ou du moins des surplus de masses graisseuses. Dans les aquariums, de nombreux bacs sont organisés en biotope et donc de nombreuses espèces cohabitent. Ainsi, il existe une compétition interspécifique et intraspécifique permettant aux individus les plus dominants d'avoir un accès privilégié à la nourriture. Selon les types d'excès et l'espèce concernée, les manifestations oculaires sont variables.

L'obésité correspond à l'accumulation excessive de tissu adipeux dans l'organisme. Chez les mammifères, l'obésité est définie lorsque le poids actuel dépasse les 15 à 30% du poids idéal selon les publications (Kipperman et al., 2018). L'obésité est une atteinte plurifactorielle. Ici, on ne s'intéresse qu'à l'obésité induite par le régime alimentaire. Dans ce cas, elle résulte d'un déséquilibre entre apport alimentaire et dépense énergétique. Par rapport aux mammifères, les processus en lien avec l'homéostasie énergétique sont moins connus chez les poissons. Certaines espèces comme le fugu (*Takifugu rubripes*) stockent les triglycérides dans le foie tandis que d'autres comme les salmonidés, les stockent sous forme de dépôts viscéraux, musculaires ou sous-cutanés. Ainsi, chez certaines espèces l'accumulation des graisses peut avoir lieu en région rétro-orbitaire à l'origine d'exophtalmie unilatérale ou bilatérale. L'une des familles les plus sensibles sont les Ostéoglossidés dans laquelle on trouve les poissons Arowana avec le syndrome "drop-eye". Ce syndrome visible sur la figure 44, se caractérise par une exophtalmie avec une inclinaison du globe ventralement. La présence de masses graisseuses rétro-bulbaires constitue l'une des causes de ce syndrome (Chow et al., 2016). Chez le poisson, la gestion de l'obésité s'avère

complexe car l'individu évolue au sein d'une population. Cependant sur les poissons de valeur, une prise en charge chirurgicale est possible. Elle se caractérise par une exérèse du tissu rétro-bulbaire afin de réduire l'exophtalmie. En France, il existe un cas de chirurgie sur un Arowana présentant un syndrome drop-eye causé par une obésité. Si possible, la prise en charge chirurgicale doit être simultanée à une modification de la ration alimentaire avec la mise en place d'une diète. Deux axes différents peuvent caractériser une diète : d'une part, une diminution de la quantité d'aliment distribué ; d'autre part, une diminution de la qualité de l'aliment, en privilégiant une nourriture allégée en matière grasse.



Fig. 44 : Arowana argenté (*Osteoglossum bicirrhosum*) avec un syndrome drop-eye unilatéral caractérisé par un strabisme ventral de l'œil droit. D'après Chow et al. (2016).

Certaines espèces de poissons sont sensibles à des rations trop riches en lipides sans atteindre le stade de l'obésité. C'est principalement le cas des murènes en captivité. D'après Clode et al., (2012), les murènes en captivité seraient plus sensibles à l'hyperlipidémie que les murènes à l'état sauvage. Cette hyperlipidémie se caractérise macroscopiquement par des dépôts cornéens lipidiques à l'origine d'une opacification cornéenne légère à sévère, unilatérale ou bilatérale (Fig. 45). Les signes de douleur oculaire se manifestent seulement en cas d'ulcères associés. Le diagnostic de cette hyperlipidémie s'appuie sur la combinaison des signes cliniques, d'une identification d'anomalies systémiques lipidiques et lorsque c'est possible d'analyses histopathologiques. Ces analyses mettent en évidence des macrophages chargés de lipides, des fentes de cholestérol intra-stromales et parfois une infiltration lymphocytaire (Fig. 46).

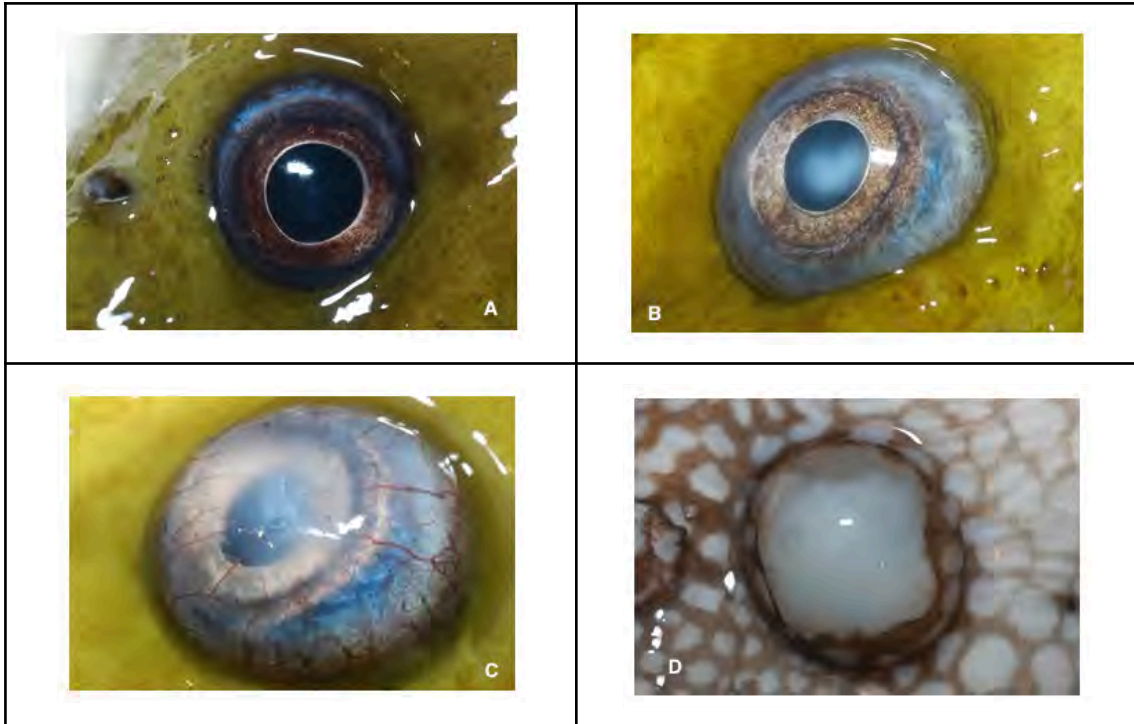


Fig. 45 : Photographies d'yeux de murènes vertes (*Gymnothorax funebris*) (A, B et C) et d'une murène réticulée (*Muraena retifera*) (D). A : oeil normal ; B : légers dépôts lipidiques à l'origine d'une discrète opacification cornéenne ; C : dépôts lipidiques modérés caractérisés par une opacification cornéenne modérée associée à une néovascularisation ; D : dépôts lipidiques sévères à l'origine d'une opacification cornéenne complète. D'après Clode et al. (2012).

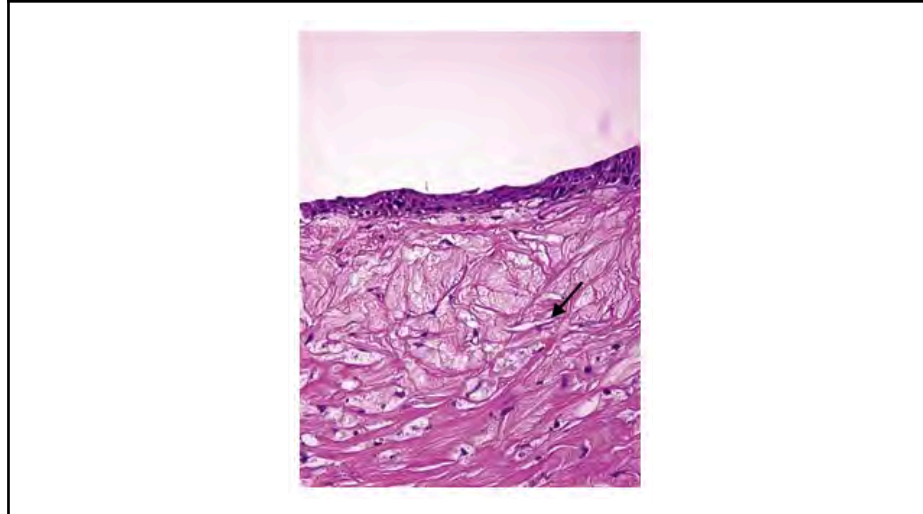


Fig. 46 : Coupe histopathologique d'une cornée de l'oeil droit d'une murène verte (*Gymnothorax funebris*) montrant une vacuolisation sub-épithéliale associée à la formation d'une fente de cholestérol (flèche noire) suggérant un dépôt lipidique entre les lames de collagène. Grossissement x40 au microscope électronique. D'après Clode et al. (2012).

Dans la littérature scientifique, deux approches thérapeutiques sont abordées pour la gestion de cette kératopathie lipidique : la gestion alimentaire ou l'intervention chirurgicale. L'approche alimentaire repose sur une diminution de l'apport lipidique. La réponse est variable selon les individus. De plus, certaines murènes évoluent dans des bassins avec d'autres espèces générant une alimentation opportuniste. L'intervention chirurgicale est réalisée à l'aide d'un microscope opératoire. La cornée est découpée jusqu'à 50% de son

épaisseur totale selon la sévérité des lésions. Un traitement antibiotique et anti-inflammatoire peut être mis en place selon la réaction post-chirurgicale. La clarté de la cornée est récupérée environ 1 mois après l'intervention.

(2) Les toxines alimentaires

De nombreuses toxines d'origine alimentaire ont été testées expérimentalement chez les poissons. Les résultats sont résumés par Tacon (1992). Ses travaux ont démontré que les acides gras poly-insaturés présents dans certaines huiles végétales pour poissons sont facilement oxydables. Parmi les huiles impliquées, on retrouve les huiles à base d'arachide, de soja et de lin. Chez les salmonidés nourris avec ce type d'acides gras, peuvent développer des atteintes hépatiques associées à de sévères anémies, des exophtalmies et des cataractes.

Des anti-nutriments comme la thiaminase, sont présents dans les tissus dans plusieurs espèces aquatiques. Distribués à l'état brut, ils peuvent induire des hypovitaminoses chez les poissons.

c) Les carences nutritionnelles

Les carences nutritionnelles résultent souvent chez les poissons en aquarium soit d'une mauvaise qualité de la ration alimentaire ou bien d'un défaut lors de la distribution de l'aliment. De plus, certaines espèces dont les besoins nutritifs sont peu renseignés, sont plus susceptibles d'avoir des carences.

Trois types de carences alimentaires engendrent des signes oculaires : des carences en vitamines ou hypovitaminoses, des carences en minéraux et des carences en acides aminés essentiels. Lors de carences, les signes cliniques sont d'évolution chronique c'est-à-dire qu'il y aura dans un premier temps l'apparition de signes frustes puis une dégradation progressive de l'état général de l'individu. Outre les signes cliniques directs, une alimentation inadéquate favorise d'autres pathologies surtout sur les individus stressés. Le diagnostic définitif se base sur les signes cliniques et l'analyse de la ration alimentaire afin de mettre en évidence le nutriment insuffisant. Le diagnostic est plus simple sur les espèces avec des besoins nutritifs connus.

Dans la plupart des cas, les carences nutritionnelles se réduisent en adaptant la ration alimentaire. Pour les poissons d'aquarium dont les besoins sont inconnus, il est important de fournir une alimentation variée.

(1) Les hypovitaminoses

Les principales vitamines et les signes oculaires associés lors de carences chez les poissons sont résumées dans le tableau 3. Les hypovitaminoses les plus fréquentes appartiennent au groupe B avec la vitamine B3, B5 et B9 et au groupe C (Woo et al., 1998). Afin de limiter le risque d'hypovitaminoses dans les aquariums, il est possible de compléter l'alimentation en compléments vitaminiques. Certains produits utilisés ne contiennent qu'un type de vitamine et d'autres sont multivitaminiques. Le plus souvent, les aquariums complètent en vitamine C.

Tableau 3 : Signes cliniques oculaires et systémiques associés lors d'hypovitaminose. D'après Tacon (1992).

Vitamines	Signes cliniques oculaires et systémiques associés
Rétinol (vitamine A)	Kératite non ulcérate et cataracte par dégénérescence, rétinopathie et exophtalmie. Ascite, oedème généralisé possible et hémorragies rénales.
Thiamine (vitamine B1)	Kératite non ulcérate. Anorexie, hémorragies branchiales, retard de croissance, décolorations cutanées.
Riboflavine (vitamine B2)	Kératite non ulcérate et cataracte par dégénérescence, et exophtalmie. Anémie, ataxie, mélanisme et hémorragies cutanées.
Niacine (vitamine B3)	Exophtalmie. Anorexie, ataxie, nage anormale, spasmes musculaires, coloration sombre associée à des hémorragies cutanées.
Acide pantothénique (vitamine B5)	Hyphéma, exophtalmie. Anémie, anorexie, coloration sombre associée à des hémorragies cutanées, retards de croissance.
Acide folique (vitamine B9)	Exophtalmie. Anorexie, ataxie, léthargie, anémie avec un hématokrite bas.
Acide ascorbique (vitamine C)	Exophtalmie, cataracte. Effet immunosuppresseur, ascite, lordose, prostration, sur les carences importantes on aura des hémorragies multiples (branchies, foie, rein)
Tocophérol (vitamine E)	Hyphéma, exophtalmie. Anémie, dystrophie musculaire, effet immunodépresseur, dépigmentation généralisée.

(2) Les carences en minéraux

Malgré les nombreux minéraux indispensables à l'alimentation des poissons, seulement une partie peuvent induire des troubles oculaires. De même que pour les hypovitaminoses, les carences en minéraux sont associées à des signes cliniques systémiques. Dans le cadre de cette thèse, les minéraux d'intérêt sont le zinc, le magnésium, le manganèse, le cuivre et le sélénium. En cas de déficit, le principal signe oculaire associé est la cataracte. Ensuite, des signes cliniques systémiques plus spécifiques sont observables (Tacon, 1992) :

- Zinc : le poisson présente en parallèle des érosions cutanées, un retard de croissance et une anorexie. La carence peut être secondaire. En effet, l'acide phytique présent dans les rations est un agent chélateur du zinc. Ainsi, le déficit en zinc provient parfois d'une ration trop riche en acide phytique.
- Magnésium : le poisson présente une anorexie, une flaccidité musculaire et un retard de croissance.
- Manganèse : le poisson présente un retard de croissance voire du nanisme.
- Cuivre : le poisson présente un retard de croissance.
- Sélénium : le poisson présente un retard de croissance associé à de l'anémie

(3) Les carences en acides aminés

En aquarium, les carences en acides aminés sont plutôt rares. En effet, dans les grandes structures, les poissons sont nourris avec des animaux vivants ou congelés qui sont retrouvés dans l'habitat naturel, garantissant des apports protéiques complets. Cependant des carences restent possibles. Elles concernent uniquement les acides aminés essentiels cités dans le tableau 2.

Deux acides aminés essentiels présentent un intérêt dans cette thèse : la méthionine et le tryptophane. Une étude menée par Tacon en 1992 a testé les effets de carences en acides aminés essentiels sur différentes espèces de poissons. Les poissons carencés en méthionine et tryptophane présentaient des cataractes. Pour le tryptophane des signes cliniques systémiques sont aussi associés telle que la scoliose. D'après C. Parker-Graham (2022), une carence en histidine peut aussi provoquer des cataractes chez les poissons. De plus, la cataracte causée par une carence en méthionine débute par une opacification de la capsule qui progresse vers le nucléus.

2. Les pathologies environnementales

a) *La maladie des bulles de gaz*

Trois gaz de l'air dissous dans l'eau peuvent être pathogènes pour les poissons. Quand ils sont en excès pour le diazote et le dioxyde de carbone, quand il est en excès ou en déficit pour le dioxygène. Un quatrième élément gazeux provient du catabolisme des poissons : l'ammoniac. En effet, chez les téléostéens, il existe une forme d'excrétion azotée à partir des protéines. Quand le pH et la température de l'eau ne permettent pas l'ionisation de la majeure partie du NH₃, il peut devenir toxique pour le poisson (De Kinkelin et al., 2020).

(1) Physiopathologie

La teneur en gaz dissous dans un liquide est régie par la loi de Henry : “À température constante et à saturation, la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle qu'exerce ce gaz sur le liquide.”. Autrement dit, quand la saturation est atteinte, un équilibre est établi entre les molécules de gaz libres et les molécules de gaz dissous. Cette relation de proportionnalité se résume ainsi :

$$[G] = K.Pg$$

Avec : [G] la concentration d'un gaz donné dissous dans l'eau, K le coefficient de Henry qui varie selon la nature du gaz, la température et de la salinité et enfin, Pg la pression partielle du gaz donné à l'interface qui varie selon la pression atmosphérique.

L'objectif est de maintenir cet équilibre ou cette saturation dans le bassin. Les gaz de l'air concernés par la loi de Henry sont le dioxygène et le diazote. Le dioxyde de carbone, contrairement aux deux gaz précédents, a une pression partielle négligeable qui n'intervient pas dans la pression atmosphérique. Lors de rupture de cet équilibre, la pression qu'exerce le gaz sur le liquide est modifiée aboutissant à une variation de la teneur en gaz dissous dans le liquide. Dans le cadre de la maladie des bulles de gaz, elle résulte d'une diminution de la pression partielle en gaz. Comme la pression diminue, le liquide est en sursaturation et produit un dégazage pour rétablir l'équilibre. Ainsi, si la rupture de l'équilibre est trop grande, des bulles de gaz se forment (De Kinkelin et al., 2020).

(2) Étiologie

La maladie des bulles de gaz est une accumulation de gaz dans les tissus des poissons. Elle est majoritairement causée par une sursaturation gazeuse ou des barotraumatismes. Dans certaines études, elle peut être provoquée par un simple traumatisme (De Kinkelin et al., 2020).

Les sursaturations gazeuses proviennent de l'entraînement de bulles d'air dans l'eau, du dégagement de gaz dans l'eau ou bien de la soustraction du dioxygène dissous par la respiration de certaines bactéries. Elle survient lorsque la pression totale des gaz dissous dépasse la pression atmosphérique. Les molécules dissoutes dans l'eau passent dans l'air provoquant des embolies généralisées dans l'organisme.

L'entraînement de bulles d'air dans l'eau survient dans des circonstances variées dont certaines d'origine naturelle (chute d'eau, vagues, etc.). Cependant les causes sont aussi d'origine technologique avec une infiltration d'air dans les tuyaux de pompage par exemple.

Le dégagement gazeux responsable d'accidents cliniques survient sous l'effet d'une augmentation de la température de l'eau ou plus rarement d'une baisse soudaine et accentuée de la pression atmosphérique. Un fort ensoleillement ou éclairage et une photosynthèse intense peuvent s'y ajouter. En aquarium, les élévations de la température sont principalement d'origine anthropique. L'élévation thermique de l'eau peut directement

résulter de son chauffage, qu'elle soit chauffée pour les besoins spécifiques de reproduction ou de croissance.

La soustraction de dioxygène par les bactéries peut aussi provoquer une sursaturation gazeuse. La respiration des bactéries aérobies, comme les Streptocoques, peut entraîner la disparition d'une fraction de l'oxygène dissous et un enrichissement en azote ce qui favorise la formation de bulles de gaz.

Le barotraumatisme correspond aux dommages physiques provoqués par une diminution brutale de la pression (poisson des profondeurs ramené trop rapidement à la surface). Les dommages physiques surviennent sur les espèces physoclistes (pas de connexion entre la vessie natatoire et l'oesophage contrairement aux espèces physostomes).

Une dernière cause peut provoquer des bulles de gaz et des exophtalmies. Il s'agit de l'ophtalmie du saumon atlantique (*Salmo salar*) causée par une granulomatose mycobactérienne.

Cette affection touche toutes les espèces de poissons (eau douce, marine, espèces d'élevage ou sauvages). Cependant, il existe des facteurs de risque dépendant de l'espèce et de l'individu. Par exemple, une étude menée par Weitkamp et al. en 1980 démontre que l'achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*) se montre plus résistant que l'ensemble des salmonidés à la sursaturation gazeuse. De plus, il existe des facteurs de risque en lien avec le milieu de vie. Le risque varie selon la température et la profondeur. Pour une même valeur de saturation, la durée d'exposition aggrave le risque pathologique.

(3) Signes cliniques et gestion

Les sursaturations aiguës conduisent à des manifestations aiguës avec un fort taux de mortalité associé à des comportements de nage anormaux et de la léthargie. A l'autopsie, on trouve une vessie natatoire distendue. Lors de sursaturation chronique, on aura de faibles niveaux de sursaturation avec des signes cliniques frustes, l'exophtalmie restant la plus probable.

Les manifestations cliniques sont diverses : exophtalmie (unilatérale ou bilatérale), bulles dans la cornée ou la chambre antérieure (Fig. 47), emphysème périorbital, panophtalmie (inflammation purulente de la totalité du globe oculaire) synéchies antérieures, cataracte, hémorragies iridiennes, embolies gazeuses dans la glande choroïde (zone de l'oeil où on aura de forte concentration d'oxygène même dans des conditions physiologique). Tous ces symptômes peuvent conduire à une cécité, une luxation du globe oculaire provoquant un arrachement du nerf optique et un décollement rétinien. Dans les cas les plus sévères, on peut avoir une rupture de la cornée avec une avulsion du contenu oculaire. A noter qu'au stade larvaire, les bulles se situent plutôt dans l'hypoderme alors que chez l'adulte les sites préférentiels seront les yeux, les branchies, la peau et la bouche, la vessie natatoire et le péritoine (visible à l'autopsie) (Woo et al., 1998 ; Noga, 2000).

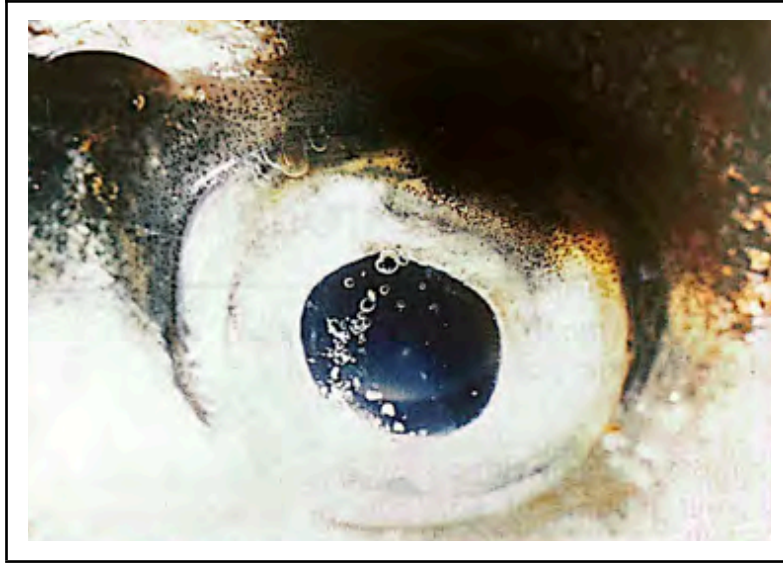


Fig. 47 : Photographie d'un œil de bar commun (*Dicentrarchus labrax*) présentant des bulles de gaz dans la chambre antérieure. D'après Noga (2000)..

L'accumulation des bulles de gaz dans la glande choroïde peut aussi provenir d'une augmentation de la concentration en anhydrase carbonique (enzyme présente dans les globules rouges qui permet la transformation du CO_2 et H_2CO_3) (Gültepe et al., 2011). Une des solutions thérapeutiques consiste à placer l'animal dans une chambre hyperbare (Fig. 47).

Les traitements à mettre en place dépendent de la cause de la maladie. Lors de sursaturation gazeuse l'état de stress systémique chez l'animal justifie la mise en place d'un traitement de soutien en surveillant les foyers infectieux. Une des solutions thérapeutiques consiste à placer le poisson dans une chambre hyperbare (Fig. 48).

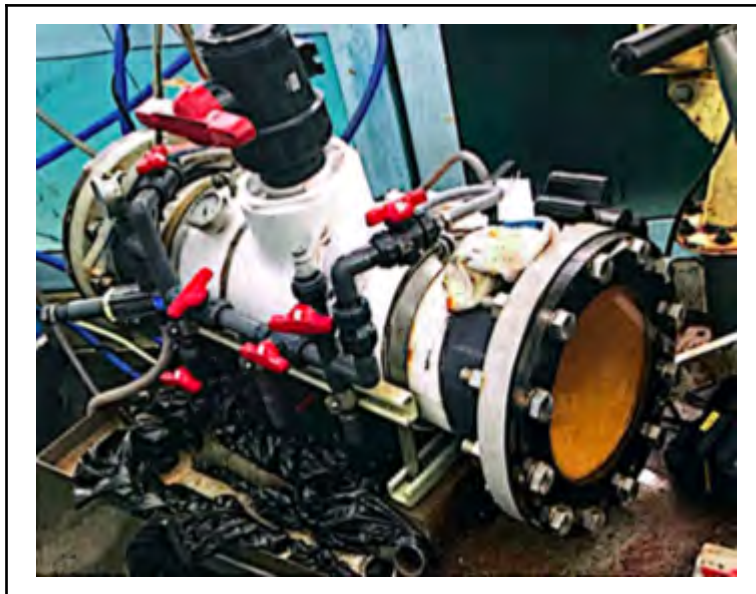


Fig. 48 : Photographie d'une chambre hyperbare dans un aquarium public destiné à traiter les poissons souffrant de la maladie des bulles de gaz ou de barotraumatisme. D'après Parker-Graham et al. (2022).

Une autre option thérapeutique est la ponction rétrobulbaire à l'aiguille fine échoguidée ou non. Cette technique peut provoquer des hémorragies intra-oculaires, une hypémie, des infections secondaires ou des caillots. C'est pourquoi la chambre hyperbarique reste moins risquée.

Lorsque l'accumulation de l'anhydrase carbonique est suspectée, il faut mettre un place un traitement inhibiteur à base d'acétazolamide (6 mg/kg IM toutes les 24h). Cependant les résultats restent variables.

De manière générale, les traitements antibiotiques et anti-inflammatoires sont recommandés afin de limiter le risque de surinfection et de prendre en charge la douleur et l'inflammation. En cas d'échec de traitement sur des cas chroniques, l'ablation de la pseudobranchie est possible. Il s'agit de rendre la pseudobranchie dysfonctionnelle pas cautérisation.

b) La température

En aquarium, les variations graduelles de températures sont habituellement bien tolérées par les poissons. Les espèces marines restent plus sensibles que les espèces d'eau douce (Cecil, 2001). Pour rappel, les poissons sont des animaux poïkilothermes ce qui signifie que leur température corporelle dépend de celle de l'environnement. Le métabolisme variant selon la température du bassin, une hyperthermie ou une hypothermie affecte le système immunitaire. L'intervalle de température optimale dépend de l'espèce.

Dans le cadre des lésions oculaires, la température est un facteur favorisant. Par exemple, une hausse des températures favorise le développement des larves de *Diplostomum spp.* et par conséquent les cataractes. Des études ont démontré que la cataracte se développe plus aisément lors de fortes variations de températures ou des valeurs dans les normes hautes (Bjerkås et al. 2001). La température exerce une influence sur les effets nocifs des agents physico-chimiques normalement présents dans l'eau (substances azotées et gaz dissous). La température est inversement proportionnelle à la concentration en gaz dissous. Ainsi, une augmentation de température favorise un dégazage de l'azote et en parallèle augmente la toxicité de l'ammoniac.

De plus, des températures élevées entravent la capacité de la voie des monophosphates d'hexose lors du métabolisme glucidique. Cela a pour conséquence des cataractes diabétiques comme l'excès de glucose produit du sorbitol qui sera plus susceptible d'être stocké dans le cristallin.

c) La salinité

La salinité est la masse totale de sels dissous en grammes dans 1 kg d'eau. L'essentiel de la salinité (99%) est représenté par des chlorures (sodium, potassium), des sulfates (magnésium, calcium) et des carbonates (calcium, potassium). Chaque espèce de poisson a des exigences plus ou moins strictes vis-à-vis de la salinité. La santé de l'animal peut être menacée s'il se trouve placé dans une eau où la salinité dépasse ses capacités d'osmorégulation. En eau douce, la salinité est inférieure à 1g/kg. En eau de mer, elle varie entre 30 et 40 g/kg (Cecil, 2001).

Au même titre que la température, la salinité est un facteur favorisant les atteintes oculaires. En effet, une baisse brutale de la salinité dans un bac peut conduire à une cataracte bilatérale suite à une infiltration hydrique au sein du cristallin voire des

exophtalmies. Des changements répétés de l'osmolarité peuvent induire au long terme des cataractes irréversibles. De même pour les agents infectieux, la salinité influence le pouvoir pathogène. Par exemple, à température identique, les scuticociliatoses sont plus importantes dans les eaux avec une salinité élevée.

d) *Le pH*

De manière générale, la vie piscicole est possible à des valeurs de pH comprises entre 5 et 9,5. Toutefois, c'est entre des pH de 5,8 à 8,5 que les milieux aquatiques conviennent le mieux à la vie et la santé des poissons. Si le pouvoir tampon de l'eau ne suffit pas à neutraliser le pH, celui-ci peut être soumis à des variations. L'eau de mer est fortement tamponnée, elle est donc généralement moins sujette aux variations de pH. Le pH du plasma des poissons se situe autour de 7,4. Quand celui du milieu ambiant s'éloigne de cette valeur, le poisson engage des dépenses énergétiques pour maintenir son homéostasie.

Indirectement, le pH influence la toxicité des substances chimiques. Par exemple, une élévation du pH augmente la toxicité de l'azote ammoniacal favorisant l'apparition de sa forme gazeuse NH_3 . Inversement, une baisse de pH favorise la toxicité d'autres éléments comme les nitrites, les métaux lourds et le dioxyde de carbone (De Kinkelin et al., 2020).

Ainsi, le pH n'est pas directement à l'origine de troubles oculaires chez les poissons mais agit comme une cause favorisante.

e) *Ammoniac, nitrites et nitrates*

Chez les organismes aquatiques, l'excrétion des déchets métaboliques et leurs conséquences de leur accumulation dans l'environnement constituent l'un des aspects les plus importants de la vie aquatique. L'ammoniac est le principal déchet issu du métabolisme des protéines. Chez les poissons, il est excrété d'abord par les branchies puis les reins. L'ammoniac présente une toxicité pour les poissons. La surveillance de sa présence est donc essentielle. La forme non-ionisée (NH_3) est plus toxique que la forme ionisée (NH_4^+). La répartition de ces deux formes dépend surtout du pH de l'eau.

Les bactéries autotrophes présentes dans l'eau métabolisent l'ammoniac en source d'énergie qui est ensuite oxydée en nitrites (NO_2^-). Les nitrites s'accumulent dans l'eau et sont toxiques pour les poissons en eau douce. En milieu marin, les nitrites sont en compétition avec les ions Cl^- pour la fixation sur les branchies les rendant plus tolérés. Une autre catégorie de bactérie dans l'eau transforme les nitrites en nitrates (NO_3^{2-}) qui sont tolérés par les poissons. Cependant à fortes concentrations cette molécule entraîne des affections chroniques. Les nitrates peuvent être assimilés par les plantes (Fig. 49). Pour maintenir l'équilibre azoté dans un bac il faut une charge végétale considérable associée à une pollution limitée. C'est pour cette raison que dans la pratique, des changements d'eau sont régulièrement effectués dans les aquariums (Lloyd, 2001).

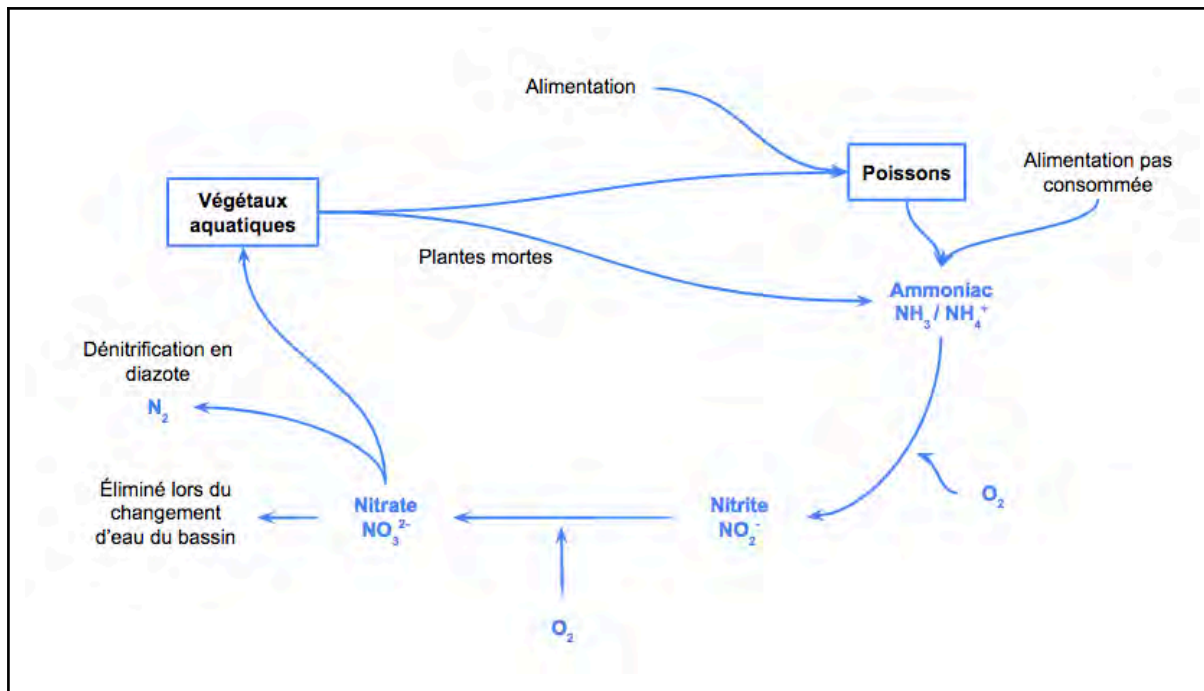


Fig. 49 : Cycle de l'azote simplifié. D'après Lloyd (2001), traduit en français.

L'accumulation d'ammoniac ou de nitrites dans l'environnement porte préjudice à la santé des poissons. Ils ne causent pas directement d'atteintes oculaires mais ils favorisent les déséquilibres bactériens à l'origine de pathologies oculaires (Hadfield, 2021).

f) Les rayonnements

Les rayonnements et l'éclairage d'un bassin constituent des causes majeures directes de lésions oculaires.

Certains bassins disposent de rayonnement UV. Or, l'action directe des UV provoque un oedème des fibres du cristallin à l'origine de cataractes associées à des kératites non ulcéraives. Cependant, on peut également avoir une cataracte suite à l'action concomitante des UV et d'autres facteurs environnementaux à l'origine d'un stress oxydatif (Duijn, 1973). En effet, les UV favorisent le stress oxydatif car ils catalysent les réactions d'oxydo-réductions libérant des radicaux libres et du peroxyde d'hydrogène. Une étude sur des jeunes morues (*Gadus morhua*) a démontré que les eaux traitées par UV augmentent l'incidence des cataractes (Björnsson, 2004).

De plus, un éclairage trop intense favorise les kératites et les dégénérescences rétiniennes. Bejarano-Escobar et al. en 2012 ont effectué des coupes histologiques de rétines suite à une surexposition lumineuse sur des tanche (*Tinca tinca*) (Fig. 50). À l'histologie, il y a un amincissement de la couche photoréceptrice associé à des noyaux pycnotiques, une hypertrophie des cellules épithéliales pigmentaires rétiniennes associée à de la fibrose et une infiltration cellulaire

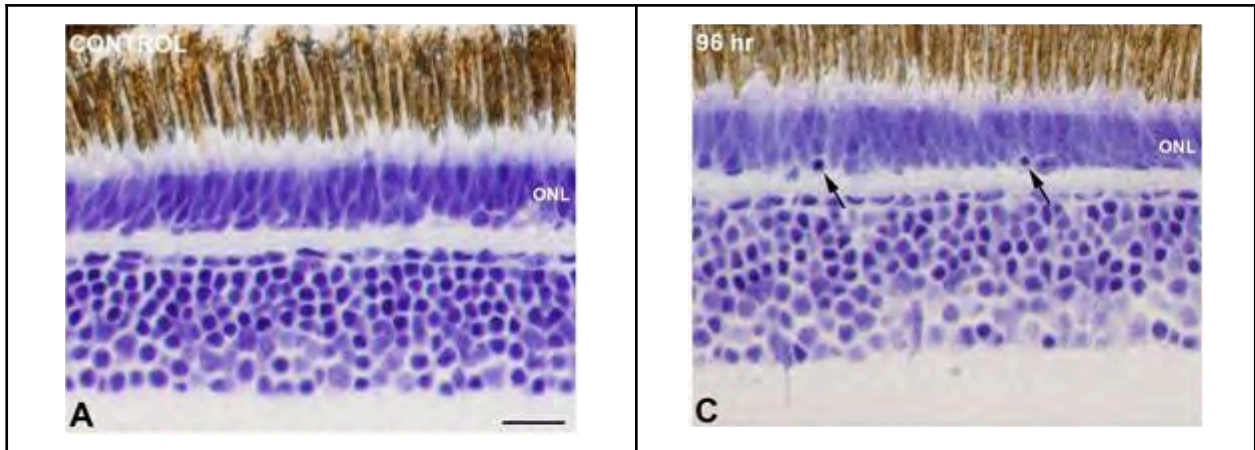


Fig. 50 : Analyse histologique de la mort cellulaire des photorécepteurs lors de dégénérescence rétinienne induite par la lumière dans des coupes transversales semi-minces teintées de toluidine bleu. Des micrographies ont été prises de la région centrale des rétines larvaires de tanches. (A) Les rétines témoins non endommagées par la lumière ont montré une couche nucléaire externe intacte (ONL) contenant des piles de 3 à 4 noyaux. Aucun noyau pycnotique n'a été détecté. (C) Après 96 heures de traitement à la lumière constante, de nombreux noyaux pycnotiques ont été observés dans l'ONL (flèches noires). La barre d'échelle indique 25 μm . D'après Bejarano-Escobar et al. (2012).

g) Les agents toxiques environnementaux

De nombreux composés chimiques présents naturellement dans l'eau peuvent être toxiques en trop grandes quantités. Seulement une faible portion d'entre eux induisent des lésions oculaires sur les adultes. En revanche, une exposition sur des stades larvaires induit souvent des anomalies de développement de l'œil.

Chez les espèces sauvages, des polluants peuvent être à l'origine de radicaux libres comme les aromates polycycliques (PAH) et les hydrocarbures induisant des cataractes. De plus, les PAH sont aussi à l'origine de comorbidités comme des ulcérations cutanées et cornéennes et des tumeurs (Hargis, 1991). L'étude menée par Laycock et al. (2000) a démontré qu'une exposition prolongée à des UV et des PAH sur le cristallin de truite provoque une cataracte par la photoactivation des PAH. Concernant les hydrocarbures, Hawkes et al., (1982) ont observé plusieurs autres anomalies du cristallin chez des poissons exposés au pétrole brut. L'intoxication a également été caractérisée par d'autres troubles oculaires tels que l'agrandissement et le gonflement de la glande choroïde et des capillaires choriaux, des hémorragies dans l'iris, la chambre antérieure et la chambre postérieure, ainsi que des rétinopathies. Généralement, les signes cliniques des intoxications sont peu spécifiques rendant le diagnostic complexe. L'analyse de la qualité de l'eau permet d'orienter les hypothèses quant aux toxines.

Sur les stades larvaires, une surexposition à des polluants ou des métaux lourds induit des anomalies de développement d'œil associées à des retards de croissance. Lors de surexposition aux métaux lourds les yeux ne sont pas les organes cibles.

3. Les traumatismes

Les traumatismes oculaires peuvent toucher toutes les structures oculaires et provoquer une luxation du globe oculaire. Les traumatismes sont généralement plus fréquents chez les individus dont l'anatomie ne fournit pas une protection suffisante pour assurer une protection de l'œil. Les signes suggérant une origine traumatique sont : une abrasion périorbitaire associée à des ulcères cornéens et occasionnellement de l'hyphéma.

Lors de traumatismes les risques de complication sont non négligeables avec notamment une perte de la vision, des uvéites, des cataractes et la formation de synéchies antérieures ou postérieures.

Diverses causes provoquent une lésion oculaire traumatique chez le poisson. Ainsi, lors d'une hypothèse traumatique, il est important de considérer le contexte et le mode de vie de l'individu pour adapter la prise en charge et limiter les récives.

a) *Les origines comportementales*

Les origines comportementales incluent les comportements aboutissant à une blessure d'un ou plusieurs individus. Généralement, ces comportements instinctifs sont propres aux espèces concernées.

De nombreux aquariums organisent leurs bassins en biotope induisant la cohabitation de différentes espèces. Ainsi, la cohabitation entre carnivores, omnivores et herbivores révèle l'instinct de chasse de certaines espèces. Par conséquent, les espèces proies ont plus de chances de présenter des lésions traumatiques oculaires ou généralisées. Cet instinct peut être réduit en fournissant des apports alimentaires suffisants aux prédateurs mais il est rare d'obtenir une absence totale de prédation. En parallèle, fournir des décors avec de nombreuses cachettes diminue les risques pour les espèces proies.

Lors de cohabitation inter- ou intra-spécifique, des comportements agressifs peuvent être mis en évidence. En effet, chez certaines espèces territoriales, des agressions entre individus provoquent des lésions traumatiques. La plupart des espèces territoriales sont gouvernées par une hiérarchie au sein du groupe. Les bagarres surviennent souvent lors de remise en question de cette hiérarchie par un individu. Ces agressions sont parfois favorisées en cas de surdensité dans les bacs ce qui augmente les recouvrements de territoires. La fréquence des comportements agressifs augmente aussi lors de la période de reproduction. Parfois, la compétition entre les mâles les pousse à une bagarre à l'origine de lésions voire de décès. Généralement, dans des bassins où la densité est correcte, les bagarres sont moins fréquentes. Une autre mesure de gestion consiste à mettre les poissons de même espèce et de format proche dans un bassin commun. Cela évite qu'un individu plus grand que les autres prenne le dessus sur ses congénères. Cette mesure s'applique moins sur les espèces marines. La plupart des espèces marines sont territoriales. Selon Francis-Floyd et al. (2001), un aquarium marin devrait présenter uniquement un spécimen par espèce, par couleur et par forme afin de réduire les reconnaissances et donc les attaques.

Par extension aux comportements agressifs, certains individus sont cannibales. Le cannibalisme concerne principalement les jeunes individus ou les poissons en phase de croissance rapide. Les deux principales causes de cannibalisme sont la génétique et le comportement. Les origines génétiques sont causées par des variations de taille au sein d'une cohorte favorisant des comportements de domination. Les origines comportementales proviennent de facteurs environnementaux limitants (enrichissement, alimentation notamment). Parmi les espèces pouvant manifester des comportements cannibales, il y a la morue de l'Atlantique, le poisson-chat marcheur ou le brochet de mer. Le cannibalisme est plus rare en aquarium pour plusieurs raisons. D'une part, les facteurs génétiques sont moins impactant car une partie des individus sont pêchés en mer. D'autre part, les manques de nourritures sont rares. En cas de cannibalisme dans un bac, une augmentation de la fréquence de distribution des repas aide à réduire ce comportement (Noga, 2000).

Les origines comportementales constituent une cause majeure des lésions oculaires traumatiques. Mais, ces dernières sont souvent favorisées par le milieu de vie de l'individu. Ainsi, il est important de ne pas négliger le contexte environnemental lors de comportements agressifs ou de prédation.

b) Les origines environnementales

Parmi les origines environnementales, certaines ont déjà été abordées dans la partie sur les pathologies environnementales (p. 81). Seuls les aspects qui n'ont pas encore été mentionnés seront développés dans cette partie.

Les défauts d'éclairage et de rayonnement UV provoquent parfois des brûlures sur le tégument et les yeux des téléostéens.

Certaines parties des décors dans les aquariums se présentent comme des objets contondants pour les poissons. Il convient de suspecter une anomalie physique dans les décors lorsque de nombreuses lésions physiques aiguës sont observés sur des individus, indépendamment de l'espèce, l'âge et le sexe. Cependant, les causes parasitaires doivent être exclues auparavant. Les infestations massives provoquent des démangeaisons. Les poissons cherchent alors à se débarrasser des parasites en se frottant aux parois des bassins. Les lésions traumatiques oculaires sont le siège de surinfections secondaires, c'est pourquoi elles doivent être prises en charge rapidement (Hadfield, 2021).

Pour finir, le transport d'individus dans des bassins restreints favorisent les lésions traumatiques suite à un stress. L'isolement d'individus pour des raisons sanitaires par exemple augmente aussi le stress et par conséquent favorise les traumatismes surtout s'il y a des tentatives d'échappement (Noga, 2000).

4. Les troubles métaboliques

Lors de troubles métaboliques des conséquences cliniques variées sont visibles et pour certaines atteintes, des signes ophtalmiques. Pour certaines affections, les mécanismes physiopathologiques ne seront pas détaillés mais uniquement les causes primaires et les conséquences cliniques.

D'abord l'oxygénation de la rétine est assurée par des mécanismes spécifiques aux téléostéens, comme mentionné plus haut. Dans la choroïde les globules rouges possèdent des molécules d'hémoglobines sensibles au pH qui assure une délivrance de l'O₂ dans la rétine. Une étude menée par Damsgaard et al. en 2020 permet d'apporter des précisions sur le mécanisme. L'anhydrase carbonique associé à l'H⁺ acidifient les globules rouges pour augmenter la sécrétion d'O₂ dans la rétine (Fig. 51). De plus, les données *in vivo* de l'étude démontrent que le mécanisme décrit concerne principalement l'oxygénation de la rétine interne. Celle-ci est impliquée dans le traitement et la transduction du signal. Ainsi ce mécanisme est étroitement lié à l'expansion morphologique de la rétine interne. Ce qui signifie qu'une atteinte sanguine comme une anémie, une augmentation du pH ou une hypoxie favorise les pertes de vision et les rétinopathies chez les téléostéens.

L'accumulation des bulles de gaz dans la glande choroïde peut d'ailleurs provenir d'une augmentation de la concentration en anhydrase carbonique (Parker-Graham et al., 2022).

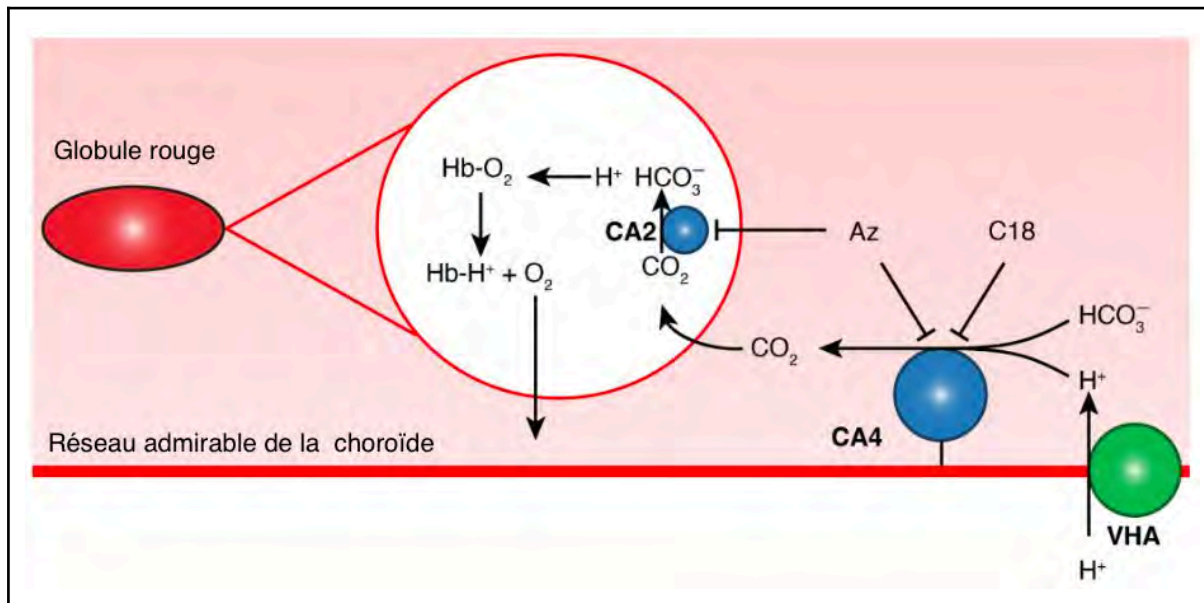


Fig. 51 : Schéma du mécanisme de sécrétion de l'O₂ dans le réseau admirable de la choroïde chez les téléostéens. La sécrétion endothéliale des ions H⁺ par la pompe ATPase (rond vert) entraîne la production de CO₂ à l'aide de l'anhydrase carbonique plasmatique CA4 (ronds bleus). Une seconde anhydrase carbonique CA2 située dans les globules rouges produit des ions H⁺ qui se lie à l'hémoglobine (Hb) permettant la libération de l'O₂ dans le réseau admirable. À noter que Az désigne l'acétazolamide, molécule utilisée en thérapeutique qui agit à la fois sur l'anhydrase carbonique plasmatique et des globules rouges. D'après Damsgaard et al., 2020, traduit en français.

D'autres troubles métaboliques peuvent avoir des conséquences sur les yeux. Lors d'exposition à des substances toxiques précédemment citées comme les hydrocarbures et le pétrole brut, il y a des troubles de la vision et du développement des yeux. Cependant une étude menée par Sorhus et al. en 2021 révèle que les troubles oculaires sont une conséquence d'un dysfonctionnement cardiaque initial. Pendant le développement embryonnaire, un dysfonctionnement cardiaque perturbe le transport des lipides jusqu'à l'œil à l'origine de microphthalmies et de rétinopathies. En parallèle de cette étude, il existe un syndrome cardiomyopathie chez les salmonidés (Jepson, 2016). Ce syndrome n'a pas de causes clairement définies. Plusieurs hypothèses sont quand même soulevées comme une origine virale, auto-immune, nutritionnelle ou environnementale. Cliniquement, il se caractérise par des hémorragies cutanées, des écailles relevées, de l'ascite et des exophthalmies. À l'autopsie, on a une dilatation de l'atrium et du sinus veineux. On peut aussi avoir une thrombose artérielle et une nécrose hépatique. À l'histologie, on trouve de sévères lésions d'inflammation, de nécrose et de dégénérescence du myocarde. Cela peut parfois s'étendre à l'endocarde et au péricarde. Le diagnostic dépend des manifestations cliniques, de l'autopsie et de l'histologie. Il n'existe pas de traitement possible. La prévention repose sur la limitation de facteurs de stress chez les individus (Kongtorp et al., 2005).

La fonction thyroïdienne semble aussi avoir des conséquences sur les yeux. D'une part, lors du développement embryonnaire, un défaut de production d'hormones thyroïdiennes provoque des malformations congénitales oculaires comme la microphthalmie (Deal et al., 2020). D'autre part, une étude menée par Cheng et al. en 2009 révèle qu'un hyperthyroïdisme chez les larves et les juvéniles salmonidés, modifie certaines opsines visuelles. Les opsines captant les UV deviennent des opsines captant les lumières bleues. Il

existe peu de données chez l'adulte concernant l'hyperthyroïdie. Or, il semblerait que l'hypothyroïdisme impacte la rétine des poissons adultes (Mader et al., 2006).

Sur les adultes, l'hyperthyroïdisme a également un impact sur l'œil. En effet, les téléostéens peuvent déclencher une hyperplasie thyroïdienne ou goître. Le goître touche à la fois les espèces marines et d'eaux douces. Il résulte souvent d'un défaut d'iode dans l'eau ou dans la ration. Un œdème de la glande thyroïde est pathognomonique du goître. Attention toutefois car certaines espèces ne possèdent pas de glande thyroïde unique. Par exemple, chez le poisson rouge et la carpe, le tissu thyroïdien est réparti entre plusieurs organes internes comme le cœur, la rate et les reins. Le goître est souvent associé à des exophtalmies. Le traitement de choix lors d'un goître est une supplémentation en iode. Une supplémentation en vitamines peut aussi être ajoutée.

Le métabolisme glucidique impacte le bon fonctionnement de l'œil. Les poissons peuvent manifester un diabète à l'origine de rétinopathies et de cataractes (Chhetri et al. 2014). En effet, un excès de glucose produit du sorbitol qui est plus facilement stocké dans le cristallin et donc produit des cataractes. Concernant les rétinopathies, le glucose est le principal substrat utilisé dans le métabolisme des cellules rétinienne (Raja et al., 2015 ; Jaroszynska et al., 2021). Lors d'hyperglycémie, on observe une endothéliopathie rétinienne, associée à un développement de vaisseaux sanguins (Augustine-Wofford et al., 2024).

Enfin, la fonction rénale peut impacter la fonction visuelle. D'après la littérature, des rétinopathies peuvent être secondaires à des insuffisances rénales (Bahadori et al., 2003 ; Jurk, 2002). De plus, des modifications oculaires sont possibles lors d'œdème généralisé ou hydropisie. L'hydropisie se caractérise par de l'ascite, des écailles décollées avec des buphtalmies et des exophtalmies (Fig. 52). L'hydropisie est un signe clinique non-spécifique et correspond à une conséquence directe d'un trouble fonctionnel. Elle se retrouve souvent lors d'insuffisance rénale (Weber, 2020). Cette insuffisance rénale peut être secondaire à une infection bactérienne ou virale (Roberts et al., 2009 ; Aly et al., 2016).

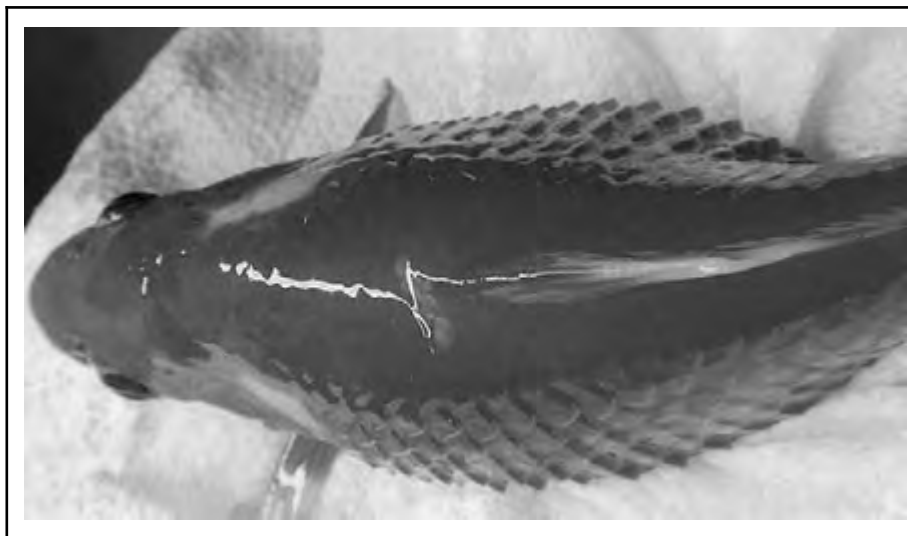


Fig. 52 : Hydropisie chez un poisson rouge (*Carassius auratus*) avec une mycobactériose systémique caractérisée par un décollement des écailles, de l'ascite et une exophtalmie bilatérale. D'après Roberts et al. (2009).

5. Les anomalies congénitales

Les anomalies congénitales sont plus fréquentes sur des espèces élevées en captivité. Les aquariums se fournissant en milieu naturel sont généralement moins confrontés à ces anomalies. De plus, les anomalies congénitales se caractérisent surtout par des anomalies squelettiques et plus rarement des anomalies oculaires. Deux lésions oculaires présentent une composante génétique : la buphtalmie et la cataracte (Hargis, 1991).

Chez certaines espèces, la buphtalmie est héréditaire. Chez le Blackmoor (*Carassius auratus*) par exemple, la buphtalmie est génétiquement sélectionnée car elle constitue un critère esthétique (Matsumara et al., 1981) (Fig. 14).

Des études menées par Kincaid et al. en 1987 suggèrent une composante héréditaire de la cataracte nucléaire. De plus, chez les salmonidés, la truite grise semble la plus sensible aux cataractes d'origine génétique (*Salvelinus namaycush*). Des cataractes d'origine génétique ont déjà été décrites chez d'autres espèces de téléostéens (Fig. 53).



Fig. 53 : Cataracte congénitale sur un tilapia du Mozambique (*Oreochromis mossambicus*). D'après Noga (2000).

6. Les néoplasies

Chez les téléostéens, les tumeurs peuvent se développer sur presque tous les organes. Même si les tumeurs oculaires sont rares, elles peuvent provenir de n'importe quel tissu oculaire. Les signes cliniques associés aux néoplasies sont variables et dépendent souvent de la localisation initiale : exophtalmie, buphtalmie, glaucome, uvéite, panophtalmie et plus généralement léthargie, anorexie et modification de comportement (Fig. 54). Par ailleurs, des tumeurs extra-oculaires peuvent provoquer des signes oculaires. Par exemple une tumeur rétro-bulbaire causant une exophtalmie unilatérale.

Comme les autres espèces, les tumeurs des téléostéens n'ont pas d'étiologies bien définies. Cependant différents facteurs favorisants ont été mis en évidence :

- les atteintes virales (Herpèsvirus 1 des cyprinidés)
- les rayonnements UV excessifs
- le parasitisme
- les contaminants environnementaux (polluants et métaux lourds)
- les prédispositions génétiques

D'après la littérature, la localisation préférentielle des tumeurs est la cornée avec différents types histologiques retrouvées comme les carcinomes et les mélanomes (Kumaratunga et al., 2022).

Les biopsies pour une analyse histopathologique sont importantes pour déterminer le pronostic et le plan de traitement de la tumeur. La localisation initiale influence également le pronostic et la prise en charge. Sur une localisation interne, l'énucléation est le traitement de choix. Une technique de traitement émergente est la cryochirurgie. Cette technique s'applique uniquement sur les localisations externes. Elle consiste en une forte congélation localisée à l'aide d'une sonde à azote liquide. L'application provoque une destruction des tissus, une inflammation locale, une stase vasculaire et une occlusion des tissus atteints. Elle peut se mettre en place sur les tumeurs malignes ou bénignes (Rubinsky, 2000). Le taux de réussite d'une séance de cryochirurgie est variable. Le protocole de mise en place de la cryochirurgie sera développé dans la partie suivante.

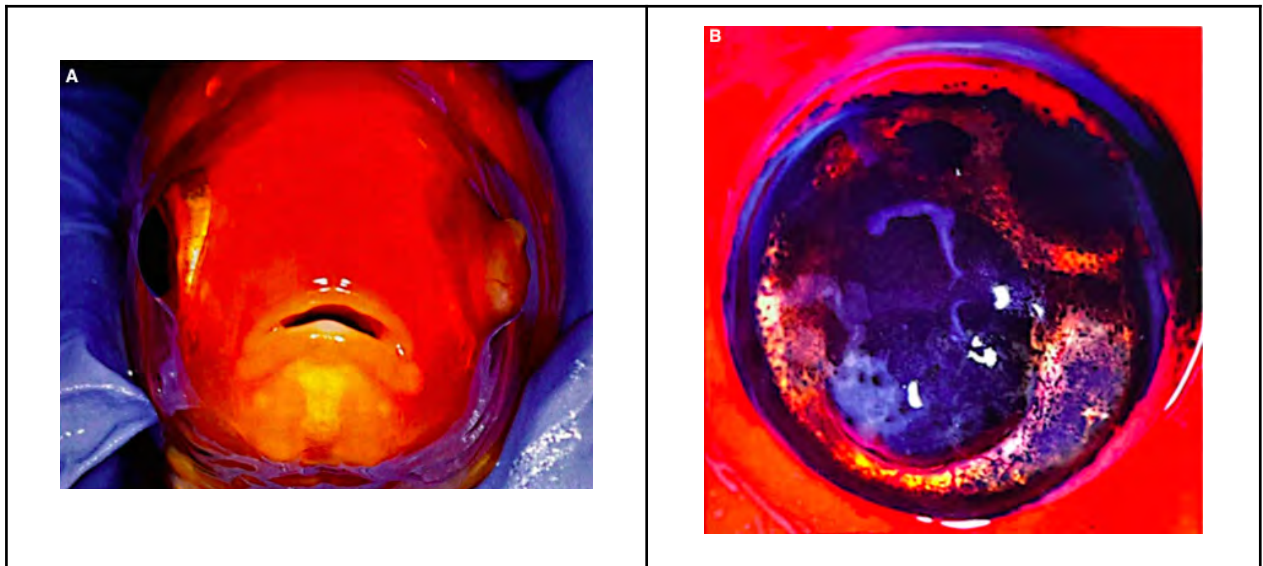


Fig. 54 : Photographies de tumeurs oculaires. (A) sarcome à cellule fusiforme intra-oculaire associé à une rupture de l'œil droit chez un poisson rouge (*Carassius auratus*) ;(B) mélanophore cornéen chez une carpe koi (*Cyprinus carpio*). D'après Parker-Graham et al. (2022), photographie du service d'ophtalmologie de l'université de médecine vétérinaire de Californie .

Les données aujourd'hui disponibles sur les pathologies oculaires non infectieuses des poissons ciblent souvent les mêmes familles d'espèces. De plus, les études menées par la communauté scientifique concernent surtout les élevages aquacoles plutôt que les poissons d'ornement. Cependant la littérature montre que les origines non infectieuses constituent une part non négligeable des atteintes oculaires.

Les pathologies nutritionnelles sont moins fréquentes dans les aquariums publics. Cela peut s'expliquer par la collaboration de certains aquariums avec des nutritionnistes et la complémentation en vitamines. Par ailleurs, les troubles nutritionnels peuvent se développer secondairement à une maladie cachectisante.

Les pathologies environnementales possèdent une incidence importante dans les étiologies des troubles oculaires, plus particulièrement la maladie des bulles de gaz. Selon la cause primaire, les pathologies environnementales sont facilement identifiables mais parfois complexes à traiter. La présence de surinfections complique le diagnostic. De plus, les troubles oculaires sont parfois secondaires à des variations insidieuses plutôt qu'une nette modification d'un paramètre. En lien avec les pathologies environnementales, les agents toxiques sont moins fréquents. En effet, l'eau des aquariums est souvent soumise à différents traitements avant d'être intégrée dans les bassins.

Les origines traumatiques sont fréquentes en aquarium et sont à relier avec le contexte environnemental et comportemental. La prise en considération croissante du bien-être animal aide à réduire ce type d'affections.

Les troubles métaboliques, les anomalies congénitales et les néoplasies concernent la médecine individuelle. Ces affections restent rares en aquariums. Cependant la captivité favorisant l'espérance de vie, l'incidence des néoplasies oculaires risque donc d'augmenter.

L'identification de la cause primaire lors d'une atteinte oculaire repose sur une démarche méthodique menée par le vétérinaire afin de mettre en place une prise en charge adaptée.

III. Gestion d'une atteinte oculaire chez le poisson d'aquarium

Les deux parties précédentes sur la synthèse bibliographique permettent un compte-rendu quant aux différentes pathologies oculaires documentées chez les poissons en aquarium. Ce dernier volet de l'étude bibliographique fait le lien entre la littérature scientifique et les études de terrain de la deuxième partie. L'objectif est d'y détailler les outils disponibles aux vétérinaires et aux aquariologistes permettant de prendre en charge une atteinte oculaire sur un ou plusieurs individus dans un bassin.

Cette dernière section, ciblant la pratique, est subdivisée en trois axes. Le premier expose les gestes importants face à un animal présentant une affection oculaire en aquarium. Le deuxième présente les différents outils diagnostiques intéressants en ophtalmologie aquacole : comment les utiliser et quelles sont leurs limites ? Enfin, les prises en charge, les traitements disponibles ainsi que leurs conditions d'utilisation seront décrits. De manière générale, le schéma à suivre face à une atteinte oculaire est semblable aux autres atteintes possibles. C'est pourquoi, ne seront développés que les points plus spécifiques au domaine de l'ophtalmologie.

A. Conduite à tenir face à une affection oculaire en aquarium

Dans un premier temps, le recueil d'information constitue une étape primordiale face à un ou plusieurs individus atteints. Ce recueil de renseignements s'effectue à deux échelles. D'abord, les informations relatives au milieu de vie sont relevées. Ensuite les informations relatives aux animaux atteints. Cette étape requiert une bonne communication avec le propriétaire.

1. Observation de l'environnement : commémoratifs

Les commémoratifs regroupent l'ensemble des informations relatives à l'environnement et le lieu de vie de l'animal atteint. Avec de bons commémoratifs, il est possible d'orienter le diagnostic. Cette démarche est similaire à celle utilisée lors d'une consultation avec des animaux domestiques.

a) Présentation du biotope

Par définition, le biotope correspond au lieu de vie défini par des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques relativement uniformes. De nombreux aquariums organisent leurs aquariums en biotope. En pratique, les bassins se rapprochent des conditions naturelles des espèces et ainsi, plusieurs espèces issues d'un même habitat peuvent partager un bassin.

L'organisation d'un bassin fournit déjà des informations sur le contexte de vie de l'animal et les interactions avec les congénères. Une organisation en biotope peut favoriser des comportements de prédatons. Inversement, une seule espèce par bassin favorise les comportements agressifs. Le biotope renseigne également sur le régime alimentaire du milieu. La présence de certaines plantes ou coraux présents en conditions naturelles servent d'alimentation aux potentielles espèces herbivores et omnivores.

Les interactions entre le bac et le milieu extérieur sont aussi des paramètres à prendre en compte. Par exemple, un bassin ouvert sur l'extérieur peut recevoir de l'eau de pluie et du ruissellement par rapport à un aquarium dans un bâtiment (Fig. 55). De plus, sur un bac n'ayant pas de contacts directs avec l'extérieur, il est possible de contrôler la luminosité et les phases d'éclairage.

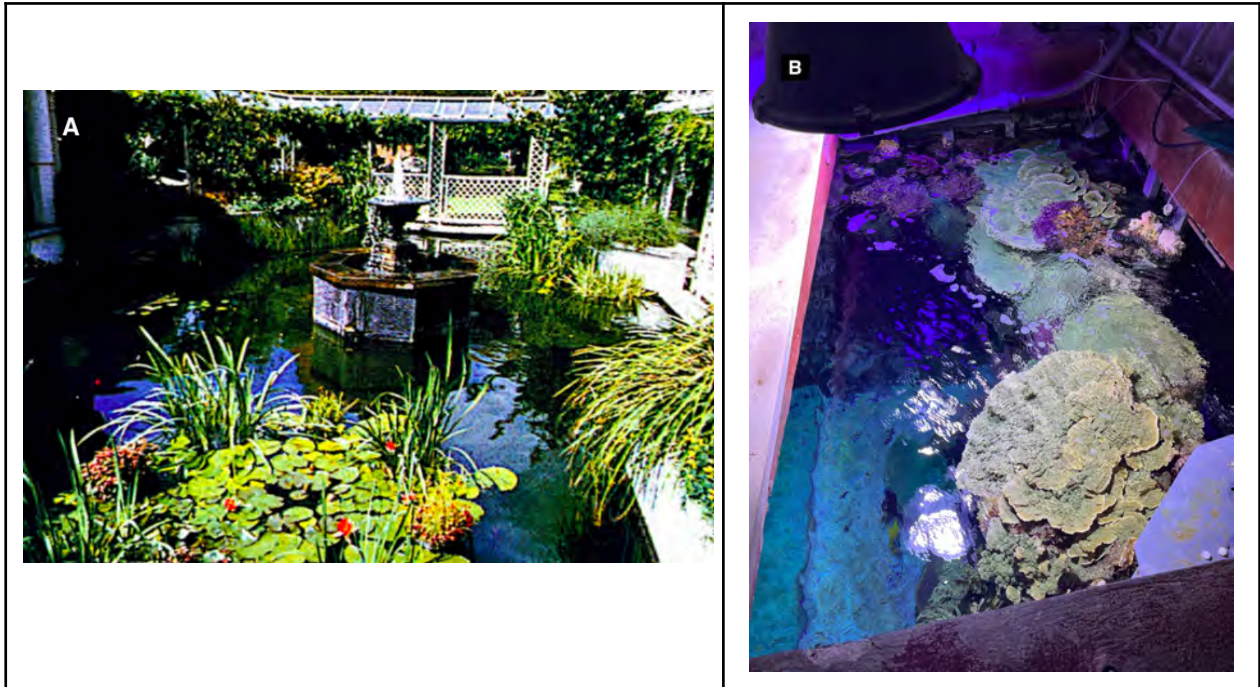


Fig. 55 : Photographies de deux bassins (A) bassin, en contact direct avec le milieu extérieur. D'après W.H. Wildgoose (2001). (B) bac, sans contact direct avec le milieu extérieur. Institut Océanographique de Monaco, image utilisée avec autorisation.

b) Configuration des infrastructures/bassins

La majorité des bassins et bacs en aquarium sont agrémentés d'un système de filtration afin de garantir une bonne qualité de l'eau. Différentes méthodes de filtration sont possibles pour les aquariums :

- Filtration mécanique : elle retient les éléments en suspension et les débris. En revanche, elle ne filtre pas les micro-organismes. Les filtres mécaniques peuvent être réutilisés après un nettoyage.
- Filtration chimique : elle s'appuie sur l'utilisation de matières afin de limiter les excès de certains composés potentiellement toxiques comme l'ammoniac. Par exemple, les rayons UV sont utilisés comme agents filtrants chimiques.
- Filtration biologique : elle utilise les propriétés de certains microorganismes pour transformer les déchets azotés en des composés moins toxiques pour les poissons. Au sein d'un même bassin, différentes techniques de filtration sont combinées.

Pour chacune des infrastructures/bassins citées, il est important de relever la localisation du filtre, son état de propreté et son fonctionnement.

En plus de la filtration, il est important de renseigner l'origine de l'eau du bac ou du bassin et si elle est soumise à des traitements particuliers avant d'être intégrée au bac.

Enfin, l'aquarium peut ajouter de l'éclairage ou du chauffage au bac. La qualité de l'eau d'un bassin dépend de ses paramètres : température, salinité, taux d'oxygène dissous, etc. La gestion de la qualité de l'eau varie selon les structures. C'est pourquoi, les paramètres surveillés et les fréquences de surveillance doivent être renseignés.

Pour finir sur les observations de l'environnement de vie, les décors sont des éléments non négligeables. La configuration des décors apporte des renseignements utiles lors du diagnostic en ophtalmologie. Ainsi, on peut noter la présence de décors suffisants selon le nombre d'individus présents dans le bac. La possibilité notamment pour les proies de se cacher. L'entretien des décors est important. Une dégradation amène parfois à des bords contondants pour les poissons.

c) Gestion alimentaire et sanitaire

Les caractéristiques environnementales s'appuient également sur l'alimentation, et l'historique du bassin ou de l'aquarium.

Ainsi, lors de la prise des commémoratifs il est nécessaire de relever la prise en charge de l'alimentation c'est-à-dire, le type d'aliment utilisé, les fréquences de nourrissage, les rations instaurées et le mode de stockage de la nourriture. Ces informations orientent le diagnostic. Par exemple, avec des rations basées sur une distribution d'animaux vivants, le risque de transmission de pathogènes est plus élevé.

Concernant l'aspect sanitaire de l'aquarium, différents éléments sont importants. Dans un premier temps, lors de l'introduction d'un nouvel individu, y a-t-il une procédure de mise en quarantaine ? Si c'est le cas, comment est-elle mise en place ? Dans le cadre d'une mesure d'isolement, certains traitements sont administrés et ceux-ci doivent être renseignés.

Enfin, l'historique sanitaire est important à prendre en compte. En effet, sur une atteinte oculaire, le risque de récurrence est non négligeable. De plus, même si l'historique ne contient pas d'affections oculaires, il apporte toujours des éléments orientant le diagnostic. Généralement à l'échelle d'un bac, on s'intéresse aux atteintes qui se sont manifestées sur la dernière année.

Au cours de la discussion avec le propriétaire, le recueil d'informations repose sur une bonne communication professionnelle. Au début, il est possible de s'appuyer sur des questionnaires afin de ne pas manquer des informations cruciales. Avec l'expérience, les vétérinaires utilisent moins d'outils de support.

2. Observation de l'animal

a) Anamnèse

L'anamnèse est en rapport avec le motif de consultation. Il s'intéresse au contexte et à l'historique cliniques. Les informations nécessaires pour définir l'anamnèse sont renseignées dans le tableau 4. Elles sont proches des informations nécessaires lors d'une consultation en canine. De même que les commémoratifs, l'utilisation d'un questionnaire ou d'une feuille de route est recommandée en cas de manque d'expérience.

Tableau 4 : Exemple de fiche de renseignements pour définir l'anamnèse. D'après Butcher (2001).

Informations générales sur l'atteinte oculaire			
Motif de consultation			
Espèce et nombre d'individus atteints			
Date d'apparition des signes cliniques			
Signes cliniques (généraux et ophtalmiques)			
Mortalité			
Possibles modifications gestionnelles pouvant être lié à l'apparition des signes cliniques			
Changement/nettoyage filtres		Introduction nouvel individu	
Nettoyage aquarium/bassin		Équipement de chauffage/éclairage/pompage défectueux	
Changement de régime alimentaire		Panne de courant	
Autre			
Possibles modifications environnementales pouvant être lié à l'apparition des signes cliniques			
Proliférations d'algues		Prédateurs	
Variations de températures		Chute de feuilles	
Nouveaux décors ou ornements		Autre (conditions météo extrêmes)	
Possibles expositions aux toxines			
Métaux		Biocides	
Gaz		Composés thérapeutiques	
Organismes toxiques		Autre	
Auto-médication			
Molécule utilisée	Durée d'utilisation	Dosage utilisé	

b) Examen à distance

Après avoir renseigné l'anamnèse et les commémoratifs, l'étape suivante de la consultation repose sur la réalisation d'examen cliniques. D'abord, le vétérinaire réalise un examen clinique à distance afin d'évaluer les interactions du ou des poissons atteints avec l'environnement. Cette évaluation à distance réduit le stress des poissons en limitant les manipulations. Idéalement, le poisson doit encore être dans son milieu de vie habituel. Souvent, le poisson est déjà dans un bassin d'isolement au moment de la consultation auquel cas, les renseignements sont pris auprès du propriétaire.

L'attitude et le comportement du poisson fournissent déjà des informations utiles dans le diagnostic ophtalmologique. Au cours de cet examen à distance différents éléments sont relevés (Blanc, 2018) :

- La réactivité et la position des animaux atteints dans l'environnement. On peut évaluer la réactivité grâce à la réponse à différents stimuli notamment visuels. Selon les réponses, on peut supposer une cécité sur un œil atteint ou bien une douleur. Lors d'infestation parasitaire massive, les poissons ont tendance à se frotter aux parois du bac pour retirer les parasites. Les anomalies de comportement peuvent être signalées par le propriétaire mais pas visibles lors de la consultation.

- La respiration des poissons dans le bac peut s'évaluer sans contention préalable. On la définit par la fréquence respiratoire et l'amplitude des mouvements respiratoires. Lors de modification de la respiration, il faut la corrélérer avec les données des paramètres du bac. En effet, une anomalie respiratoire peut être d'origine externe (manque d'oxygène dissous, défaut d'aération, etc.) ou bien interne (douleur, stress, etc.). La respiration est donc à relier avec le comportement du poisson. Par exemple, des individus atteints se regroupant en surface, oriente vers une teneur en oxygène insuffisante.

- La capacité de déplacement, caractérisée par la nage et la flottabilité. Les espèces benthiques sont souvent immobiles et donc les déplacements sont difficilement observables. Sur les espèces mobiles, la nage fournit des informations sur une potentielle atteinte systémique. En effet, de nombreuses affections oculaires sont associées à des signes nerveux. Ceci oriente parfois la cause primaire sur une atteinte cérébrale, associée à une modification de l'espace rétro-bulbaire. Une modification de la nage peut parfois être un signe peu spécifique. La nage est à corrélérer avec la flottabilité. On parle de flottabilité négative lorsque le poisson "coule" et de flottabilité positive lorsque le poisson "flotte". Les causes restent variées mais elles permettent d'orienter le diagnostic. Sur un poisson avec une exophtalmie associée à une flottabilité positive, on peut suspecter une maladie des bulles de gaz.

- L'alimentation. C'est une donnée sémiologique importante chez les poissons avec une valeur pronostique utile. Cependant elle reste peu évaluée directement car la consultation se déroule souvent indépendamment du nourrissage. De plus, les prédateurs mangent à intervalle de temps espacé. Ainsi, les données liées à l'alimentation sont rapportées par les propriétaires. Si possible, il faut relever, la quantité d'aliment ingéré, la qualité de l'appétit (tri

des aliments notamment) et la rapidité d'ingestion. On peut mesurer l'appétit individuellement ou à l'échelle du groupe. C'est un signe qui reste peu spécifique dans le cadre d'une atteinte oculaire.

c) Isolement de l'individu

Pour toute atteinte chez un poisson, il est important d'isoler l'individu et de le placer dans un bac séparé pour plusieurs raisons. D'abord en cas d'origine infectieuse, l'isolement limite la propagation de l'agent pathogène. Ensuite, la réalisation des soins et l'administration des traitements sont simplifiées et ciblées. Idéalement, l'isolement du poisson s'effectue après l'examen à distance et avant l'examen clinique et ophtalmologique. En pratique l'isolement est la première mesure mise en place par les structures/propriétaires lors d'atteinte sur un ou plusieurs individus. Cette méthode est moins gênante pour le vétérinaire si les propriétaires ou les aquariologistes ont noté l'ensemble des anomalies visibles à l'examen à distance dans le milieu de vie. De plus, l'examen à distance reste possible dans un bac de quarantaine en évaluant par exemple la nage et la flottabilité.

Dans certaines situations, l'isolement de l'individu atteint est compromis, par exemple sur des grands bassins avec de nombreuses cachettes. Ainsi, la consultation et les outils diagnostiques sont limités et s'appuient principalement sur l'examen à distance.

Lors de l'isolement de l'individu il est important d'utiliser une contention adaptée. Une contention adaptée passe d'abord par une bonne connaissance de l'espèce manipulée surtout si elle présente des mécanismes de défense. La contention dépend aussi de l'état clinique de l'animal. Une contention limitée est privilégiée sur un animal en état de stress. Il est aussi important que le bac d'isolement possède quelques éléments de décors pour respecter le bien-être animal.

À la fin de son utilisation, il est primordial de désinfecter le bac d'isolement avec par exemple de la javel et d'effectuer un vide sanitaire dont la durée varie selon l'agent pathogène suspecté.

d) Examen clinique rapproché

La réalisation d'un examen clinique rapproché suit le même schéma que celui des mammifères domestiques avec des conditions de réalisation différentes. Un examen clinique rapproché s'effectue sur un animal avec une bonne contention voire sédaté. Pour éviter les oublis, on effectue les observations de la tête à la queue. Les principaux éléments à évaluer lors de l'examen clinique rapproché sont les suivants (Lewbart, 2001) :

1- État général :

Une impression clinique générale de l'état corporel du poisson est notée. Si cela est possible, l'animal doit être pesé et mesuré sur sa longueur totale (de la pointe du museau à l'extrémité de la nageoire caudale). Il n'existe pas de grille de note d'état corporel chez le poisson. Cependant une estimation reste faisable en observant le poisson en vue dorsale. Sur un poisson maigre, la tête semble plus large que le reste du corps et inversement sur des poissons en surpoids ou présentant de l'ascite. Lors d'amaigrissement, les muscles épaxiaux sont amyotrophiés et les processus vertébraux sont visibles. Il est plus simple d'évaluer une anomalie de l'état général du poisson, si l'état normal est connu. Sur des cas isolés, il est possible de comparer avec un individu sain.

2- Tégument :

Le tégument est le tissu vivant qui recouvre le corps, avec ses appendices. C'est l'organe le plus large chez un poisson, mais il reste très sensible aux blessures et aux contacts physiques. C'est pourquoi, des gants doivent être portés par le manipulateur et la peau du poisson doit être le moins souvent possible en contact avec une surface sèche. Lors de l'examen du tégument, différents facteurs sont évalués :

- La couleur : beaucoup d'espèces de poissons peuvent modifier leurs couleurs. Ces modifications dépendent souvent des conditions de stress. Une sédation induit un changement de pigmentation perturbant son interprétation. Généralement les individus malades ou stressés présentent une coloration plus foncée que les autres, appelée mélanose.
- La texture : la peau doit être uniforme et recouverte de mucus. Les zones ulcérées, œdématisées ou hémorragiques doivent être notées. Certains ectoparasites sont visibles à l'œil nu et modifient la texture normale de la peau.
- Les écailles : elles constituent un mécanisme de protection et de défense pour beaucoup de poissons. Il est important de connaître les variations physiologiques dans les motifs. Un écartement ou une chute des écailles doivent être indiqués.
- Les nageoires : ce sont les appendices primaires essentiels pour la locomotion. Elles sont souvent transparentes ce qui facilite l'identification de lésions. Certaines espèces présentent d'autres appendices comme des barbillons et doivent également être examinés.

3- Cavité buccale :

Sur un individu sédaté, la cavité buccale est facilement examinable. Une petite spatule peut être utilisée pour visualiser l'ensemble de la cavité et la langue. Certaines espèces possèdent des dents aiguës et d'autres n'en possèdent pas. Un endoscope est intéressant en cas de visualisation du pharynx.

4- Narines et pores sensoriels :

La plupart des poissons ont des orifices olfactifs ou narines dans la région dorsale de la tête. Ces narines sont symétriques et facilement visibles. Chez certaines espèces, les narines sont subdivisées en deux parties grâce à un volet créant un flux entrant et sortant au niveau des lamelles olfactives.

5- Branchies :

Les arcs branchiaux sont observés en soulevant délicatement l'opercule. Généralement, les poissons possèdent quatre arcs branchiaux. Sur des espèces de petit format, un endoscope est recommandé. Lors de l'observation des branchies, on note leur intégrité, les zones de dépigmentation, les plages hémorragiques ou nécrotiques.

6- Organes internes :

L'évaluation des organes internes varie selon le format du poisson. Sur des petits formats, on peut observer les battements cardiaques à travers la peau postérieurement à la base des opercules. Cependant sur les autres espèces, l'utilisation d'un Doppler pulsé ou d'un échographe permet d'évaluer la fréquence cardiaque. Sa valeur varie selon les espèces. Pour les viscères abdominaux, l'inspection visuelle est associée à une palpation. Elle permet de détecter une masse éventuelle ou une accumulation de fluide. La palpation

est aussi utile lors de l'évaluation du squelette. De plus, la région anale doit être observée. On peut y voir des signes d'inflammation, d'oedème, un prolapsus ou des parasites. Beaucoup de poissons anesthésiés défèquent à l'induction ce qui fournit un échantillon pour d'éventuelles analyses.

e) *Examen ophtalmologique*

L'examen ophtalmologique est réalisé simultanément des examens cliniques à distance et rapproché. Dans un premier temps, on s'intéresse à l'observation des structures annexes. Les poissons ne possédant pas de paupières, l'œil reste visible quel que soit le statut physiologique de l'animal.

La première partie de l'examen ophtalmologique s'effectue à distance afin de déterminer si la vue est affectée. Afin de réduire les distorsions optiques, le poisson doit être placé dans un bac avec des parois propres en verre. En cas de déficit visuel, la plupart des poissons orientent l'œil le plus atteint loin de l'observateur. Il est parfois difficile d'évaluer la vue du poisson. En effet, les réflexes de retrait à la menace sont souvent ininterprétables. À distance, certaines modifications morphologiques peuvent déjà être observées, comme une buphtalmie. L'évaluation du globe oculaire se caractérise par une appréciation de sa taille, sa forme, sa position au sein de l'orbite, de son intégrité et de son apparence. Il est important de comparer les deux yeux afin de déterminer si l'atteinte est unilatérale ou bilatérale. En effet, une atteinte bilatérale oriente préférentiellement vers une affection généralisée tandis qu'une atteinte unilatérale oriente vers une affection localisée (Jurk, 2002).

La seconde partie de l'examen ophtalmologique est rapprochée. Il est fortement conseillé d'anesthésier le poisson. À l'examen rapproché, on observe successivement les différentes structures oculaires visibles à l'œil nu : l'iris, le cristallin, l'humeur aqueuse et la cornée. Pour rappel, l'iris est peu mobile chez les poissons, il n'y a donc pas de réflexes photomoteurs. Cette pupille immobile rend les poissons très sensibles aux lumières vives. C'est pourquoi l'éclairage des yeux lors de l'examen rapproché doit être réalisé sur des poissons anesthésiés. Afin de réaliser l'examen ophtalmique, on peut utiliser un ophtalmoscope direct ou indirect (Fig. 56). Cet outil permet de visualiser les structures internes comme la rétine, l'humeur vitrée et le processus falciforme selon les espèces (Fig. 57). Sur les gros individus, on peut réaliser une échographie de l'œil pour visualiser les structures internes (Whitaker, 2001)



Fig. 56 : Examen ophtalmologique réalisé à l'aide d'un ophtalmoscope indirect à l'aquarium national de Baltimore. D'après Whitaker (2001) réalisé à l'aquarium national de Baltimore.

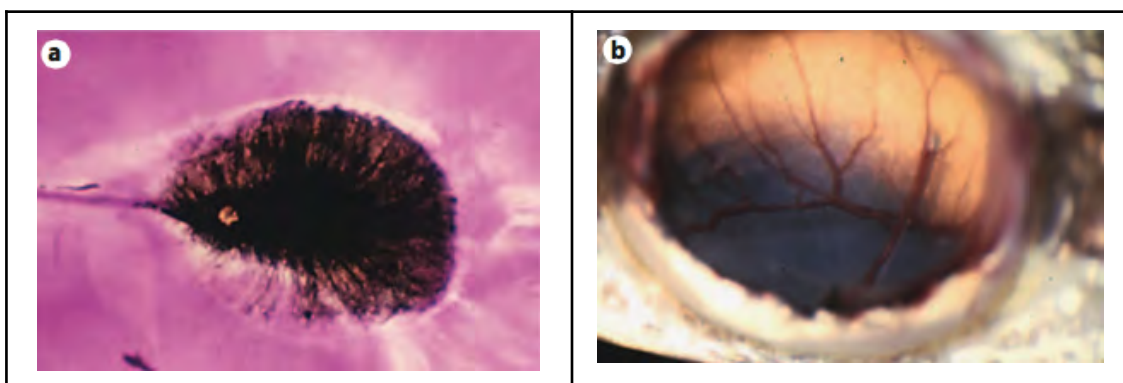


Fig. 57 : Photographies de fond d'œil de poissons. (a) La tête du nerf optique pigmenté du poisson empereur étoilé (*Lethrinus chrysostomus*) se déformant en un processus falciforme pigmenté, qui s'étend vers le bord rétinien ventral. (b) Transition entre le tapetum jaune dorsalement et la rétine ventralement chez l'orphie de Floride (*Lepisosteus platyrhincus*). D'après Ullman et al., 2012.

B. Outils diagnostiques et interprétations

Suite à un examen clinique complet, différentes hypothèses diagnostiques sont émises. Afin de réfuter ou de confirmer ces hypothèses, des examens complémentaires sont réalisés. Il est essentiel de limiter le nombre d'examens pour réduire le stress chez le poisson. Des examens cliniques et ophtalmiques bien menés aident déjà dans le choix des outils diagnostiques. Dans cette partie, seuls les examens complémentaires réalisés pour un diagnostic ophtalmique seront détaillés. En effet, lors d'atteintes systémiques avec des répercussions oculaires, certaines méthodes diagnostiques fournissent des informations à

l'échelle systémique comme la prise de sang ou l'analyse des paramètres environnementaux. Cependant, l'œil étant en continuité avec le milieu extérieur, les analyses environnementales ne sont pas écartées de cette partie. Par exemple, une analyse de l'oxygène dissous permet de diagnostiquer une maladie des bulles de gaz avec uniquement des lésions oculaires (Jepson, 2016).

1. Analyses de l'environnement

Les analyses environnementales sont une méthode de choix en médecine aquacole. Selon le paramètre évalué, elles sont faciles à mettre en place avec des résultats rapides. Cependant les résultats sont parfois peu spécifiques et n'expliquent pas complètement les signes cliniques. Elles apportent simplement des indications sur la qualité de l'eau dans un aquarium. Ce type d'analyse est à privilégier lors d'une suspicion de pathologie environnementale.

Souvent, les bassins ou les aquariums présentent des outils permettant un suivi continu de certains paramètres de l'eau. Au cours de la consultation, un accès aux paramètres des bacs permet d'obtenir les résultats sans analyses supplémentaires. Lorsque le propriétaire se déplace pour une consultation, il lui est conseillé d'emporter un échantillon de l'eau du bac en cas d'éventuelles analyses. Cette pratique est peu utilisée dans les grands aquariums car le vétérinaire se rend généralement sur place. Les mesures de paramètres doivent être effectuées dans l'heure après la collecte. Si ce n'est pas possible, l'eau doit être réfrigérée et analysée dans les vingt-quatre heures (surtout pour le pH, l'ammoniac et les nitrites). Il existe différents types d'appareils disponibles sur le marché. Il est important d'étalonner régulièrement les appareils de mesures (Blanc, 2018).

a) Température

Comme mentionné plus tôt, les variations de températures peuvent avoir des conséquences graves sur la santé des poissons. Dans de nombreux grands aquariums, la température est surveillée en continu. Auquel cas il est important de vérifier la localisation de la sonde car ce paramètre varie notamment selon la profondeur. De plus, il existe des variations au cours du temps parfois même dans la même journée. Ainsi, si on souhaite investiguer sur la température, il est intéressant d'effectuer des relevés à différents moments de la journée (Blanc, 2018).

b) Salinité

La mesure de la salinité présente un intérêt selon le contexte. L'eau de mer a une composition spécifique en sels. Il existe différentes méthodes de mesure de la salinité. Le résultat final s'exprime en g/L. Elle peut se mesurer indirectement à l'aide de l'indice de réfraction, la conductivité électrique ou la chlorinité. Elle peut se mesurer directement à l'aide de sonde de salinité qui doivent être étalonnées régulièrement. La salinité peut être mesurée lors de cataractes suspectées d'origine environnementale en milieu marin (Hadfield et al., 2007 ; Lloyd, 2001).

c) *Oxygène dissous*

En pratique, les systèmes rencontrés sont saturés en oxygène. Ce paramètre n'est pas mesuré systématiquement. Sa surveillance continue est intéressante lors d'écosystèmes complexes ou difficilement maîtrisables (bassins extérieurs par exemple). Les appareils de mesure fournissent soit un pourcentage de saturation soit une concentration en mg/L (aquarium de Monaco). Des mesures d'oxygène dissous sont à prévoir en cas de suspicion de maladie des bulles de gaz (Hadfield et al., 2007 ; Blanc, 2018).

d) *pH*

Chaque espèce est adaptée à un intervalle de pH bien défini. Les valeurs de pH dépendent d'autres paramètres de l'eau. Comme mentionné plus haut, la décharge azotée, la teneur en CO₂ et la charge minérale de l'eau influencent le pH (De Kinkelin et al., 2020).

Différentes méthodes de mesure existent pour le pH. On peut utiliser des tests colorimétriques ou bien des sondes. De même que les sondes de température et d'oxygène, l'étalonnage des appareils électroniques doit être régulier (Hadfield et al., 2007 ; Blanc, 2018).

e) *Ammoniac, nitrites et nitrates*

Il s'agit des produits de dégradation des matières protéiques au sein du milieu aquatique. Le cycle de l'azote constitue l'une des bases de l'activité biologique aquatique. En pratique, ces différents paramètres sont mesurés régulièrement afin de vérifier que les paramètres de l'eau sont propices à la bonne santé des poissons. Des concentrations anormales en certains composés du cycle de l'azote peuvent mettre en évidence un défaut d'oxygénation du bac ou un déséquilibre de la flore bactérienne. Ainsi, ces mesures sont souvent en lien avec des analyses bactériologiques (Hadfield et al., 2007 ; Blanc, 2018).

2. Test à la fluorescéine

En pratique vétérinaire, la fluorescéine est utilisée sous forme de collyre. Elle permet un diagnostic définitif lors de suspicion d'ulcère cornéen en médecine canine. D'après le RCP du collyre, son utilisation se présente sous forme de test pour confirmer la présence d'un ulcère cornéen. Le produit prend une coloration jaune fluo au contact de liquide. En cas de lésions cornéennes, la fluorescéine reste fixée sur les cellules de l'épithélium cornéen lésé ou sur le stroma. Macroscopiquement, un test positif se caractérise par la persistance de tâches jaune fluo après rinçage du produit à l'eau claire. En cas de doute, les tâches peuvent être mises en évidence par éclairage UV (d'après le RCP).

Le test à la fluorescéine peut être mis en pratique chez les poissons pour la détection d'ulcères cornéens, de desmécèles ou de perforations de la cornée (Fig. 21). Ce test est intéressant lors de kératites et d'opacifications cornéennes (Whitaker, 2001). Avant le test, la cornée doit être rincée à l'eau claire sans agent anesthésique afin de favoriser la fixation de la molécule. Pour surveiller le processus de cicatrisation, il est intéressant de faire des tests régulièrement. Théoriquement, la tricaine peut interférer avec les tâches présentes sur la peau provoquant également une absorption du produit à l'origine de faux négatifs. Sur des

ulcères cornéens, les tâches ont des contours nets de formes variables et d'aspect lisse. En cas d'opacification cornéenne sans ulcère associé, des tâches granulaires apparaissent quelques minutes après l'application du produit, indiquant que les jonctions serrées de l'épithélium cornéen sont endommagées (Parker-Graham et al., 2022).

Une alternative à la fluorescéine est le rose de Bengal mais il reste moins utilisé en pratique (Whitaker, 2001).

3. Mesure de la pression intra-oculaire

Lors de suspicion de glaucome, une mesure de pression intra-oculaire est intéressante. Les techniques de tonométrie par aplanation ou rebond sont également utilisables chez les poissons (Yaşar et al. 2021) (Fig. 58). D'après Keeney et al. (2019), une PIO en conditions physiologiques chez la truite mouchetée (*Salvelinus fontinalis*) se situe autour de 9 mmHg. Le facteur limitant peut-être la taille de la cornée chez les petites espèces. Lors de la mesure de la PIO, il faut mettre le poisson dans une position physiologique pour ne pas obtenir des valeurs faussées.

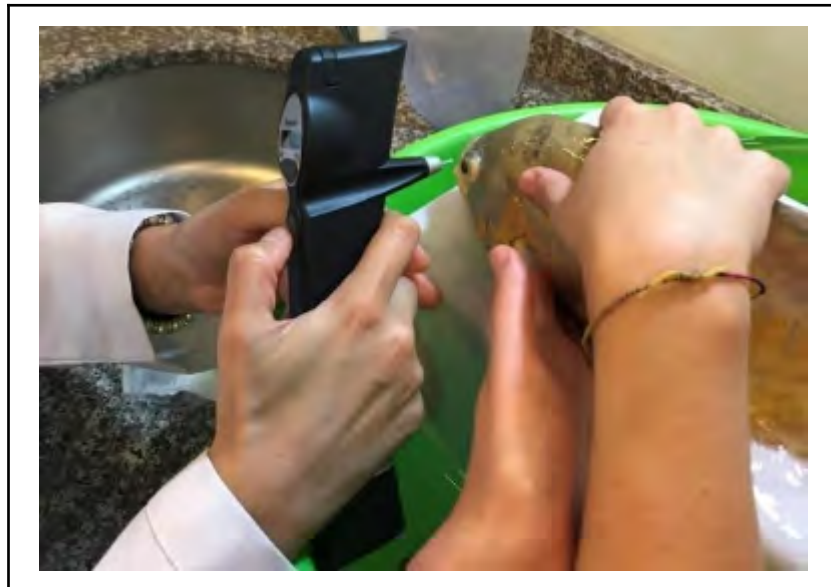


Fig. 58 : Mesure de pression intra-oculaire avec un tonomètre sur un oscar (*Astronotus ocellatus*). D'après Yaşar et al. (2021).

4. Prélèvement de routine

Les prélèvements de routine correspondent à des gestes généralement peu invasifs réalisés sur animal vigile ou sédaté. Ils constituent une extension de l'examen clinique général. De plus, une partie peut être réalisée en cabinet vétérinaire voire au sein de certains grands aquariums disposant d'un laboratoire (Blanc, 2018).

Chez un poisson osseux, on distingue quatre prélèvements de routine de base : le raclage cutané, le prélèvement de nageoire, le prélèvement branchial et le prélèvement de fèces. Ils sont systématiquement réalisés lors d'une consultation en aquariophilie. Sur une atteinte oculaire, on peut ajouter un raclage cornéen à l'aide d'une lame de scalpel ou des frottis d'impression (Southgate, 2001).

5. Imagerie

a) *Radiographie*

Il est possible dans le cadre d'un diagnostic ophtalmique de réaliser des radiographies sous sédation. Elles sont intéressantes surtout sur des poissons de grand format. En effet, sur des petits poissons, il est difficile de centrer les radiographies en région crâniale. Généralement, la radiographie est recommandée lors de suspicion d'une atteinte musculo-squelettique, par exemple en cas de tumeur osseuse rétro-bulbaire. À la radiographie, on peut observer l'espace rétro-bulbaire et délimiter de potentielles bulles d'air au sein des tissus mous.

Lors de la réalisation des radiographies, le poisson peut être sorti de l'eau trois à cinq minutes mais il doit être remis dans le bac d'anesthésie pour éviter les réveils brusques. Selon les incidences voulues, on peut utiliser des cellules en mousse qui maintiennent le poisson dans une position. Ces cellules en mousses sont utiles par exemple lors des incidences dorso-ventrales (Parker-Graham, 2022).

b) *Échographie*

L'échographie est aussi utile pour orienter le diagnostic. Les ultrasons sont facilement conduits dans les milieux aquatiques, ainsi, la sonde échographique n'est pas nécessairement au contact du poisson pour obtenir des images (Fig. 59). Il suffit juste de placer la sonde à quelques centimètres de la zone d'intérêt. Cela rend cet examen peu invasif et peu douloureux pour le poisson. De plus, sur des animaux facilement manipulables, l'anesthésie n'est pas indispensable.

De même que la radiographie, l'échographie permet une distinction entre le tissu mou et le gaz. En plus, elle permet la mise en évidence de décollement ou atteinte rétinienne, des changements de structure du cristallin ou des tissus mous comme les dépôts fibrineux ou les hémorragies. Lors d'opacification cornéenne, l'échographie permet d'observer la chambre postérieure. Finalement, l'échographie sert aussi à guider les ponctions intra-oculaires ou rétro-bulbaires (Parker-Graham et al., 2022).

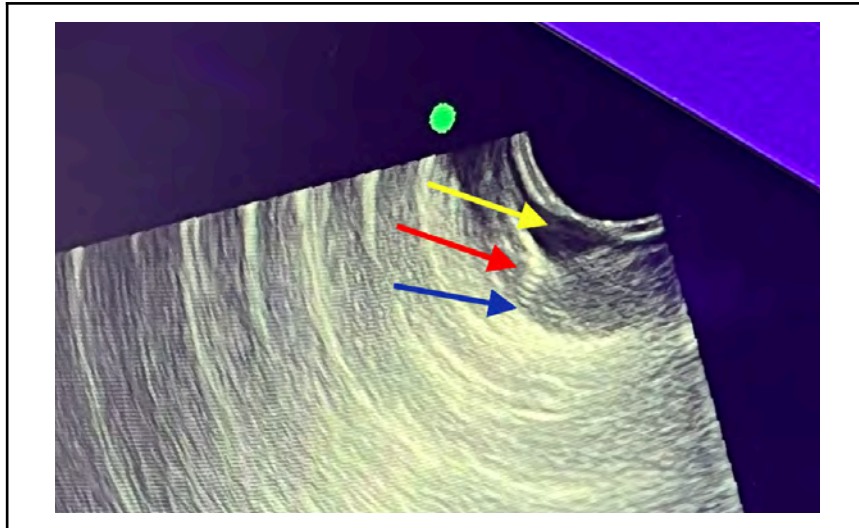


Fig. 59 : Échographie sur un œil sain de poisson chirurgien olive (*Acanthurus olivaceus*). On observe le cristallin (flèche jaune), l'humeur vitrée (flèche rouge) et la rétine (flèche bleue).

Source : Institut Océanographique de Monaco, image utilisée avec autorisation.

6. Ponction rétro-orbitaire

a) *Principe*

La ponction rétro-orbitaire est une méthode de prélèvement à l'aiguille fine, en arrière du globe oculaire dans le but de réaliser des analyses bactériologiques, cytologiques, ou microscopiques. C'est un examen de choix en cas d'exophtalmie. En effet, l'espace rétrobulbaire est sujet à l'accumulation de tissu graisseux ou de pathogènes (parasites, champignons ou bactéries) à l'origine d'exophtalmie. Lors de suspicion de maladie de bulle de gaz, la ponction objective la présence d'air dans l'espace rétro-bulbaire.

C'est un examen invasif, qui doit être réalisé sur un animal anesthésié. Cette technique peut provoquer des hémorragies intra-oculaires, un hyphéma, des infections secondaires ou des caillots. C'est pourquoi elle est peu utilisée en première intention (Parker-Graham et al., 2022).

b) *Anesthésie*

Comme indiqué, la ponction est réalisée sur un animal anesthésié. Pour atteindre ce stade, on peut utiliser des molécules anesthésiques (anesthésie chimique), une hypothermie, une exposition à un courant électrique (électroanesthésie) ou une saturation en dioxyde de carbone. La méthode de choix en pratique vétérinaire reste l'utilisation de molécules anesthésiques. Les deux principales voies d'administration sont la balnéation et les injections (Blanc, 2018). Pendant l'anesthésie les paramètres de l'eau doivent être contrôlés, plus particulièrement la disponibilité en O₂ dissous et le relargage des déchets azotés comme l'ammoniac. Une fois l'anesthésie lancée, il y a une diminution de la fréquence respiratoire. C'est pourquoi, il est conseillé de fournir un système d'aération continu de type bulleur. De plus, il faut éviter les augmentations de la température du bac car elles modifient la solubilité de l'O₂ et augmentent les besoins métaboliques (Neiffer et al., 2009).

Dans le cadre de la ponction rétro-bulbaire, il faut attendre que l'animal ait atteint un certain stade anesthésique avant de réaliser le geste. Comme il s'agit d'un geste peu invasif

et rapide par rapport à une énucléation, une légère anesthésie suffit (soit stade III-1 sur le tableau 5).

Tableau 5 : Stades anesthésiques chez le poisson. D'après Ross (2001), Blanc (2018) et Sneddon (2012).

Stade anesthésique		Niveau d'anesthésie	État général	Équilibre	Fréquence respiratoire
0		Aucun	Normal	Normal	Normale
I		Sédation légère	Désorienté, calme	Normal	Normale
II		Excitation	Excité	Difficile	Augmentée
III	1	Anesthésie légère	Anesthésié	Absent	Diminuée
	2	Anesthésie chirurgicale	Anesthésié	Absent	Diminuée et superficielle
	3	Anesthésie profonde	Anesthésié	Absent	Rares mouvements
IV		Overdose	Apparemment mort	Aucun	Absente

En plus de l'anesthésie générale, il est possible de mettre en place une anesthésie locale avant de réaliser la ponction. La lidocaïne est le principal anesthésique local mentionné dans la littérature. Elle s'applique au niveau du site d'injection avant de réaliser la ponction (Chatigny et al., 2017). D'après les différentes études disponibles, la lidocaïne est utilisée au niveau du site d'intervention à une dose de 2 mg/kg. Une autre molécule anesthésique est utilisée en pratique, la proparacaine. Cette molécule convient surtout lors d'application ophtalmique dans le cadre d'une lensectomie par exemple (Pujol et al., 2023).

c) Mode opératoire

Le prélèvement s'effectue grâce à une aiguille fine (environ 0,3 mm de diamètre). Le site d'injection doit être désinfecté préalablement à l'aide de chlorhexidine. Après retrait de l'aiguille, on peut appliquer de la colle de cyanoacrylate pour assurer l'étanchéité du site de ponction (Whitaker, 2001) (Fig. 60).



Fig. 60 : Ponction rétrobulbaire chez un sébaste canari (*Sebastes pinniger*) atteint d'une maladie des bulles de gaz. D'après Parker-Graham et al. (2022), photographie de J.Gerlach.

7. Autopsie

L'autopsie est un examen post-mortem caractérisé par une appréciation macroscopique des différents organes. Sa réalisation dépend des conditions initiales. Sur une affection oculaire affectant plusieurs individus avec une origine systémique suspectée, il est possible d'euthanasier les individus les plus touchés. Ainsi, la visualisation de lésions parfois pathognomoniques aide au diagnostic final (Noga, 2000). Lors d'affection sporadique elle est moins indiquée. En effet, sur les poissons d'ornements l'autopsie soulève des problèmes éthiques. Cependant dans certaines situations, on peut réaliser une euthanasie en vue d'une autopsie, par exemple en cas de forte mortalité (Blanc, 2018).

L'autopsie doit être réalisée le plus tôt possible après la mort de l'animal. Lorsqu'un animal est retrouvé mort dans un bac, l'examen sera par conséquent moins fiable. En effet, dans l'eau, la décomposition et les contaminations sont plus rapides que dans l'air. Il y a aussi un risque d'avoir des prédateurs dans le bac qui dégradent l'état du cadavre. De plus, il est important de prendre des photographies pendant la procédure. Cela permet de garder une trace des lésions observées (Blanc, 2018).

Afin d'éviter les oublis, un compte-rendu regroupant les anomalies observées est rédigé. En plus de l'appréciation macroscopique, l'autopsie sert à effectuer divers prélèvements pour différentes analyses complémentaires. C'est pourquoi l'autopsie constitue un examen méthodique qui peut grandement orienter le diagnostic final. L'ensemble de la procédure d'autopsie sur un poisson ne sera pas détaillé. Cependant, les principales étapes sont les suivantes (Southgate, 2001) :

- Réalisation d'une examination externe. Le poids, la taille et la longueur sont mesurés. Les éventuelles lésions cutanées sont rapportées (tégument, nageoires et yeux) (Fig. 61). Dans le cadre d'une atteinte oculaire, il est possible de prélever le globe oculaire pour une analyse bactériologique ou histologique.
- Réalisation de lames à partir de prélèvements de branchies et de mucus (raclage cutané). Cette étape évalue les ectoparasites présents. Elle reste cruciale même si l'hypothèse parasitaire n'est pas émise. En effet, une infestation parasitaire massive favorise les complications oculaires. Sur une atteinte cornéenne, on peut ajouter un raclage cornéen à l'aide d'une lame de scalpel pour faire une analyse cytologique (Whitaker, 2001).
- Réalisation d'un examen interne. L'anatomie est souvent propre à chaque espèce. C'est pourquoi, une connaissance des particularités anatomiques aide pour l'identification des lésions. Cette étape est parfois difficile sur des petits formats. D'autres prélèvements sont importants. Par exemple, on peut prélever du contenu digestif pour observer des parasites. En cas d'analyses histologique, virologique ou bactériologique, les prélèvements sont principalement envoyés dans des laboratoires spécialisés.



Fig. 61 : Autopsie d'un poisson Saint-Pierre (*Zeus faber*). À l'examen externe on note la présence de plaques d'ulcérations cutanées associées à un hyphéma sur l'œil gauche.

Source : Institut Océanographique de Monaco, image utilisée avec autorisation.

8. Analyses

a) Cytologie

Les analyses cytologiques sont prélevées par ponction à l'aiguille fine, ou à l'aide d'une seringue par exemple lors de ponction rétro-bulbaire. Pour certaines lésions de surface, un calque sur lame peut être réalisé. En pratique, lors d'atteinte oculaire, une analyse histopathologique est privilégiée. En effet, elle permet de conserver les structures anatomiques (Blanc, 2018).

b) Histopathologie

Cet examen est souvent réalisé dans un laboratoire spécialisé. Ainsi, le prélèvement doit être bien conservé. La solution la plus utilisée est une solution de formol diluée à 10% (Blanc, 2018). Les tissus sont envoyés moins de 24 heures après le prélèvement. C'est un examen de choix sur des poissons de petites tailles lorsque l'autopsie est difficile. Il est intéressant d'envoyer l'œil atteint dans son intégralité afin de localiser les structures atteintes et l'agent en cause (Fig. 62). Cette pratique est intéressante suite à une énucléation par exemple. Avant observation des lames histologiques, certaines colorations sont parfois utilisées pour démontrer la présence de bactéries. Lors d'infection à des mycobactéries, il est intéressant de réaliser en parallèle une immunohistochimie (Southgate, 2001).

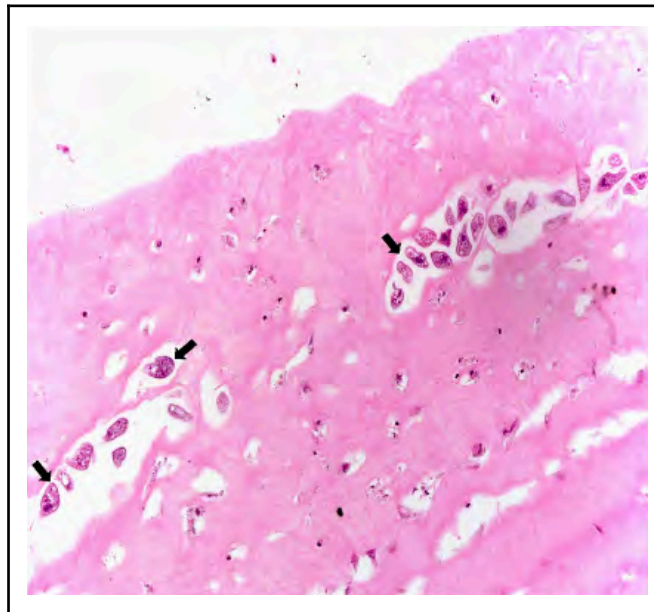


Fig. 62 : Coupe histopathologique de scuticociliatose sur une cornée de chinchard (*Trachurus trachurus*). Scuticociliatose unicellulaire avec des protoplasmes vacuolés basophiles contenant des organites granulaires éosinophiles et un noyau unique (flèches noires) enchâssé dans le stroma cornéen oedématisé. Grossissement x200. D'après Kumaratunga et al. (2022).

c) Bactériologie

Les poissons sont naturellement en contact avec une flore bactérienne environnementale dont certaines bactéries sont naturellement impliquées dans des pathologies. Cependant lors d'analyses la contamination bactérienne des échantillons pose problème pour le diagnostic final. Les risques de contamination sont plus importants si les prélèvements sont effectués au niveau de la peau, des branchies ou des yeux. Du fait d'une multiplication post mortem rapide, les prélèvements sur les autopsies doivent se faire dans un bref délai après la mort de l'individu (Southgate, 2001).

Avant d'effectuer le prélèvement, une stérilisation des outils est nécessaire. Sur une ponction rétro-bulbaire ou intra-oculaire lors d'autopsie, l'aiguille est brûlée avant le prélèvement pour éviter les contaminations. En cas de suspicion d'atteinte oculaire secondaire à une septicémie, les échantillons sont prélevés sur différents organes. L'organe

de choix pour cette investigation est le rein. Concernant le système nerveux central, les prélèvements sont réalisés après extériorisation en ouvrant la boîte crânienne. Les prélèvements d'organes internes peuvent être réalisés par endoscopie ou biopsie, mais les risques de contaminations restent non négligeables. Le prélèvement est placé à température ambiante jusqu'à réception au laboratoire ou réfrigéré. Il existe par ailleurs, des milieux de transport spécifiques aux bactéries marines (Blanc, 2018).

La plupart des bactéries pathogènes pour les poissons sont cultivables dans les milieux de culture standards. Le milieu le plus utilisé est la gélose trypticase-soja à une température d'incubation standard de 22°C. Certaines bactéries demandent des conditions de cultures plus strictes. C'est pourquoi, le milieu de culture s'adapte selon les hypothèses diagnostiques. Lorsqu'une population bactérienne est isolée, il faut d'abord s'assurer qu'elle est responsable des signes cliniques. Il existe en pratique une série de tests pour identifier une population bactérienne (test d'oxydase, coloration de Gram, coloration de Ziehl-Neelsen, etc.) (Southgate, 2001).

Lors d'infection bactérienne, un antibiogramme peut s'ajouter à la culture. L'antibiogramme aide à la sélection d'un traitement adapté notamment en cas de résistances bactériennes ou d'échec thérapeutique. Pour rappel, l'antibiogramme est obligatoirement réalisé en cas d'utilisation d'antibiotiques critiques.

d) Sérologie

Les analyses sérologiques sont parfois une bonne alternative aux cultures bactériennes. Cependant, les kits de tests sérologiques sont limités à certaines bactéries pathogènes des poissons. Chez les poissons d'ornement, certains kits ELISA pour les *Vibrio spp.* sont utilisés (Southgate, 2001)

e) Mycologie

Les cultures fongiques sont plus rares chez les poissons. D'une part, à cause de la difficulté à cultiver les champignons. D'autre part, à cause des contaminations bactériennes fréquentes. L'identification des espèces repose sur une analyse en laboratoire spécialisé. De plus, les infections fongiques sont souvent visibles macroscopiquement (Blanc, 2018).

f) Virologie

Les analyses virologiques sont réalisées par des laboratoires spécialisés car elles demandent un matériel spécifique. Lors de suspicion d'infection virologique, il est recommandé de prendre contact avec le laboratoire afin de connaître les modalités de prélèvements. Les tests les plus utilisés sont l'immunofluorescence, la PCR, l'isolement. Généralement, la congélation suffit pour l'envoi des échantillons (Blanc, 2018).

C. Traitements disponibles et mesures de prévention

La dernière étape d'une consultation consiste à mettre en place des mesures thérapeutiques. Selon l'état clinique et l'évolution des atteintes, les traitements sont instaurés avant les résultats des examens complémentaires. Dans ce cas, le traitement est principalement symptomatique et/ou probabiliste. Un traitement probabiliste est également

possible si les résultats des examens complémentaires ne permettent pas d'obtenir un diagnostic final. Suite à ces mesures thérapeutiques, il est important de mettre en place un suivi du ou des poissons atteints. Cela limite notamment les risques de récives. Par ailleurs, les traitements sont aussi adaptés selon les propriétaires, leurs coûts et leur administration. À noter qu'une particularité de la médication des poissons est qu'il faut prendre en compte l'environnement aquatique. En effet, certains traitements entraînent une modification de paramètres de l'aquarium. De plus, une partie des propriétaires ont accès à domicile à certains médicaments. Il est possible d'avoir en consultation des poissons ayant déjà eu des traitements (Wildgoose et al., 2001).

Dans cette partie, seront uniquement présentées les options thérapeutiques pour traiter une atteinte oculaire. Lorsque les signes oculaires sont secondaires à une cause primaire systémique, les traitements de la cause initiale ne sont pas abordés. Enfin, le dernier point clôturant la partie bibliographique, s'intéresse aux mesures de préventions limitant l'apparition des lésions oculaires.

1. Les thérapies environnementales

Les thérapies environnementales consistent à modifier certains paramètres extérieurs afin de faciliter la guérison du poisson. Ces thérapies sont faciles à mettre en place, peu invasives et peuvent cibler une population donnée. Cependant elles ne sont applicables qu'à certaines affections parasitaires.

a) Salinité

Une augmentation de la salinité est intéressante chez les espèces d'eau douce. On peut ajouter du chlorure de sodium jusqu'à obtenir une salinité entre 3 à 5 g/L. On réduit alors la pression osmotique et le stress chez le patient en cours de guérison. L'augmentation doit être progressive soit 1 g/l toutes les 24 à 48 heures. De même à la fin de la guérison, on réduit la salinité au même rythme. En pratique, cette méthode est utilisée lors de maladie des points blancs (Parker-Graham et al., 2022).

Chez les espèces marines, l'inverse est également possible. Sur certaines affections oculaires aux trématodes, le poisson est plongé dans un bain d'eau douce pendant 3 à 15 minutes. Ce choc osmotique favorise le détachement des parasites (Whitaker, 2001).

b) Éclairage

Deux interventions au niveau des éclairages existent d'après la littérature scientifique. D'abord on peut réduire l'éclairage. Sur des atteintes d'origine environnementale comme une cataracte causée par les UV, la réduction du rayonnement aide à la rémission clinique (Wilkie, 1986 ; Duijn, 1973 ; Parker-Graham et al., 2022). Enfin, on peut augmenter l'éclairage. Lors d'infection virale, les radiations UV sont efficaces pour limiter la transmission. Au cours de son utilisation, il faut mettre les individus sous surveillance pour éviter les complications. De plus, cette méthode doit être associée à un traitement thérapeutique (Woo et al., 1999).

c) *Chambre hyperbare*

Lors de maladie des bulles de gaz, l'état de stress systémique chez l'animal justifie la mise en place d'un traitement. L'une des solutions thérapeutiques consiste à placer le poisson dans une chambre hyperbare (Fig. 47). La pression y est augmentée progressivement jusqu'à la résolution totale ou partielle de l'exophtalmie. La pression thérapeutique, d'après Parker-Graham et al. (2022), doit être autour de 1500 mmHg (ou 2 bar) sur les espèces tropicales vivant à faible profondeur (autour de 20 m). Sur les espèces des eaux plus froides vivant dans des eaux plus profondes (autour de 30 m), la pression thérapeutique doit être autour de 2000 mmHg (ou 3 bar). Pour les espèces tropicales, on maintient la pression thérapeutique pendant 12 à 24 h tandis que pour les espèces en eaux froides on la maintient pendant 3 à 5 jours. A la fin de la période de traitement, on remonte progressivement la pression : 100 à 150 mmHg toutes les 30 minutes à 2h pour les espèces tropicales et 50-100 mmHg toutes les 1 à 2h. Ensuite le poisson est remis à la pression ambiante en surveillant son ajustement et sa flottabilité.

d) *Les agents environnementaux*

Les principaux agents désinfectants sont utilisés sur les différentes infrastructures/bassins pour limiter la propagation d'un agent infectieux. Ils sont utilisés en balnéation après retrait des êtres vivants du bac (Tableau 6).

Tableau 6 : Principaux agents désinfectants utilisés en médecine aquacole.

Ba : Balnéation. D'après Blanc (2018), Carpenter et al. (2018) et Wildgoose et al. (2001).

Molécules	Voies d'administration	Cibles et Commentaires
Chlorure de benzalkonium	Ba	Désinfectant à spectre large.
Chloramine-T	Ba	Agent désinfectant pour les parasites externes et les bactéries
Thiosulfate de sodium	Ba	Neutralise les dérivés chlorés.
Zéolite	Ba	Fixe l'ammoniac.
Charbon actif	Ba	Fixe les molécules toxiques
Peroxyde d'hydrogène	Ba	Augmente le taux de dioxygène dissout
Dioxygène	Ba	Augmente le taux de dioxygène dissout
Tourbe et tanins	Ba	Effet acidifiant du milieu et désinfectant léger.
Bicarbonate de sodium	Ba	Effet tampon sur le pH.

2. Les thérapies médicamenteuses

a) *Les voies d'administration*

Plusieurs voies d'administration peuvent être utilisées en aquarium. Le choix d'un mode d'administration repose sur différents facteurs : localisation de la cause primaire, praticité pour les propriétaires, stress du poisson, etc.

(1) Balnéation

La balnéation consiste à ajouter le principe actif directement dans l'eau de l'aquarium. Ce mode d'administration s'applique surtout lors d'infestations par des ectoparasites ou des infections fongiques. Une partie du principe actif peut quand même être absorbée par les branchies ou la voie orale. Ainsi, l'administration de traitements par balnéation est intéressante lors de kératite d'origine fongique ou parasitaire (Wildgoose et al., 2001).

L'administration d'antibiotiques est moins conseillée par balnéation. En effet, ils peuvent dégrader les filtres biologiques. De plus, les données pharmacocinétiques des antibiotiques par balnéation chez les poissons d'ornement sont rares. Les seules connaissances concernent l'enrofloxacin, l'oxytétracycline et le florfenicol. Elles tendent à montrer de grandes disparités d'absorption selon les espèces. Toutefois, la balnéation reste intéressante sur de petites espèces lorsqu'on veut traiter l'ensemble d'une population (Roberts et al., 2009).

Deux types de balnéation existent chez les poissons. La première consiste en un bain de courte durée à forte concentration. Souvent, elle est associée à une eau de pauvre qualité favorisant le stress du poisson. La seconde consiste en une exposition plus longue sur de faibles concentrations. Cependant, pour beaucoup de médicaments, les effets sur le long terme sont inconnus. Lors de bains permanents, il est important de connaître le volume exact du bassin pour éviter les erreurs de dosage. Au cours d'une balnéation, le poisson est mis sous surveillance. Certaines molécules sont dégradées à la lumière comme la chloramine-T. Leur utilisation n'est donc pas intéressante sur des bassins extérieurs. La balnéation est surtout intéressante sur des bacs de faibles volumes où les paramètres environnementaux sont facilement surveillés ou contrôlés (Wildgoose et al., 2001).

(2) Voie orale

L'administration d'un médicament par voie orale peut s'effectuer à travers l'alimentation ou le gavage. Cette voie est intéressante lors d'atteinte oculaire bilatérale associée à une cause primaire systémique.

L'utilisation d'un aliment médicamenteux est l'une des pratiques les moins stressantes pour les poissons. Le principe actif est mélangé à un aliment puis distribué aux poissons pendant la durée du traitement. Cette pratique est utile à mettre en place lorsque les poissons mangent correctement. De plus, elle est facilement applicable à domicile. Ce mode d'administration concerne surtout les antibiotiques, les antiparasitaires et les vitamines. Sur de gros formats, le médicament est directement intégré dans la nourriture. Pour garantir la prise alimentaire, il est recommandé de mettre les poissons à jeun 24 heures avant l'administration. Pour la préparation d'un aliment médicamenteux, il faut calculer un taux d'inclusion. Celui-ci dépend du poids total de la population à traiter et de la

fréquence de nourrissage. Lorsque le poids total est inconnu, on considère que le médicament correspond à 1% de la quantité totale d'aliment distribué. La nourriture est retirée cinq minutes après son administration (Wildgoose et al., 2001). L'inconvénient majeur est que la totalité du lot risque de ne pas être traitée. Si certains individus ne mangent pas, ils ne recevront pas le traitement. Cette méthode impose aussi de préparer une certaine quantité à l'avance augmentant les risques de gâchis (Wetzel, 2013).

Sur des cas sporadiques, les médicaments par voie orale peuvent être administrés par gavage. C'est un moyen de contrôler la quantité administrée. C'est un geste technique qui nécessite une bonne contention et souvent une anesthésie (Blanc, 2018). La technique comprend une intubation oesophagienne à l'aide d'une sonde de gavage de taille adaptée à l'animal. Certains poissons possèdent une mâchoire pharyngienne nécessitant une sonde métallique. Le gavage est intéressant sur des individus anorexiques ou lorsque le médicament est peu appétant. Il est souvent mélangé à de la nourriture. Cela stimule le transit et l'absorption intestinale. Sur des animaux sédatisés, il y a un risque de régurgitation (Wildgoose et al., 2001).

(3) Voie injectable

La voie injectable permet d'administrer une dose précise d'une molécule. Elle est utile pour optimiser l'absorption d'un antibiotique par exemple ou bien lorsque la voie orale est peu efficace. Cette voie d'administration est utilisée pour les antibiotiques (Wildgoose et al., 2001). Différents sites d'injections sont possibles chez le poisson, ceux-ci sont indiqués sur la figure 63.

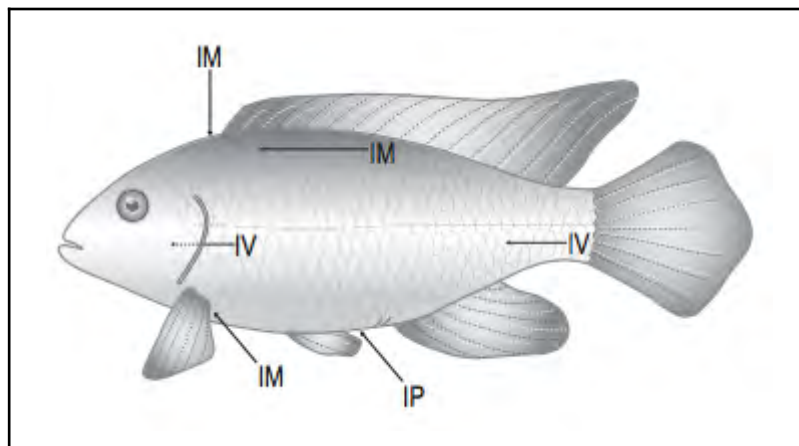


Fig. 63 : Sites d'injection chez le poisson. IM = Intramusculaire, IV = Intraveineux, IP = Intrapéritonéal (intracoelomique). D'après Fiddes (2008).

(4) Voie topique

La voie topique est surtout appliquée sur des atteintes tégumentaires. Ainsi, les traitements topiques sont recommandés lors d'atteinte oculaire superficielle sans répercussions sur l'état général comme un ulcère cornéen d'origine traumatique. Avec la voie topique, des antibiotiques ou des agents désinfectants sont appliqués (Fig. 64) (Wildgoose et al., 2001). Il existe peu d'AMM chez le poisson. Les antibiotiques topiques utilisés proviennent de la médecine canine. Par ailleurs, les traitements topiques sont

difficiles à mettre en place à cause du mode de vie aquatique. En pratique, ils sont utilisés lors d'une anesthésie après séchage préalable de la zone atteinte. Il faut laisser agir le traitement au moins une minute. L'adhésion et la rétention du médicament sur le site d'application, requiert l'utilisation de composés résistants à l'eau avant de remettre le poisson à l'eau (Orabase® ou Orahesive®) (Parker-Graham et al., 2022).



Fig. 64 : Vivaneau (*Rhomboplites aurorubens*) sédaté recevant un traitement antibiotique topique sur une exophtalmie d'origine traumatique. D'après Henderson et al. (2019).

b) L'acétazolamide

Elle agit comme inhibiteur de l'anhydrase carbonique. Une augmentation de la concentration en anhydrase carbonique survient lors de dérèglements des paramètres sanguins tel que le pH, mais aussi lors de maladie des bulles de gaz. Lorsque cette situation est suspectée, un traitement à base d'acétazolamide (Diamox®) est utilisé. Le Diamox® s'administre par voie intramusculaire à une dose de 6 mg/kg toutes les 24 heures. En pratique, le médicament est utilisé lors d'exophtalmies causées par une maladie des bulles de gaz. Les réponses à ce traitement restent toutefois variables (Parker-Graham et al., 2022).

c) Les antibiotiques

Idéalement le traitement antibiotique est mis en place après une identification bactérienne voire un antibiogramme. Si on met en place un traitement probabiliste, celui-ci est adapté selon les signes cliniques. Lors d'atteinte systémique, les antibiotiques larges spectres sont privilégiés. De plus, ils sont souvent utilisés hors AMM chez les poissons. Lors d'uvéites, les bactéries Gram - restent le plus souvent incriminées. De manière générale, les traitements antibiotiques sont recommandés lors de maladie des bulles de gaz afin de limiter le risque de surinfection (Parker-Graham et al., 2022). Les molécules antibiotiques utilisées pour les poissons d'ornement sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Principales molécules antibiotiques utilisées en médecine aquacole.

IM : Intramusculaire, IV : Intraveineux, PO : Per os, IP : Intrapéritonéal, Ba : Balnéation, To : Topique. D'après Blanc (2018), Henderson et al. (2019), Carpenter et al. (2018) et Wildgoose et al. (2001).

Molécules	Voies d'administration	Cibles et Commentaires
Amoxicilline	IM, IV, PO	β -lactamines à spectre large (plutôt Gram +).
Ampicilline	IM, IV, PO	β -lactamines à spectre large (plutôt Gram +).
Amikacine	IM, IP	Aminosides à spectre large.
Gentamicine	IM, IP	Aminosides à spectre large.
Néomycine	Ba, To	Aminosides à spectre étroit Gram -.
Enrofloxacin	Toutes	AIC. Germes aérobies (Gram + et -).
Marbofloxacin	Toutes	
Erythromycine	PO, IM	Macrolides spectre large. En balnéation, détruit les filtres biologiques.
Azithromycine	PO, IP	
Chloramphenicol	PO, IM, IP	Phénicolé à large spectre (toxicité pour l'utilisateur).
Florfenicol	PO, IM, IP	AMM disponible pour les poissons. Phénicolé à large spectre.
Oxytétracycline	Toutes	Tétracyclines large spectre (mais de nombreuses résistances). Sensible à la lumière.
TMPS	PO, Ba	AMM disponible pour les poissons. Sulfamides (sulfaméthoxazole ou sulfadiazine), large spectre.
Nitrofuranes	Ba, To	Furaladone et furazolidone. Antibiotiques inactivés par la lumière.
Sulfadiazine argentique	To	Antibiotique et désinfectant (ulcères et surinfections bactériennes)
Oflaxacine	To	Fluoroquinolone. Actif surtout sur les Gram -.

d) Les antiparasitaires

Dans le cadre d'atteinte oculaire d'origine parasitaire, le traitement le plus efficace est le praziquantel. L'objectif n'est pas d'éradiquer le parasite mais de réduire la charge parasitaire responsable des signes cliniques. Sur un traitement probabiliste d'une infection bactérienne, il est intéressant d'utiliser le métronidazole pour exclure la cause parasitaire (Parker-Graham et al., 2022). Les principales molécules antiparasitaires sont listées dans le tableau 8.

Tableau 8 : Principales molécules antiparasitaires utilisées en médecine aquacole.

IM : Intramusculaire, PO : Per os, Ba : Balnéation, To : Topique. D'après Blanc (2018), Carpenter et al. (2018) et Wildgoose et al. (2001).

Molécules	Voies d'administration	Cibles et Commentaires
Fenbendazole	PO, Ba	Nématodes et trématodes non enkystés, certains protozoaires.
Mébandazole	PO, Ba	Nématodes et trématodes non enkystés (embryotoxique).
Praziquantel	PO, Ba, IM	Vers plats.
Lévamisole	Toutes	Ectoparasites et parasites libres. Bain flash sous surveillance.
Toltrazuril	Ba	Certains protozoaires.
Lufénuron	Ba	Crustacés ectoparasites.
Métronidazole	Ba	Protozoaires digestifs, externes et digestifs. Activité bactéricide à spectre large.
Emamectine	PO	Ectoparasites.
Acide acétique	Ba	Trématodes et crustacés. Utiliser le produit réfrigéré pour un choc thermique associé.
Chloroquine/Quinine	Ba	Ectoparasites, protozoaires.

e) Les antifongiques

Les infections fongiques intraoculaires restent rares chez les poissons d'aquarium. En ophtalmologie aquacole, les affections fongiques proviennent surtout d'une invasion cornéenne secondaire à une infection externe. Sur les infections fongiques externes, il faut privilégier le bronopol. D'autres molécules aux propriétés antifongiques sont utilisées en pratique : le vert de malachite et le formalin (sous forme de bain). Les deux premières

molécules du tableau 9 sont surtout conseillées lors d'affections fongiques internes (Whitaker, 2001).

Tableau 9 : Principales molécules antifongiques utilisées en médecine aquacole.

IM : Intramusculaire, PO : Per os, Ba : Balnéation, IP : Intrapéritonéal. D'après Blanc (2018), Carpenter et al. (2018) et Wildgoose et al. (2001).

Molécules	Voies d'administration	Cibles et Commentaires
Kétoconazole	PO, IM, IP	Infections fongiques systémiques.
Itraconazole	PO	
Bronopol	BA	AMM chez les poissons. Infections fongiques externes.

f) Les antiviraux

Lors d'infection virale systémique ou localisée, il n'existe pas de traitements spécifiques. Les molécules utilisées servent à limiter la propagation du virus ou bien la réduction des signes cliniques. D'après J. Blanc (2018), l'aciclovir agit comme un antiviral lors d'infection localisée. Cette molécule est administrée par balnéation ou par voie topique. Cependant il n'y a pas d'informations dans la littérature scientifique sur son efficacité dans le cadre d'atteinte oculaire.

g) Les anti-inflammatoires stéroïdiens et non stéroïdiens

L'administration d'anti-inflammatoires est intéressante pour prendre en charge la douleur. Sur des uvéites, ils sont recommandés par voie systémique. Ils sont souvent couplés à des traitements antibiotiques pour limiter les risques de surinfections. Ils sont toujours utilisés hors AMM (Tableau 10)(Parker-Graham et al., 2022).

Tableau 10 : Principales molécules anti-inflammatoires utilisées en médecine aquacole.

IM : Intramusculaire, IV : Intraveineux, IP : Intrapéritonéal. D'après Blanc (2018), Carpenter (2018) et Wildgoose et al. (2001).

Molécules	Voies d'administration	Cibles et Commentaires
Méloxicam	IM	AINS, effet anti-inflammatoire.
Kétoprofène/Carprofène		
Flunixin méglumine		
Dexaméthasone	IM, IV, IP	AIS. Utilisé en cas de choc, traumatisme, stress intense

h) Les autres molécules

Dans ce dernier point, les autres molécules concernent celles ayant des propriétés mixtes, par exemple une activité antifongique et antibactérienne (Tableau 11).

Tableau 11 : Autres molécules utilisées en médecine aquacole.

Ba : Balnéation, To : Topique. D'après Blanc (2018), Carpenter et al. (2018) et Wildgoose et al. (2001).

Molécules	Voies d'administration	Cibles et Commentaires
Vert de Malachite	Ba	Protozoaires et agents fongiques
Bleu de méthylène		Infections fongiques et bactériennes externes. Toxicité sur les filtres biologiques.
Formol		Infections fongiques externes et ectoparasites. Produit dangereux pour l'utilisateur et les poissons (cancérigène et mutagène). Utilisé en désinfectant.
Povidone iodée	To	Désinfection de plaies
Chlorhexidine		Désinfection de plaies et ulcères. Ne pas mettre en contact avec les branchies ni les yeux.
Acriflavine	Ba	Désinfectant large spectre, actif sur les agents fongiques

3. Les thérapies chirurgicales

Les thérapies chirurgicales sont surtout utilisées en dernier recours en médecine aquacole. Une chirurgie est indiquée lorsqu'il n'y a pas eu de réponses aux thérapies médicales et environnementales. Malgré une absence de réponse aux précédents traitements, la chirurgie est mise en place lorsque le confort de l'animal est remis en question. La décision de chirurgie peut être motivée par les propriétaires ou la valeur du poisson. Selon la cause ophtalmique initiale, différentes options chirurgicales existent pour les poissons. Les précautions pré- et post-opératoires restent identiques selon la procédure (Harms et al., 2001).

a) Mesures préopératoires

Avant l'intervention chirurgicale, il est important de réaliser de bonnes investigations (radiographie ou échographie). Les résultats de ces examens influencent parfois l'abord

chirurgicale. Le poisson est installé dans un bloc en mousse en forme de V adapté à son format.

La peau est un organe fragile et le mucus joue un rôle protecteur contre les infections. C'est pourquoi, il faut éviter l'application d'un scrub comme en médecine canine. Un simple nettoyage à l'aide d'un coton-tige imbibé d'une solution saline stérile au niveau du site chirurgical est suffisant. Une autre alternative est l'utilisation de povidone iodée, la chlorhexidine étant toxique pour les muqueuses oculaires. Afin de limiter le dessèchement de la peau et des nageoires, le support en mousse est pré-trempe et un drap chirurgical en plastique est utilisé. Pour faciliter l'incision, on peut retirer les écailles de la zone d'intérêt (Harms et al., 2001).

Le poisson est anesthésié par immersion dans un agent approprié et retiré de l'eau. Une anesthésie longue nécessite un rinçage régulier des branchies avec des solutions anesthésiantes à l'aide d'une seringue ou d'un système d'anesthésie à recirculation (Wildgoose, 2007).

b) Soins postopératoires

L'utilisation d'antibiotiques et d'anti-inflammatoires en postopératoire dépend de la nature de la procédure et de sa localisation. Sur des affections oculaires d'origine infectieuse, les antibiotiques sont fortement recommandés, bien que leur efficacité n'ait pas été évaluée. Il est important de privilégier la voie injectable avant l'opération pour assurer une diffusion dans tout l'organisme d'autant plus que le poisson est anesthésié. En plus d'un traitement antibiotique préventif, on peut ajouter une injection de butorphanol. Les effets persistent après le réveil, prenant en charge la douleur. Les effets varient toutefois selon les espèces et les individus. L'application de povidone d'iode est intéressante en post-opératoire. En effet, elle réduit les risques d'infection (Harms et al., 2001).

Chez les espèces d'eau douce, l'ajout de chlorure de sodium dans le bac réduit les risques d'infections et de chocs osmotiques en postopératoire (environ 1 à 2 g/L). Enfin, pour les espèces vivant en eaux froides, une augmentation de la température aux limites hautes favorise le processus de cicatrisation. Ce phénomène est par exemple mis en évidence sur les carpes Koï et les poissons rouges avec des bacs postopératoires avec une température entre 20 et 25 °C (Wildgoose, 2007).

La durée des soins postopératoires dépend de la durée de cicatrisation de l'individu et de l'absence d'infections secondaires.

c) Procédures chirurgicales

(1) L'énucléation

L'énucléation est une exérèse du globe oculaire. Elle est peu pratiquée dans les grands aquariums car le poisson devient inadapté à la présentation au public. L'énucléation est indiquée lors d'une néoplasie oculaire non invasive, d'un grave traumatisme (associé à une luxation du globe oculaire) d'une infection ou d'une inflammation avancée (Harms et al., 2001). Cependant, elle est peu recommandée pour les uvéites qui sont souvent causées par des granulomatoses systémiques (Wildgoose, 2007).

L'approche chirurgicale et la technique d'extraction de l'œil sont relativement simples. De petits instruments chirurgicaux et une loupe grossissante sont souvent nécessaires en

raison de la petite taille de l'œil. Le poisson est placé en décubitus latéral, l'œil atteint positionné le plus haut.

La région périoculaire qui fixe l'œil au bord orbital est incisée avec un scalpel ou des ciseaux courbes. Le globe est déplacé dans la cavité orbitale pour exposer les muscles extraoculaires et le nerf optique. Il faut réduire au minimum la traction sur le nerf optique qui est encore rattaché à l'encéphale. Les muscles extraoculaires sont sectionnés à leur insertion dans la cavité orbitale. Le nerf optique et les vaisseaux sont isolés à l'aide d'un clamp. Le globe est ensuite retiré en incisant à travers ces tissus. Il faut éviter de léser les branches maxillaires et buccale du nerf facial et la branche mandibulaire du nerf trijumeau. Elles se situent le long de la marge dans le quadrant ventrolatéral de l'orbite. En raison de la petite taille et de la profondeur de la cavité orbitaire, il est souvent difficile de ligaturer les vaisseaux. Les hémorragies sont contrôlées de différentes manières : par pression directe, en appliquant une goutte d'épinéphrine, à l'aide de poudre de collagène ou par cautérisation grâce à la chaleur (Wildgoose, 2007). Les différentes de la procédure sont illustrées sur la figure 65.

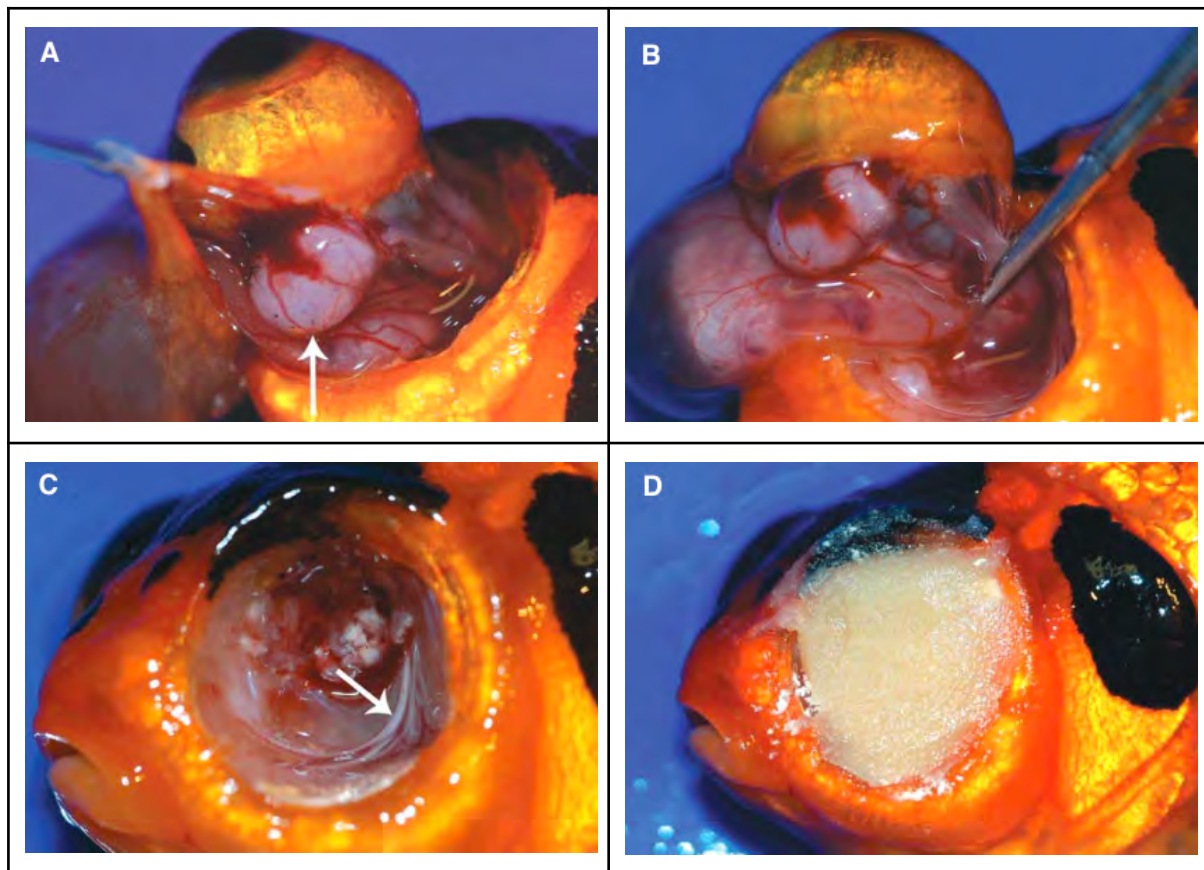


Fig. 65 : Énucléation gauche sur un poisson rouge (*Carassius auratus*) présentant une tumeur rétinienne. (A) : Incision périoculaire permettant au globe d'être déplacé dans la cavité orbitaire. Une partie d'une tumeur rétinienne intraoculaire (flèche) fait saillie dans l'espace rétrobulbaire et est associée à une structure kystique ventrale au globe. (B) : Incision des attaches musculaires et du nerf optique. (C) : Branches maxillaires et buccales des nerfs crâniens (flèche) situées le long du bord ventral de l'orbite. (D) : Application d'une poudre de collagène stérile puis d'une pâte imperméable pour contrôler les hémorragies et aider à l'hémostase. D'après Wildgoose (2007).

(2) La lensectomie

La lensectomie est une exérèse totale du cristallin. Elle est recommandée lors de cataracte marquée irréversible ou de luxation du cristallin. La cataracte est souvent associée à une cécité de l'œil atteint ou des répercussions sur l'état général.

L'œil est lavé à l'aide d'une solution saline stérile. Ensuite, deux gouttes de proparacaine sont appliquées sur la cornée assurant une analgésie locale. Environ cinq minutes plus tard, de la tropicamide et de l'atropine ophtalmique sont appliquées sur la cornée. Même si les poissons possèdent peu de fibres musculaires sur l'iris, ces molécules optimisent le diamètre d'ouverture de la pupille. Le globe oculaire est maintenu en place à l'aide de pinces au niveau de la limite entre la conjonctive et la sclère cartilagineuse. La cornée est incisée proche de la limite avec la sclère grâce à un kératome ou une lame chirurgicale (kératotomie). Une solution viscoélastique à base d'acide hyaluronique est injectée dans la chambre antérieure à travers l'incision. Lors de luxation, cette solution doit s'infiltrer entre le cristallin et la cornée pour protéger l'endothélium cornéen. L'incision initiale est ensuite prolongée à l'aide de ciseaux à iris pointus. L'incision finale suit les bords de la cornée et forme un angle d'environ 120°. Les mêmes ciseaux sont utilisés pour séparer le muscle rétracteur du cristallin et disséquer les ligaments suspenseurs sur toute la périphérie du cristallin. Il est ensuite saisi à l'aide d'une pince et extrait par l'incision cornéenne. Celle-ci est finalement suturée par un surjet simple à l'aide d'un monofilament résorbable. Parfois des bulles de gaz peuvent être présentes dans la chambre antérieure. Elles doivent être aspirées avant de suturer l'incision. Un test à la fluorescéine est réalisé à la fin de l'intervention pour vérifier l'étanchéité de la cornée. Un hyphéma secondaire peut être observé en postopératoire (Pujol et al., 2023). Les étapes de la chirurgie sont illustrées sur la figure 66.

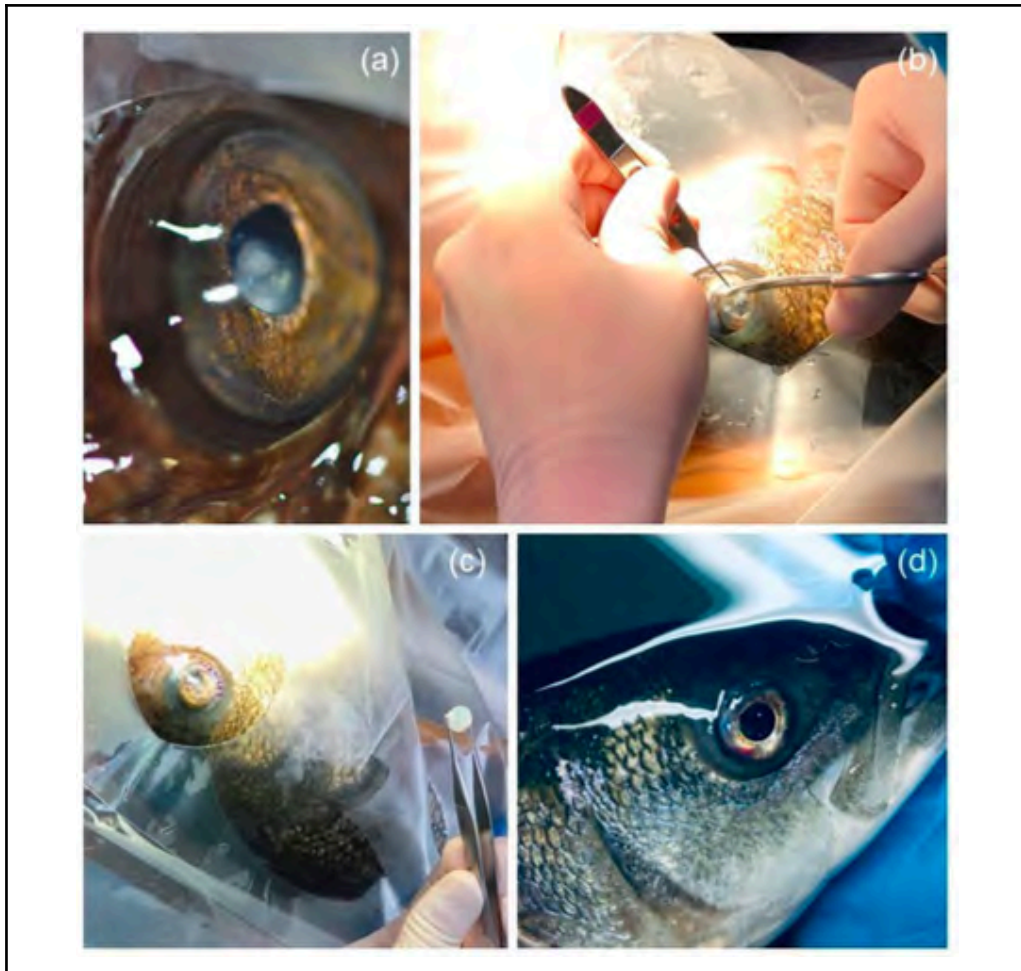


Fig. 66 : Lensectomie réalisée sur un loup tacheté (*Anarhichas minor*). (a) Œil d'un loup tacheté avant la chirurgie présentant une cataracte et une luxation ventrale du cristallin. (b) Incision de la cornée en longeant la sclère à l'aide de ciseaux à iris courbés. (c) Extraction du cristallin. (d) Œil après l'intervention, présence d'un hyphéma post-chirurgical en région ventro-caudale de la chambre antérieure. D'après Pujol et al. (2023).

(3) Prise en charge chirurgicale des ulcères cornéens

L'intervention chirurgicale concerne les ulcères profonds ou les desmécocèles. Lors d'une kératite ulcéreuse ne répondant pas aux traitements médicamenteux, une intervention est aussi envisagée.

Le poisson est placé en décubitus latéral avec l'œil atteint vers le haut. La cornée est délicatement séchée à l'aide d'un coton-tige stérile. L'ulcère est alors comblé à l'aide de colle à base de cyanoacrylate. Elle est appliquée à l'aide d'une aiguille et d'une seringue. La colle doit être entièrement sèche avant de remettre le poisson à l'eau. Elle reste en place entre cinq et dix jours. Pendant la convalescence, le poisson doit être mis sous surveillance (Labelle, 2016).

(4) La kératectomie

La kératectomie est une ablation partielle ou totale de la cornée. Elle est préconisée sur des tumeurs cornéennes ou des kératopathies lipidiques chez les murènes notamment.

L'intervention chirurgicale est réalisée sous microscope opératoire. La surface oculaire est d'abord désinfectée à l'aide de povidone iodée et d'une solution saline stérile. De la proparacaïne topique est appliquée sur la cornée. De multiples incisions sont réalisées avec une lame de scalpel. Lors d'ablation partielle, une dissection lamellaire suffit. Dans le cadre de tumeurs cornéennes, le tissu retiré est soumis à une analyse histopathologique. Une légère opacification cornéenne peut persister au niveau du site chirurgical (Kim et al., 2023) (Clode et al., 2012).

(5) La pseudobranchiectomie

Cette intervention consiste en une ablation de la pseudobranchie lorsque l'espèce en est munie. La pseudobranchie est située en région dorsale de la cavité operculaire (Fig. 67). Sa fonction reste encore incertaine mais le flux sanguin efférent de la pseudobranchie arrive à la choroïde suggérant un rôle dans l'oxygénation de l'œil. Son ablation fonctionnelle est parfois préconisée lors de maladie de bulle de gaz idiopathique avec échecs de traitements médicaux et environnementaux. En pratique la pseudobranchie est rendue dysfonctionnelle par cautérisation (Parker-Graham et al., 2022).

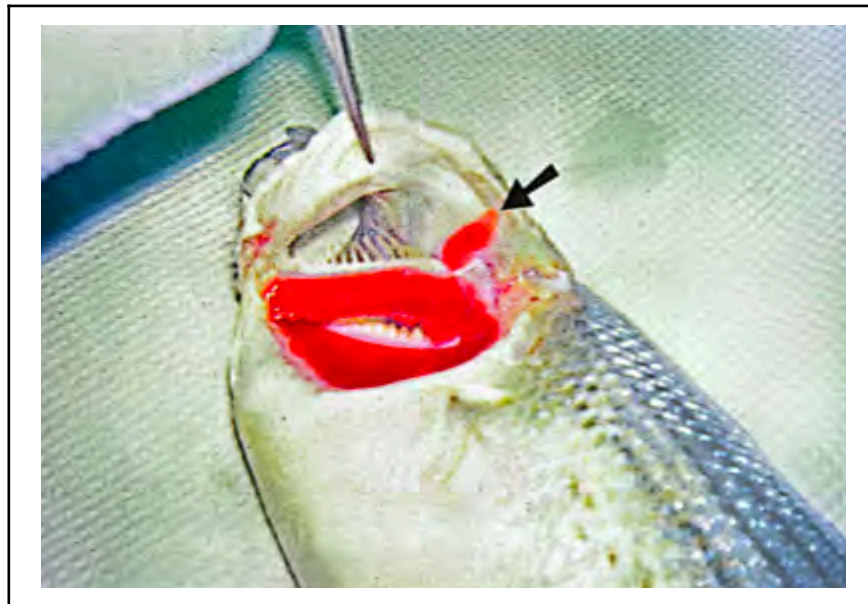


Fig. 67 : Localisation de la pseudobranchie (flèche noire) chez un bar rayé (*Morone saxatilis*). D'après Harms et al. (2001).

(6) La cryochirurgie

La cryochirurgie est une technique émergente qui consiste en une forte congélation localisée à l'aide d'une sonde à azote liquide. L'application provoque une destruction des tissus, une inflammation locale, une stase vasculaire et une occlusion des tissus atteints. Elle se met en place sur les tumeurs malignes ou bénignes cornéennes. Le taux de réussite est variable et une exérèse partielle de la tumeur est recommandée avant l'intervention.

L'appareil de cryochirurgie est constitué d'un dispositif de stockage de l'azote liquide et d'un embout de pulvérisation avec une petite ouverture fixée à une pièce de contact. La sonde se place directement en contact avec la zone d'intérêt pendant trente secondes à une minute (Fig. 68). Lors d'une session de cryochirurgie, le cycle est répété environ deux-trois

fois. Le nombre de cycles et le temps de contact varient selon la réponse de la cornée, la localisation de la tumeur, son type et la taille de l'embout. Après chaque cycle, un rinçage avec une solution saline stérile permet de retirer le liquide restant sur la cornée. Les lésions qui en résultent peuvent être soignées par seconde intention. La résolution totale de la tumeur s'effectue durant les premiers mois qui suivent la cryothérapie (Parker-Graham et al., 2022).

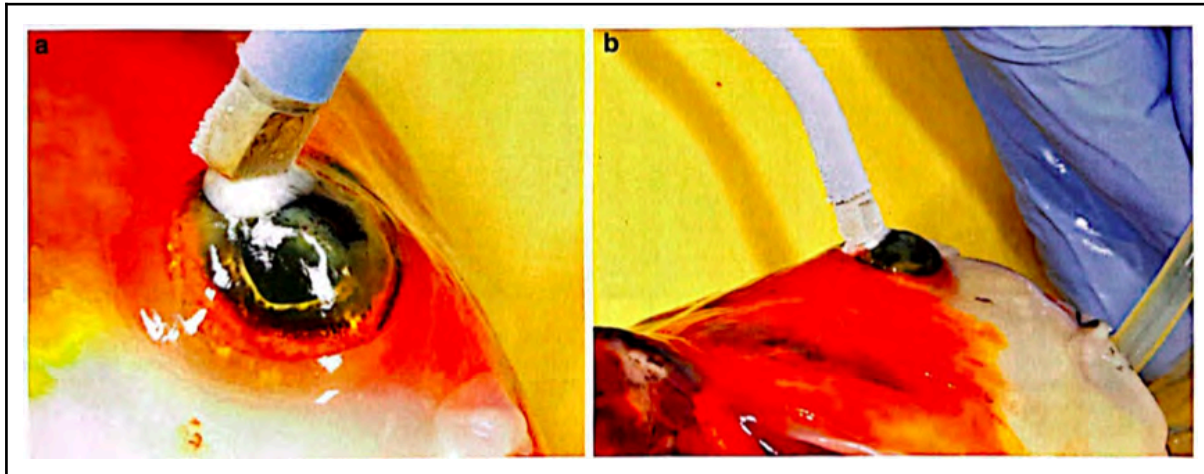


Fig. 68 : Cryochirurgie réalisée sur une carpe Koi présentant une masse néoplasique cornéenne. D'après Parker-Grama et al. (2022).

4. Prévention des atteintes oculaires

Les affections oculaires des poissons d'ornement sont souvent multifactorielles. Pour réduire leurs prévalences, il faut donc agir à différentes échelles. Certaines atteintes étant difficiles à traiter, une bonne prévention permet de limiter leurs survenues. Un article publié en 2013 par El-Deen et al., liste les bonnes méthodes pour diminuer les affections oculaires. Les principales mesures sont les suivantes :

- Alimentation adaptée aux besoins physiologiques de l'animal.
- Réduction du stress environnemental et respect du bien-être animal.
- Surveillance des paramètres de l'eau afin d'assurer une bonne qualité.
- Limiter les densités de populations dans les aquariums.
- Mise en place d'une quarantaine lors de l'introduction d'un nouvel individu. Elle doit durer 30 à 90 jours selon le risque infectieux (Walker et al. 2001),
- Mise en place d'un traitement antiparasitaire préventif.

Une bonne gestion des atteintes oculaires chez les poissons d'ornement passe par un recueil méthodique de l'anamnèse et des commémoratifs. Le contexte environnemental ne doit pas être négligé durant cette prise en charge.

Les outils diagnostiques sont adaptés selon le propriétaire, les hypothèses diagnostiques et l'animal, par exemple dans les cas où une sédation est compromise. Une contention adaptée permet de limiter le stress de l'individu. L'objectif des examens complémentaires est d'obtenir un diagnostic final ou au moins une dominante pathologique.

La prise en charge des atteintes oculaires peut être environnementale, médicamenteuse ou chirurgicale. Les thérapies environnementales sont généralement faciles à mettre en place et peu onéreuses pour les propriétaires. Une prise en charge thérapeutique est possible lorsque la cause primaire n'est pas clairement identifiée. Cependant les traitements probabilistes favorisent la sélection de pathogènes résistants. Actuellement certaines molécules antibiotiques comme l'oxytétracycline sont de moins en moins utilisées à cause des résistances bactériennes. La question d'une utilisation raisonnée des antibiotiques est d'actualité en médecine aquacole. La chirurgie est intéressante en médecine individuelle lorsque les traitements médicamenteux ou environnementaux ont échoué. Elle ne s'applique toutefois que dans certains contextes pathologiques.

Malgré le manque de données et de valeurs de référence sur les différents examens ophtalmiques, 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 poissons d'ornement 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 l'épidémiologie des différentes affections oculaires.

PARTIE 2 : ETUDE DE TERRAIN, ÉTAT DES LIEUX DES EXOPHTALMIES CHEZ LES POISSONS EN AQUARIUM ET EXEMPLES DE CAS CLINIQUES

I. Etude de terrain n°1 : état des lieux des exophtalmies chez les poissons d'aquarium en France

A. Objectifs de l'étude

Les exophtalmies sont un signe oculaire fréquent au sein des aquariums. En effet, suite à cette première partie consacrée à la bibliographie, les exophtalmies sont régulièrement observées. Cependant, la cause primaire est variée. De plus, le manque de données disponibles sur les exophtalmies a motivé le lancement de cette enquête. Les objectifs étaient les suivants :

- Établir un état des lieux en France sur les exophtalmies en aquarium.
- Comparer les espèces et les bacs majoritairement touchés.
- Comparer les différentes prises en charge.
- Cibler les structures souhaitant un échange plus approfondi sur le sujet.

B. Matériel et méthodes

1. Réalisation et diffusion du questionnaire

Selon les différents objectifs mentionnés plus haut, un questionnaire a été envoyé aux 23 aquariums situés en France (outre-mer incluse). L'intégralité du questionnaire est détaillée en annexe 2.

Les premières questions visent à identifier la structure du répondant et son rapport aux exophtalmies. Les structures n'étant pas concernées par les exophtalmies, n'avaient pas besoin de poursuivre le questionnaire. Ensuite, les questions suivantes étaient ciblées sur l'incidence, la saisonnalité et la prévalence des exophtalmies, c'est-à-dire, quelles sont les espèces et les secteurs les plus touchés. Enfin, les questions ciblaient la prise en charge des exophtalmies, à savoir la présence d'un protocole diagnostique et la mise en place d'un traitement. Pour finir, les dernières questions cherchaient à identifier les structures avec lesquelles un échange plus approfondi était possible sur ce sujet. Selon les objectifs, les questions présentées étaient des questions ouvertes et/ou fermées, laissant la possibilité aux participants d'apporter des informations complémentaires.

Le questionnaire a été rédigé durant le mois d'octobre et novembre 2023. Il a ensuite été diffusé par mail via l'Institut Océanographique de Monaco en décembre 2023. En janvier 2024, différents mails de relance ont été adressés aux structures n'ayant pas répondu.

2. Prise de contact approfondie

Pour les structures acceptant une discussion plus approfondie, des échanges par mail et par téléphone ont été effectués durant les mois de février et mars 2024. La sélection de ces aquariums repose sur les réponses des six dernières questions. Suite au questionnaire diffusé par mail, la majorité des aquariums souhaitaient discuter plus en détail

sur les exophtalmies. Malgré les relances, seuls sept aquariums ont répondu à de nouvelles questions.

À travers ces échanges, les questions étaient adaptées selon les premières réponses au questionnaire. Les réponses ont été reprises afin d'obtenir plus de détails. De plus, l'origine de l'eau des bassins, les traitements des individus atteints et les critères de surveillance ont été renseignés. Cette prise de contact plus poussée vise à compléter les réponses fournies dans le questionnaire afin d'effectuer une analyse plus poussée.

3. Collecte des données

a) *Anonymat*

Afin de garantir l'anonymat des structures, un numéro aléatoire a été attribué lors de la présentation des résultats.

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'examens complémentaires sont incluses dans l'étude.

En cas d'absence de diagnostic final, les résultats sont intégrés sous forme d'hypothèse diagnostique principale. Lors d'absence de protocoles spécifiques aux exophtalmies, les prises en charge menées sur les individus atteints sont détaillées en tant que traitement. Les structures ayant répondu partiellement au questionnaire ont été exclues de l'étude.

c) *Analyse des réponses*

Les réponses ont été interprétées durant les mois de février et mars 2024. Au vu des différentes réponses apportées par les aquariums, une analyse descriptive a été réalisée. Une première analyse cible l'ensemble des réponses du questionnaire. Une seconde analyse cible les structures ayant accepté une discussion plus approfondie.

De plus, les causes et le taux de mortalité n'étant pas systématiquement mentionnés dans les réponses, ces données ont été volontairement exclues de l'analyse descriptive.

d) *Choix de l'interprétation des résultats*

Afin d'avoir un maximum de cas interprétables, aucune limite de temps pour remonter aux différents cas n'a été fixée aux aquariums. Les réponses du questionnaire visaient d'abord à dresser un schéma épidémiologique des exophtalmies, une démarche diagnostique ainsi qu'un schéma thérapeutique. Les protocoles de soins et les critères de surveillance sont développés lors des échanges plus poussés.

C. Résultats du questionnaire

1. Participants de l'étude

Sur l'ensemble des vingt-trois aquariums français ayant reçu le questionnaire, dix-sept aquariums ont répondu. Parmi eux, deux structures ont répondu partiellement. Quatre aquariums ont explicitement refusé une nouvelle sollicitation en plus du

questionnaire et sept aquariums ont accepté des échanges plus poussés par mail ou par visioconférence. Le reste des répondants n'ont pas donné de suite malgré nos relances.

2. Incidence des exophtalmies

L'incidence des exophtalmies est évaluée dans les questions 2) et 3). En regardant dans un premier temps les tendances générales concernant l'incidence des exophtalmies au sein des différents aquariums :

Quinze aquariums sont confrontés à des exophtalmies d'origine déterminées ou non. Parmi elles, dix considèrent les exophtalmies comme une pathologie dominante et donc une priorité à considérer au sein de leur structure. Sur ces quinze structures concernées, quatre structures estiment avoir plus de dix cas d'exophtalmies par an, neuf structures estiment avoir entre cinq et dix cas par an et deux structures estiment avoir moins de cinq cas par an.

3. Épidémiologie des exophtalmies

Dans le but de comparer le schéma épidémiologique des exophtalmies en France, la question 4) cherche à mettre en évidence une potentielle saisonnalité des épisodes d'exophtalmie. Sur ce point, onze aquariums ont affirmé ne pas avoir de saisonnalité particulière sur les exophtalmies. Un aquarium observe plus fréquemment des exophtalmies pendant l'hiver, un aquarium pendant le printemps, un aquarium pendant l'été et un aquarium pendant l'automne. À noter que les structures ayant observé une saisonnalité des exophtalmies, présentaient toutes entre cinq et dix exophtalmies par an.

En plus de la saisonnalité, les espèces et les bacs impactés ont également été pris en compte dans le schéma épidémiologique à travers la question 6) et 7). Ainsi, huit aquariums constatent que certains bassins sont plus touchés que d'autres et quatorze aquariums, constatent que certaines espèces sont préférentiellement touchées par les exophtalmies. Parmi les bassins les plus touchés, sept aquariums mentionnent les bassins tempérés, deux structures mentionnent les bassins méditerranéens et deux structures mentionnent les bassins d'eau douce. À noter que certaines structures ont indiqué plusieurs bassins dans leur réponse.

Concernant les espèces touchées, celles-ci sont regroupées selon leurs familles. Pour cette question, les aquariums avaient la possibilité d'entrer plusieurs propositions. De plus, certains aquariums ont répondu à cette question en mentionnant uniquement la famille tandis que d'autres mentionnent le nom complet de l'espèce. Ainsi, les exophtalmies sont principalement observées chez les sparidés et les gadidés dans cinq aquariums. Ensuite, les serranidés, les holocentridae, les cyprinidés et les cichlidés sont indiqués dans trois aquariums pour chaque famille. Enfin, les apogonidés sont mentionnés dans deux aquariums. D'autres familles sont indiquées dans les réponses mais ces dernières n'apparaissent qu'une seule fois.

4. Gestion des exophtalmies

a) *Démarche diagnostique*

Dans un premier temps, il est demandé dans la question 5) si les exophtalmies étaient consécutives à des conditions particulières afin d'orienter la première hypothèse

diagnostique. Lors d'une exophtalmie objectivée, dix aquariums observent des modifications au préalable et cinq d'entre elles mettent en évidence une qualité de l'eau dégradée.

Dans un second temps, les questions 12) et 13) s'intéressent aux méthodes diagnostiques. Seulement un aquarium affirme effectuer des prélèvements sur les poissons présentant une exophtalmie. En revanche, neuf aquariums réalisent des examens complémentaires dont quatre en collaboration avec leur vétérinaire traitant et trois en collaboration avec un laboratoire spécialisé. Un aquarium possède un laboratoire et effectue les examens complémentaires au sein de la structure. La question portant sur les examens complémentaires réalisés est ouverte. En regardant plus précisément, six aquariums réalisent des observations microscopiques de leurs prélèvements sur des lames non colorées, quatre aquariums réalisent des analyses bactériologiques et deux aquariums des analyses histologiques. Les résultats des analyses n'étant pas demandés.

b) Mise en place d'un protocole, traitement et évolution

Pour finir, les questions 8), 9), 10) et 14) ciblent la prise en charge thérapeutique des exophtalmies dans les différentes structures. Dix aquariums affirment avoir une prise en charge spécifique dans la gestion des exophtalmies.

En s'intéressant à la première mesure mise en place lorsqu'une exophtalmie est objectivée sur un individu : pour neuf structures, cela consiste à placer l'individu atteint en isolement. Quatre aquariums décident d'abord de traiter l'individu atteint. Un aquarium effectue des analyses du milieu et un dernier aquarium modifie les apports alimentaires.

Concernant les traitements de première intention, huit structures mettent en place un traitement antibiotique. La famille d'antibiotiques utilisée n'a pas été demandée dans le questionnaire. Trois structures décident d'utiliser un traitement à base de Diamox® (acétazolamide) sachant que deux d'entre elles le combinent avec un traitement antibiotique. En parallèle, deux aquariums préfèrent agir dans un premier temps sur les paramètres environnementaux. Enfin, un aquarium précise adapter son traitement selon la cause identifiée de l'exophtalmie et ne met pas en place de traitement avant d'avoir une hypothèse diagnostique.

En observant les tendances générales quant à la guérison des cas, neuf aquariums estiment que le rétablissement de l'individu est variable. Cinq aquariums estiment que la majorité des cas d'exophtalmie tend vers la guérison tandis que les trois derniers estiment que la majorité des poissons atteints ne se rétablissent pas.

D. Résultats des discussions approfondies

1. Épidémiologie des exophtalmies

En plus du questionnaire diffusé, sept aquariums ont accepté des échanges approfondis. Ces échanges ont été adaptés selon les réponses au questionnaire.

Sur les sept structures concernées, trois d'entre elles ont plus de dix cas d'exophtalmies par an. Trois aquariums ont entre cinq et dix cas par an et un aquarium présente moins de cinq cas par an. Parmi les aquariums ayant entre cinq à dix cas par an, deux observent une saisonnalité des exophtalmies. Le premier constate une augmentation de l'incidence en été et le second au printemps. Le reste des aquariums n'observe pas de saisonnalité particulière. Concernant l'épidémiologie, trois aquariums n'ont pas de bassins plus particulièrement touchés que d'autres. Toutes les structures ont indiqué au moins une

espèce ou famille qui semblait plus souvent touchée par les exophtalmies. Quatre structures ont mis en place un protocole de soins spécifique pour la prise en charge des exophtalmies. En s'intéressant à ces quatre aquariums, deux d'entre eux effectuent initialement une prise en charge thérapeutique. L'un effectue une mise en isolement et le dernier une modification du régime alimentaire. Le reste des réponses sera détaillé plus bas, afin de faire le lien avec les précisions apportées.

2. Critères de surveillance et approvisionnement

La prise en charge des exophtalmies passe d'abord par une prévention adaptée. Ainsi, une surveillance adaptée des paramètres du bassin peut aider à réduire l'incidence des exophtalmies dans une structure donnée. Pour chacun des aquariums acceptant les échanges, les critères de surveillance des bassins ont été demandés. Ces critères de surveillance reposent sur des paramètres spécifiques qui sont mesurés dans l'eau des bassins. L'ensemble des paramètres sont détaillés dans le tableau 12. En parallèle de ces paramètres, trois aquariums ont précisé l'approvisionnement de l'eau de leurs bassins avec les traitements associés, les réponses sont présentées dans le tableau 13.

Cinq aquariums réalisent des observations régulières de leurs poissons en conditions physiologiques. De plus, deux d'entre eux effectuent des évaluations du bien-être animal selon une grille de critères.

Tableau 12 : Récapitulatif des différents paramètres environnementaux mesurés dans six aquariums et leur fréquence de mesure.

Paramètres surveillés	Nombre d'aquariums surveillants ce paramètre (n = 6)	Fréquence	Nombre d'aquariums concernés
Température	5	Journalier	3 dont 2 en continu
		Mensuel	1
		Annuel	1
Taux d'oxygène	3	Journalier	2 dont 1 en continu
		Mensuel	1
pH	5	Journalier	3 dont 2 en continu
		Mensuel	1
		Inconnu	1
Salinité	5	Journalier	2 dont 1 en continu
		Mensuel	2
		Annuel	1

Tableau 12 : Récapitulatif des différents paramètres environnementaux mesurés dans six aquariums et leur fréquence de mesure.

kH	3	Mensuel	1
		Annuel	1
		Inconnu	1
Nitrites	4	Hebdomadaire	1
		Occasionnel	1
		Annuel	1
		Inconnu	1
Nitrates	6	Journalier	1 en continu
		Hebdomadaire	1
		Mensuel	2
		Annuel	1
		Inconnu	1
Taux d'ammoniac	3	Hebdomadaire	1
		Annuel	1
		Inconnu	1
Autres dosages ioniques : phosphates, potassium, magnésium, calcium, manganèse	3	Mensuel	1
		Annuel	1
		Inconnu	1
Conductivité	1	Journalier	En continu
Observation des individus	5	2 à 3 fois par jour	3
		1 fois par jour	1
		Variable selon la saison	1

Tableau 13 : Récapitulatif des différents approvisionnements de l'eau des bassins dans trois aquariums et leurs traitements

Origine de l'eau	Nombre d'aquariums ayant répondu (n=3)	Mode de filtration	Nombre d'aquariums concernés	Mode de stérilisation	Nombre d'aquariums concernés
Mer	2	Mécanique	2	UV	2
Synthétique	1	Chimique	1	Absente	1

3. Protocole de soins

Les protocoles de soins varient selon les structures et les hypothèses diagnostiques. Au cours de ces échanges, les traitements antibiotiques ont été abordés afin de renseigner les molécules, les posologies et les modes d'administration. Les résultats quant aux antibiotiques sont présentés dans le tableau 14. Parmi les quatre aquariums utilisant les antibiotiques, trois réalisent un antibiogramme suite à une analyse bactériologique avant de mettre en place le traitement antibiotique. Deux aquariums affirment ne pas utiliser d'antibiotiques sur leurs poissons. En revanche, ceux-ci agissent lors d'exophtalmies sur l'alimentation des individus en ajoutant des compléments vitaminiques. Un aquarium utilisant des antibiotiques agit également sur l'alimentation par complémentation vitaminique.

Tableau 14 : Récapitulatif des différents usages antibiotiques lors d'exophtalmies dans les quatre aquariums concernés.

Molécules	Posologies	Voie d'administration employée	Nombre d'aquariums concernés (n = 4)
Furaltadone	30 mg/L	Orale	2
Florfenicol	30 mg/L	IM	2
TMP- Sulfamides	25 mg/L	Orale	2
Métronidazole	25 mg/L	Balnéation	1
Oxytétracycline	100 mg/L	Orale	1

En plus des traitements antibiotiques, d'autres solutions thérapeutiques sont mises en place par les aquariums. Ces traitements sont mis en place lorsqu'une exophtalmie est objectivée. Deux aquariums associent le traitement antibiotique avec un traitement antiparasitaire à base de praziquantel. Un aquarium réalise des bains de NaCl en parallèle du traitement antibiotique. Enfin, un aquarium utilise du Diamox® (acétazolamide) sur les poissons exophtalmiés.

4. Causes majeures des exophtalmies

Pour finir, au cours des échanges avec les différentes structures, il a été demandé si une cause majeure était identifiée dans les exophtalmies. Sur les sept structures, trois identifient une cause primaire majoritaire dont deux mettant en évidence une origine parasitaire. Le troisième aquarium indique que les cas d'exophtalmies aboutissant à un diagnostic final ont une origine environnementale, plus précisément une maladie des bulles de gaz.

Les quatre aquariums restants expliquent que la variabilité du diagnostic final associé pour certains à l'absence de registres des cas ne permet pas de mettre en évidence une cause primaire majeure.

Le questionnaire ainsi que les échanges ont permis de dresser un état des lieux des exophtalmies. Les résultats donnent alors un aperçu quant aux espèces touchées, les méthodes diagnostiques et les traitements. Cependant, suite aux différents résultats exposés, différents axes méritent une discussion et une argumentation s'appuyant sur la littérature. Ces sujets sont abordés dans la partie suivante.

II. Étude de terrain n°2 : État des lieux des exophtalmies chez les poissons de l'aquarium de Monaco

A. Objectifs de l'étude

L'ensemble de ce travail de thèse a été réalisé en collaboration avec l'Institut Océanographique de Monaco. Ces derniers sont confrontés à des exophtalmies de diverses natures. Soit le diagnostic final n'est pas posé, soit il n'y a pas de réponse au traitement mis en place. Ainsi, les exophtalmies représentent un enjeu majeur dans la gestion des pathologies sur leurs individus. C'est pourquoi l'Institut a lancé ce projet de thèse sur les pathologies oculaires.

L'ensemble des cas d'exophtalmie de l'aquarium étant recensés depuis 2015, ces données permettent une étude approfondie de l'épidémiologie et de la gestion associées. Cette étude consiste en un état des lieux des cas recensés avec les objectifs suivants :

- Comparer les bacs et les espèces préférentiellement atteints dans les différents secteurs.
- Comparer les différentes prises en charge.
- Identifier les causes majeures des exophtalmies de l'aquarium.
- Créer un outil d'aide au diagnostic des exophtalmies

B. Matériel et méthodes

1. Infrastructure

L'aquarium de Monaco est séparé en deux secteurs principaux : le secteur Méditerranée et le secteur Tropical. En plus de ces secteurs, il y a deux grands bacs, l'un accueillant les requins (appelé GBR), l'autre accueillant des espèces récifales tropicales avec des coraux (appelé GBC). Un bassin supplémentaire est aussi présent en extérieur et sert à accueillir les tortues. Pour la suite de l'étude, les bassins du secteur Méditerranée

seront nommés M1, M2, M3, etc. Les bassins du secteur Tropical seront nommés T1, T2, T3, etc.

L'aquarium dispose également un espace dit "réserve" dédié aux individus atteints de pathologies, inaccessible au public. C'est ici, que sont hospitalisés les poissons atteints d'exophtalmies. Les individus situés en réserve bénéficient de soins, de traitement et d'une surveillance plus fréquente. Les bassins de cette réserve seront par la suite nommés R1, R2, R3, etc. Un laboratoire est présent dans l'aquarium. La majorité des analyses sont réalisées *in situ* par le personnel de l'aquarium, comme les antibiogrammes ou les analyses sanguines.

L'ensemble de l'eau des bassins est pompée en mer Méditerranée. Ensuite elle subit un système de filtration et de désinfection, via des filtres UV, des filtres à sable, et des filtres biologiques. L'ensemble des bassins présentés au public et contenant des poissons, sont organisés en biotope. Ainsi, plusieurs espèces coexistent au sein d'un même bac.

2. Suivi des cas

a) *Fiches pathologiques*

Cette étude s'appuie sur les données appliquées aux exophtalmies qui sont conservées par l'aquarium de Monaco depuis 2015.

Lorsqu'une atteinte clinique est mise en évidence, le poisson est mis à l'isolement lorsqu'il peut être pêché et une fiche de suivi pathologique est créée. Ce document propre à chaque individu mis en place depuis 2016 permet d'y indiquer les traitements et les soins effectués au cours de la période d'isolement ainsi que l'évolution clinique générale. Sur cette fiche, sont également indiqués les examens complémentaires réalisés avec le protocole utilisé. Par exemple, lors de ponction rétro-bulbaire, le protocole anesthésique est indiqué ainsi que les analyses réalisées.

Une version vierge de fiche pathologique utilisée à l'aquarium est disponible en annexe 3.

b) *Fiches sur les exophtalmies*

En parallèle des dossiers pathologiques remplis par les aquariologistes, une nouvelle méthode de suivi a été mise en place durant l'été 2023 par l'aquarium de Monaco. Cette méthode consiste en la création d'une fiche spécifique aux exophtalmies. Le modèle de cette fiche est disponible en annexe 4.

Cette fiche ciblant les exophtalmies renseigne les éléments cliniques en lien avec les signes oculaires lors de la détection du cas. De plus, elle indique les valeurs des paramètres du bac dans lequel évolue l'individu atteint. La deuxième partie de cette fiche s'intéresse à l'évolution du cas, avec d'abord une évolution des paramètres du bac puis une évolution clinique associée aux examens complémentaires et aux soins réalisés. La fiche se conclut sur la finalité du cas et du potentiel diagnostic final.

c) *Autopsies*

En cas de décès ou d'euthanasie d'un poisson atteint, une autopsie est systématiquement réalisée. Lors de celle-ci, une fiche autopsie doit être remplie. Une version vierge de cette fiche est disponible en annexe 5.

Différents prélèvements sont systématiquement réalisés lors de l'autopsie : un prélèvement branchial, un prélèvement intestinal et un raclage cutané. Ces derniers sont observés sous lame au microscope sans coloration. Lors d'hypothèses diagnostiques sur des exophtalmies, d'autres prélèvements sont effectués. Pour les analyses bactériologiques et histologiques, celles-ci sont réalisées dans un laboratoire spécialisé indépendant.

3. Collecte des données

a) *Animaux d'intérêt*

Dans le cadre de cette thèse sur les poissons, toutes les espèces recensées, de tout âge, et ayant ou non bénéficié à leur mort d'examens complémentaires, dont les autopsies, ont été incluses dans l'étude. Les espèces aquatiques comme les tortues et les élasmobranches, ont été exclues de l'étude.

En cas d'absence de diagnostic final, les résultats sont intégrés sous forme d'hypothèse diagnostique principale. Lors d'absence de protocoles spécifiques aux exophtalmies, les prises en charge menées sur les individus atteints sont détaillées en tant que traitement. Les structures ayant répondu partiellement au questionnaire ont été exclues de l'étude.

b) *Recensement des cas cliniques*

L'ensemble des cas d'exophtalmie depuis 2015 jusqu'en octobre 2023 sont regroupés dans des tableurs Excel, indiquant le nom latin, le bac d'origine et la date de l'épisode. Concernant les soins, les examens complémentaires et les démarches diagnostiques, ceux-ci sont indiqués dans les fiches de suivi détaillées plus haut.

L'ensemble des fiches de suivi a été mis à disposition dans le cadre de l'étude. Les fiches ont été organisées en tableur afin de faciliter l'analyse. Lorsque certains individus d'un même bac ne pouvaient être placés en isolement, ceux-ci sont regroupés sur la même fiche de suivi pathologique ainsi que la même fiche d'exophtalmie.

c) *Analyses des cas cliniques*

Les différents cas cliniques ont été analysés d'octobre 2023 à mars 2024. Au vu de la variabilité des informations disponibles par cas, une analyse descriptive a été réalisée. Une première analyse cible l'épidémiologie des cas et repose sur le premier tableur indiquant les bacs d'origine, les espèces et les dates. Une seconde analyse cible les signes cliniques, la gestion et la prise en charge des exophtalmies. Pour cette dernière, le contenu des fiches de suivi pathologiques a été mis sous forme de tableur Excel. Certains cas ne disposant pas de fiches de suivi, ceux-ci ont été exclus des analyses. Les cas provenant de la mer Méditerranée sont également exclus de l'étude.

Lors de récurrences ou rechutes sur un cas, celui-ci est compté comme étant le même cas clinique et ne constitue pas un nouveau cas.

d) *Choix d'interprétation des résultats*

Afin d'avoir un maximum de cas interprétables, aucune limite de temps pour remonter aux différents cas n'a été fixée. L'analyse des fiches pathologiques vise d'abord à dresser un schéma épidémiologique des exophtalmies et une description des prises en charge. Certains résultats ont poussé à des analyses complémentaires telles que des paramètres de la qualité de l'eau sur des bacs cibles. Ces analyses complémentaires seront développées dans la discussion de l'enquête.

Pour les différentes analyses menées au cours de cette enquête, les données ont été regroupées selon le nombre d'animaux étudiés.

C. **Résultats**

1. Participants de l'étude

Entre janvier 2015 et octobre 2023, cent-quinze cas d'exophtalmies sont recensés dans l'aquarium. Sur la totalité des cas rapportés, soixante-cinq individus proviennent du secteur Méditerranée et trente-neuf proviennent du secteur tropical. Le reste des cas provient de bassins annexes ou bien de bassins de la réserve. En considérant uniquement les secteurs, trente-et-une espèces différentes sont représentées en Méditerranée et vingt-huit espèces en Tropical.

Quarante-quatre fiches de suivi pathologiques et six fiches exophtalmies sont utilisées pour cette analyse.

2. Épidémiologie des exophtalmies

Afin de dresser le schéma épidémiologique des exophtalmies de l'aquarium de Monaco, l'analyse s'appuie sur les bacs d'origine, le mois de l'épisode de l'exophtalmie et le nom latin de l'espèce touchée pour chacun des secteurs.

a) *Secteur Méditerranée*

Dans le secteur Méditerranée de l'aquarium de Monaco, une centaine d'espèces de poissons sont réparties dans trente-neuf bacs distincts. Sur la figure 69 apparaît les occurrences par espèces sur l'ensemble des cas. D'après ce diagramme, quatre espèces de poissons sont plus touchées par les exophtalmies : le poisson sanglier ou *Capros aper*, le serran commun ou *Serranus cabrilla*, le pageot commun ou *Pagellus erythrinus* et le poisson écureuil ou *Sargocentron rubrum*.

Dans un second temps, les occurrences entre les bacs du secteur montrent également une incidence plus importante sur certains bacs. Sur les trente-neuf bassins, dix-sept contenaient des individus exophtalmiés. La figure 70 indique les occurrences des exophtalmies parmi ces dix-sept bassins. Ce diagramme met en évidence cinq bassins plus touchés par les exophtalmies.

Enfin, les occurrences des mois ont été calculées, afin de mettre en évidence la saisonnalité des exophtalmies dans le secteur Méditerranée. D'après les données, les exophtalmies du secteur Méditerranée surviennent plus fréquemment lors de la période automnale et plus précisément au mois de novembre où il représente 48% des cas (Fig. 71).

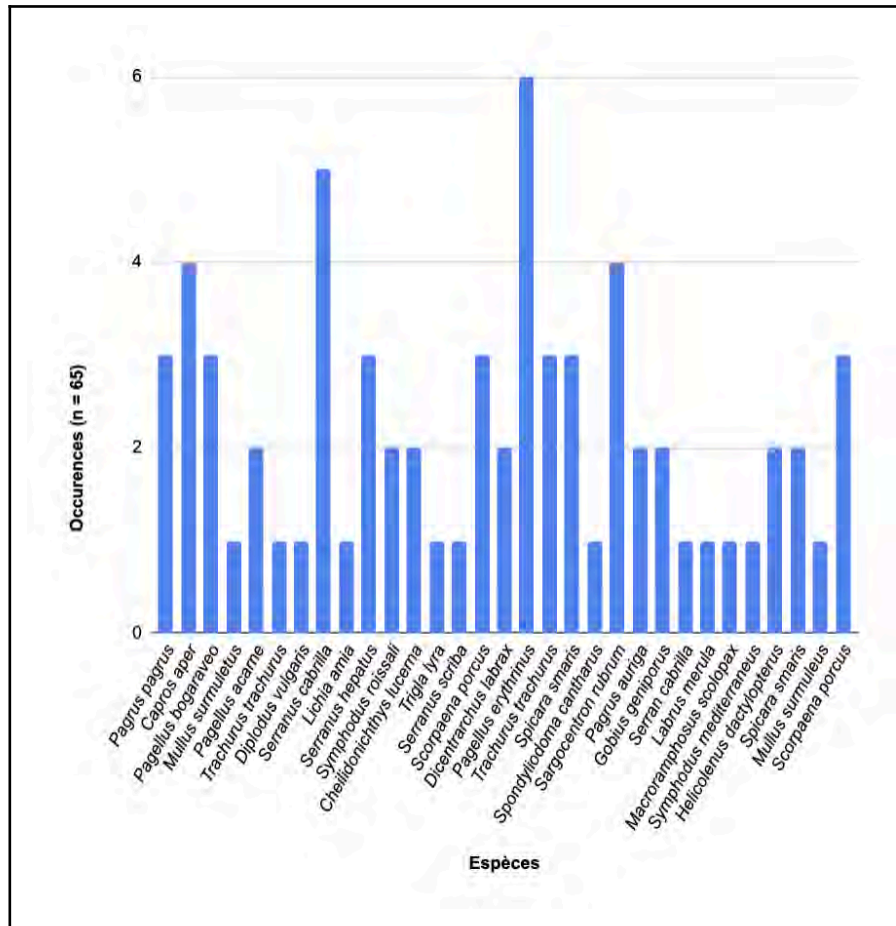


Fig. 69 : Diagramme en bâton présentant l'incidence des exophtalmies par espèce entre janvier 2015 et octobre 2023 dans le secteur Méditerranée.

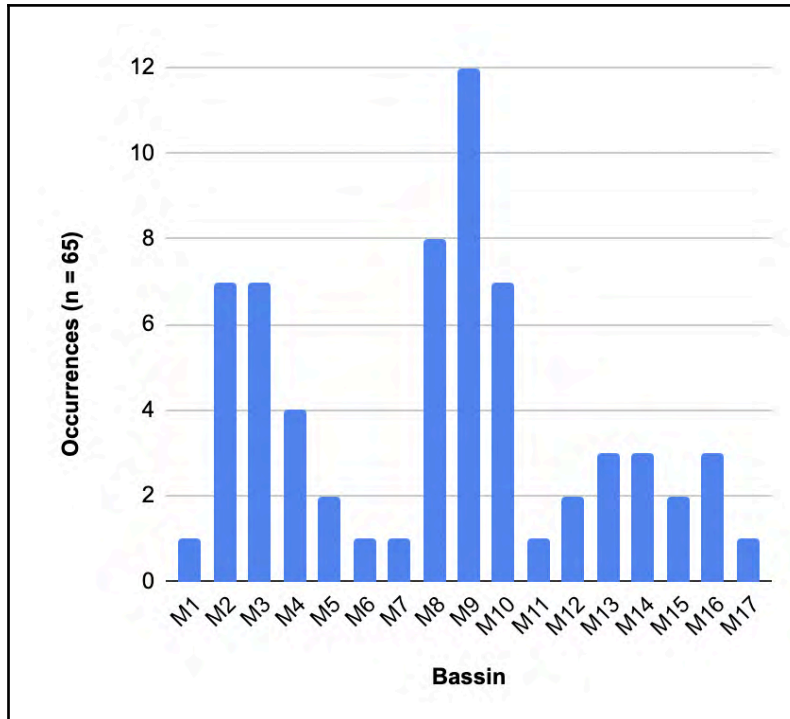


Fig. 70 : Diagramme en bâton présentant le nombre d'occurrences d'exophtalmies par bassin entre janvier 2015 et octobre 2023 dans le secteur Méditerranée.

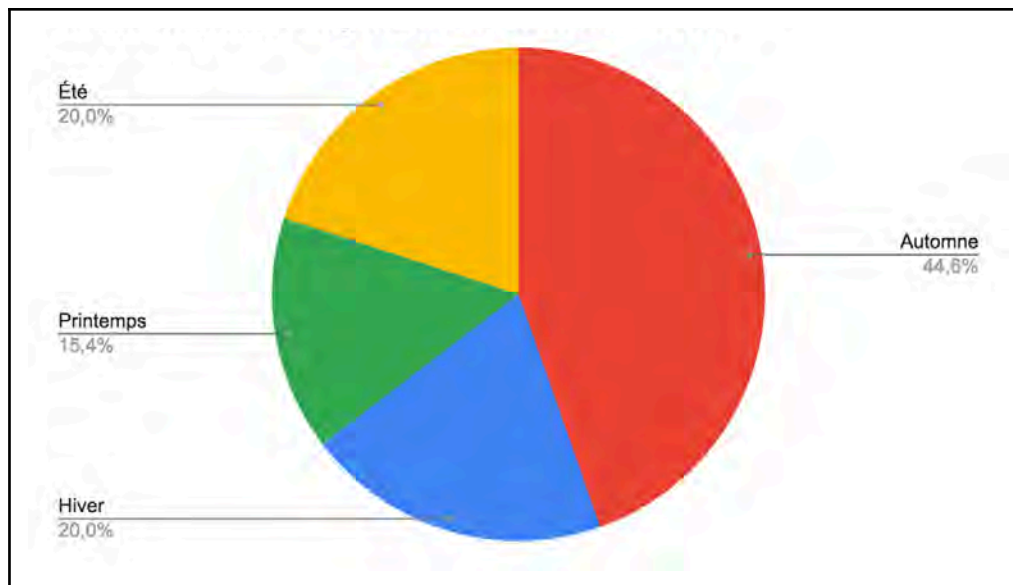


Fig. 71 : Diagramme circulaire présentant les proportions saisonnières des exophtalmies entre janvier 2015 et octobre 2023 dans le secteur Méditerranée.

b) Secteur Tropical

Concernant le secteur tropical, environ cent espèces sont exposées dans vingt-cinq bassins différents. En effectuant une analyse similaire au secteur Méditerranée, deux espèces semblent plus touchées par les exophtalmies : le poisson-ange français ou

Pomacanthus paru et la demoiselle sombre ou *Pomacentrus adelus*. L'ensemble des incidences des exophtalmies par espèces sont indiquées sur la figure 72.

Ensuite, en comparant la répartition des exophtalmies du secteur Tropical entre les différents bacs, certains sont plus affectés. Sur les vingt-cinq bassins, huit d'entre eux sont touchés par les exophtalmies et trois bassins plus particulièrement. Les occurrences sont présentées dans la figure 73.

Pour finir, la figure 74 indique la saisonnalité des exophtalmies sur la période d'étude. Celle-ci montrent que les exophtalmies sont plutôt apparues sur la période automnale et plus particulièrement pendant le mois d'octobre qui représente 76% des cas automnaux.

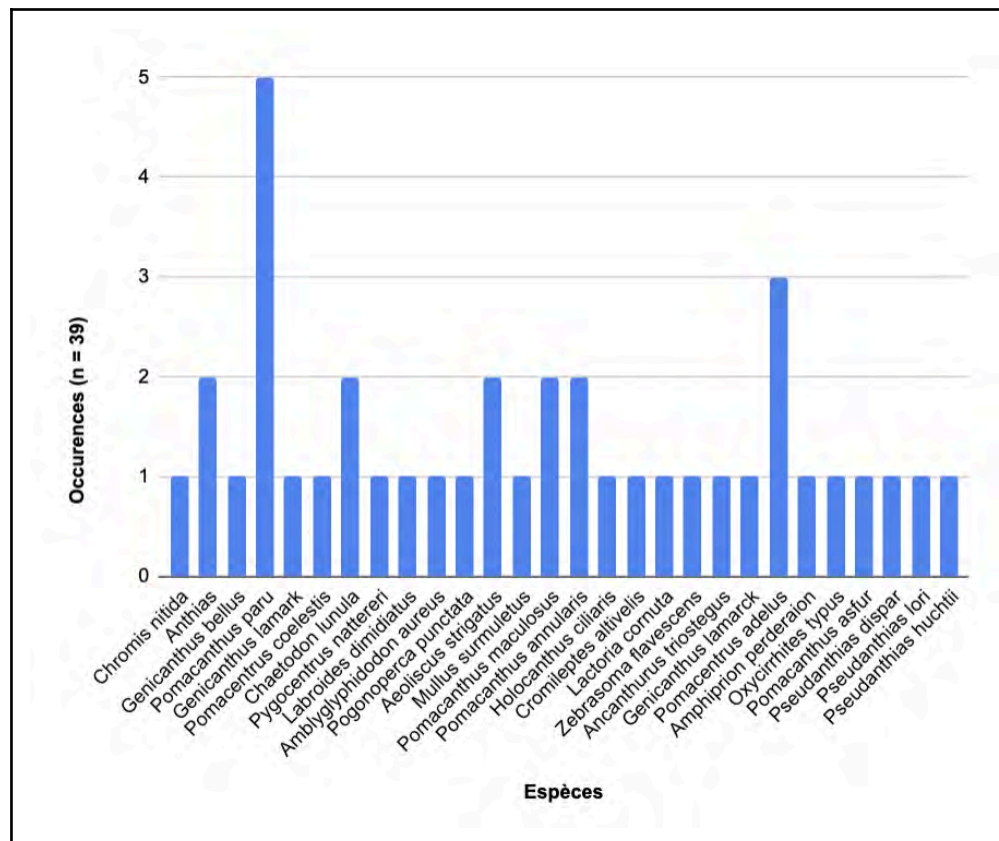


Fig. 72 : Diagramme en bâton présentant l'incidence des exophtalmies par espèce entre janvier 2015 et octobre 2023 dans le secteur Tropical.

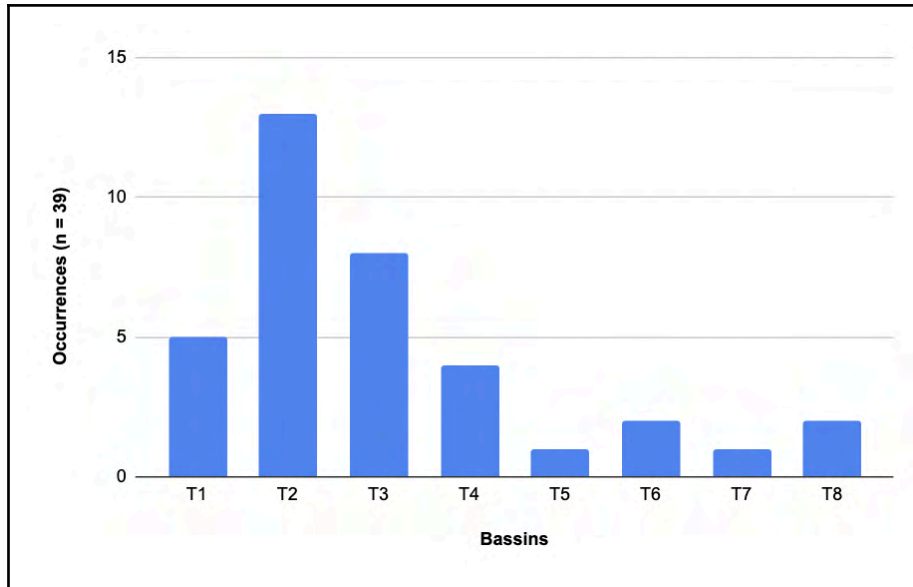


Fig. 73 : Diagramme en bâton présentant le nombre d'occurrences d'exophtalmies par bassin entre janvier 2015 et octobre 2023 dans le secteur Tropical.

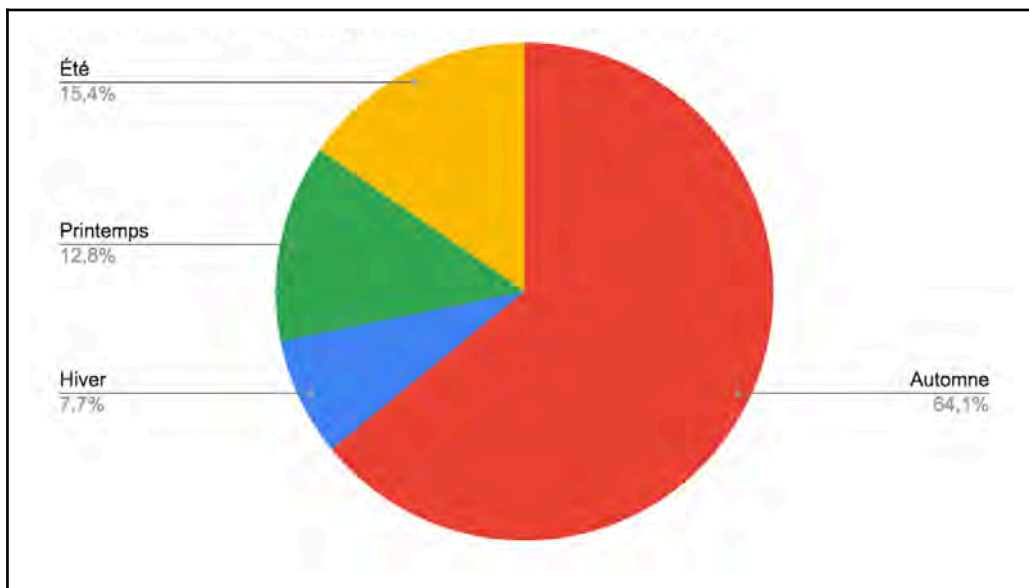


Fig. 74 : Diagramme circulaire présentant les proportions saisonnières des exophtalmies entre janvier 2015 et octobre 2023 dans le secteur Tropical.

3. Gestion des exophtalmies a) *Manifestations cliniques*

Lors de l'admission d'un cas dans les bassins d'hospitalisation, il est indiqué sur la fiche de suivi la présence éventuelle de signes cliniques autres que l'exophtalmie. Ces manifestations cliniques supplémentaires peuvent être générales ou oculaires.

En considérant d'abord les signes cliniques oculaires, sur l'ensemble des fiches pathologiques, 45,5% mentionnent une exophtalmie unilatérale. De plus, quinze cas sur quarante-quatre présentent d'autres signes oculaires que l'exophtalmie soit 34,1%. Dans

cette proportion, deux individus avaient une buphtalmie et neuf individus avaient une opacification cornéenne, soit respectivement 13,3% et 60%.

Concernant les manifestations cliniques systémiques, il est uniquement indiqué la présence ou l'absence d'une atteinte de l'état général sans en préciser la nature. Ainsi, les résultats indiqués sur la figure 75 se présentent sous la forme de oui ou non. Une proportion des fiches pathologiques ne fournit pas d'informations sur cet aspect.

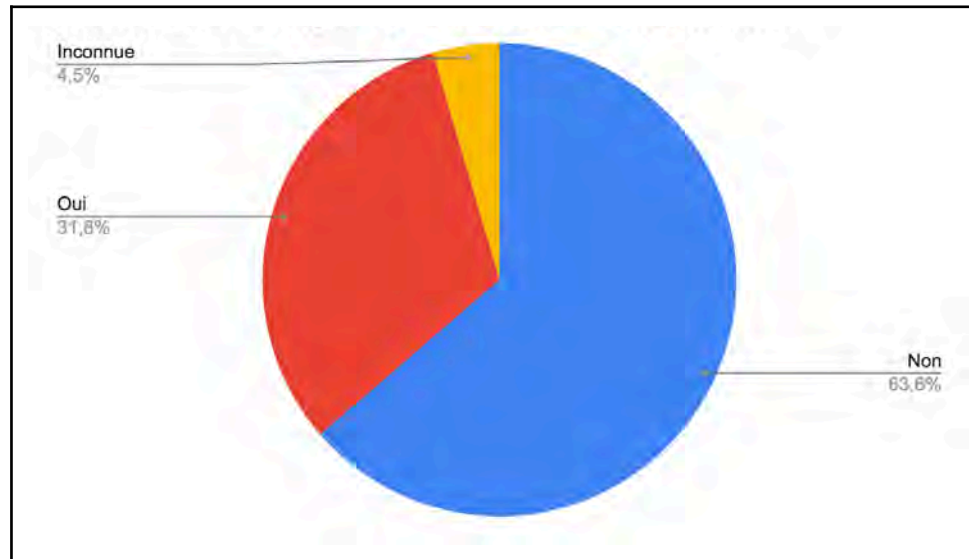


Fig. 75 : Diagramme circulaire présentant les proportions des exophtalmies associées à une atteinte de l'état général entre janvier 2015 et octobre 2023.

b) Mise en place d'un protocole de traitement et évolution

La prise en charge médicale des exophtalmies repose principalement sur l'administration d'un traitement antibiotique et/ou anti-inflammatoire. Sur les quarante-quatre cas, vingt-cinq ont reçu un traitement antibiotique/anti-inflammatoire soit 56,8% des cas. En cas de rémission, la moitié des cas ont été traités pendant moins de deux semaines, avec au minimum trois jours de traitement, et l'autre moitié entre deux semaines et un mois. De plus, les cas de rémission sous traitement n'ont pas eu de changement de molécule antibiotique et/ou anti-inflammatoire. Parmi les traitements antibiotiques, les molécules utilisées sont le triméthoprime associé aux sulfamides, le florfenicol et l'enrofloxacin.

Parallèlement au traitement médical, une modification du circuit d'eau et un apport en dioxygène sont ajoutés sur une partie des cas. Ainsi, les poissons étaient mis sous circuit ouvert ou fermé. Dans certaines situations, il y a une alternance entre des circuits fermés et des circuits ouverts. Les poissons impliqués constituent la catégorie mixte de la figure 76. 65,9% des cas ont aussi bénéficié d'un apport en dioxygène grâce à un bullage.

En regardant la finalité des cas d'exophtalmies, les différents résultats sont présentés sur la figure 77, mettant en évidence un taux de rémission de 36,4%. En parallèle on peut noter un taux de mortalité s'élevant à 27,3 %.

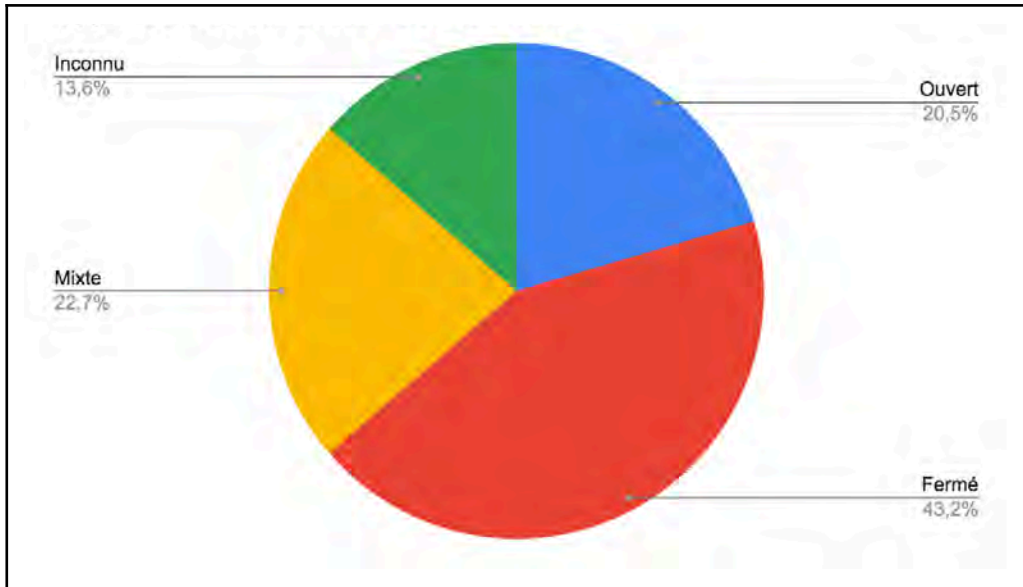


Fig. 76 : Diagramme circulaire présentant la proportion des types de circuit utilisés sur les cas d'exophtalmies entre janvier 2015 et octobre 2023.

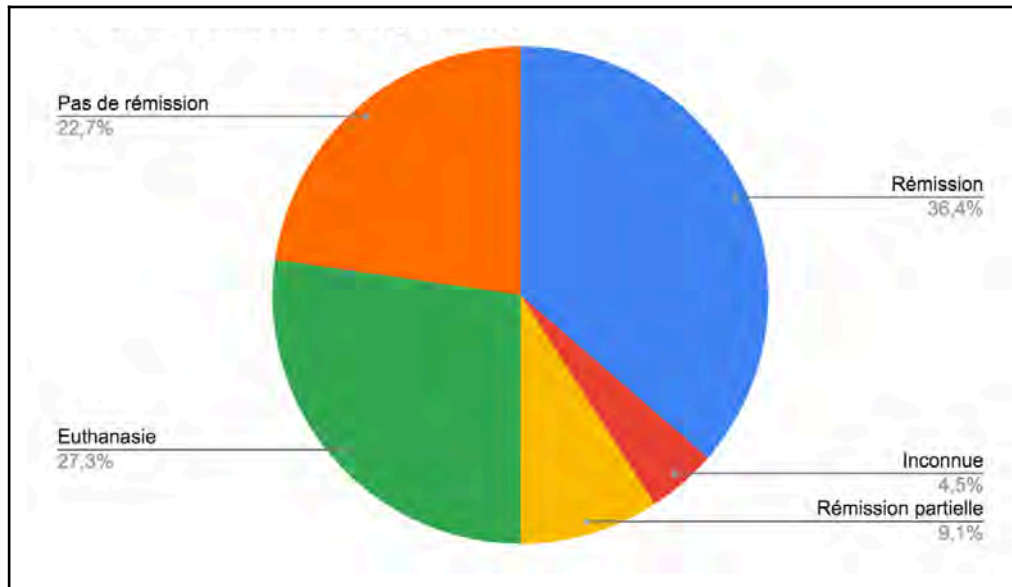


Fig. 77 : Diagramme circulaire présentant la proportion des finalités observées sur les cas d'exophtalmies entre janvier 2015 et octobre 2023.

III. Discussion des deux études de terrain

A. Critique de l'analyse et de l'interprétation des questionnaires

L'analyse du questionnaire s'est révélée complexe. Une faible proportion des aquariums n'a pas répondu à l'intégralité du questionnaire. De plus, certaines questions n'ont pas été correctement renseignées soit par mauvaise lecture de l'intitulé, soit par manque de temps. Certaines structures ont aussi fourni des réponses contradictoires. Par exemple, en répondant qu'ils ne réalisaient pas de prélèvements (question 10) pour ensuite affirmer qu'ils effectuaient des observations de montage lame et lamelle sous microscope (question 12).

La démarche mise en place pour le questionnaire et la discussion comporte certaines limites.

Dans un premier temps la définition anatomique de l'exophtalmie n'a pas été définie dans l'introduction du questionnaire. Or, certaines exophtalmies sont en pratique confondues avec des buphtalmies. Ainsi, certains cas des deux études ne sont peut-être pas adaptés et risquent de fausser les résultats. La proposition de transmettre des photos de cas visait à réduire ce risque. Cependant aucune structure n'a donné de suite.

Ensuite, 50% des structures souhaitant travailler avec l'Institut océanographique de Monaco d'après la dernière réponse du questionnaire n'ont pas donné de suite aux échanges par mail. Cette forte disparité s'explique par le manque de temps d'une part, et le délai entre l'envoi du questionnaire et la prise de contact d'autre part. Une des solutions pour réduire ce taux de disparité consiste en la création d'un seul questionnaire certes plus long mais plus complet. Ainsi, les discussions ultérieures sont moins importantes pour l'analyse de données.

Troisièmement, au cours des discussions approfondies sur la première enquête, une grande partie des structures conseillent de se rapprocher du vétérinaire traitant. Cela concerne surtout les questions en lien avec les examens complémentaires et les principales hypothèses diagnostiques. D'une part, certains vétérinaires n'ont pas donné suite à la prise de contact. D'autre part, les données issues des aquariums n'ont pas pu être fournies et vérifiées par le vétérinaire de la structure. A l'issue des réponses des structures, les résultats ont tout de même été envoyés aux vétérinaires traitants.

B. Discussion comparative entre les deux études et la bibliographie

1. Fonctionnement des différentes infrastructures : critères de surveillance de la qualité de l'eau et des poissons

A la vue des différents résultats obtenus, une grande diversité de modes de surveillance de la qualité de l'eau. Seulement trois structures ont décrit le type d'approvisionnement de leurs bassins et le type de stérilisation. Ainsi, il est difficile d'en tirer une tendance générale. Quant aux paramètres liés à la qualité de l'eau, les plus surveillés dans les aquariums sont les nitrates, la température, le pH et la salinité. S'ajoute à ces paramètres une observation journalière a minima des individus dans leurs bacs. Ces pratiques se retrouvent aussi à l'Institut Océanographique de Monaco. En revanche, la fréquence de vérification des paramètres reste hétérogène suivant les aquariums.

Les données bibliographiques exposées dans la première partie de cette thèse ne fournissent pas de recommandations types. Seuls les paramètres importants en lien avec la

qualité de l'eau sont décrits. Mills (2001) détaille la fréquence de surveillance recommandée selon les paramètres. Les résultats pratiques démontrent une grande variabilité des fréquences de surveillance de ces paramètres. Un point intéressant à relever serait la justification des fréquences choisies par les aquariums. Selon quels critères les aquariums définissent-ils les fréquences d'observation ? Une forte variabilité dans les critères de choix peut expliquer la diversité des modes de surveillance des aquariums.

2. Inventaire des affections oculaires chez les poissons d'aquarium en France et à Monaco

a) *Comparaison des matériels et méthodes avec les études de la littérature*

Actuellement, seulement une étude rétrospective s'intéresse à la pathogénie et à l'épidémiologie des exophtalmies sur les poissons (Stephens et al., 2002). Cette étude cible une seule espèce : le dhufish de l'ouest australien, contrairement aux études réalisées dans cette thèse. Le choix de cette espèce provient de sa haute valeur en élevage piscicole mais aussi car elle présente régulièrement des exophtalmies spontanées. Ces exophtalmies touchent les individus captifs et sauvages. Par ailleurs, l'un des objectifs de Stephens et al., consiste à poser un diagnostic final sur ces exophtalmies ce qui n'est pas abordé dans les enquêtes.

Une comparaison avec cette étude reste toutefois complexe de par la divergence du matériel et des méthodes. Aucun recensement n'est mis en place dans l'étude réalisée par Stephens et al.. La pathogénicité et l'épidémiologie sont étudiées grâce à des expériences.

La multiplicité des opérateurs dans les études de terrain ne permet pas une analyse homogène et standardisée. De même, tous les aquariums ne réalisent pas les mêmes examens complémentaires. Certains cibles les observations microscopiques, d'autres les analyses bactériologiques et une faible proportion les analyses histopathologiques. Ces différents examens sont réalisés par différents opérateurs de professions différentes (employés de l'aquarium, vétérinaire spécialisé ou non en aquaculture) et n'ayant pas tous la même expérience. L'étude menée par Stephens et al., ne précise pas quels sont les opérateurs qui réalisent les descriptions cliniques lors d'autopsie, les mesures des paramètres environnementaux et les analyses histopathologiques. Cependant, tous les individus de l'étude ont subi les mêmes examens complémentaires. Ce protocole de celui mis en place à l'Institut Océanographique de Monaco : différents opérateurs peuvent réaliser les autopsies mais elles sont systématiquement réalisées sur les individus exophtalmiés décédés.

L'étude de Stephens et al., enquête uniquement sur les exophtalmies d'origine environnementale, plus précisément la maladie des bulles de gaz. Or, les études de terrains s'intéressent aux origines infectieuses et non infectieuses.

L'étude de Stephens et al., n'a pas collecté les données à partir d'un recensement sur le terrain. C'est pourquoi la comparaison du matériel et des méthodes est complexe. Dans la littérature scientifique, une enquête épidémiologique réalisée sur les cataractes (Ersdal et al., 2001) utilise le recensement pour la récolte de données. Même si le signe oculaire est différent, cette étude présente des matériels et méthodes plus proches de la première étude terrain de cette thèse. Chez Ersdal et al., le recensement des données s'effectue grâce à une interview des éleveurs piscicoles et des vétérinaires locaux sur place.

Cette méthode est proche des discussions mises en place sur la première étude de terrain. Cependant, les questions sont adaptées à des élevages et donc avec des enjeux différents des aquariums. Par exemple, il y a des informations relatives à la vaccination, qui est peu pratiquée en aquarium. Certains aspects abordés par Ersdal et al., manquaient à l'étude de cette thèse, comme les méthodes d'alimentation habituelles et l'historique des maladies. A ces questions s'ajoutent des échantillons de terrains contrairement à l'étude de cette thèse. Enfin les statistiques réalisées reposent sur une analyse descriptive cependant les méthodes statistiques détaillées sont propres à la cataracte. En effet les cataractes des poissons sont gradées contrairement aux exophtalmies.

Cette comparaison à la bibliographie témoigne du manque de données sur les exophtalmies chez les poissons en aquariums. Il n'existe pas de données sur les tendances des exophtalmies dans les aquariums en France. De plus, les études bibliographiques réalisent des prélèvements de terrain ce qui n'était pas envisageable dans le cadre de notre étude.

b) Comparaison des espèces, des secteurs cibles et de la saisonnalité.

Dans le questionnaire de la première étude, les espèces et les secteurs les plus touchés ont été renseignés. Cependant, certaines structures ont donné des noms d'espèces tandis que d'autres ont cité des familles. Afin d'effectuer une comparaison correcte entre les deux études, seules les familles de poissons sont étudiées.

Le questionnaire a mis en évidence sept familles de poisson d'aquarium qui sont plus touchées par les exophtalmies avec par ordre d'importance : les sparidae, les gadidae, les serranidae, les holocentridae, les cyprinidae, les cichlidae et les apogonidae. Sur ces familles citées, les sparidae, les serranidae et les holocentridae se retrouvent à l'Institut Océanographique de Monaco.

Cependant d'autres familles prédominantes dans la deuxième étude ne sont quasiment pas retrouvées dans le questionnaire. Il s'agit des pomacanthidae, des pomacentridae et des chaetodontidae. Ces familles sont principalement représentées par des espèces tropicales. L'interprétation de ces résultats reste délicate. En effet, dans le secteur tropical de l'Institut Océanographique de Monaco un incident technique est à l'origine de maladie de bulles de gaz dans le bac T2 (Fig. 74). L'origine accidentelle fausse donc les analyses épidémiologiques.

Dans la bibliographie il n'y a pas d'études épidémiologiques sur les exophtalmies en aquariums. De plus, les études en lien avec les exophtalmies ne ciblent qu'une espèce (Stephens et al., 2002 ; Ersdal et al., 2001). Une seule étude s'intéresse aux affections oculaires en ciblant plusieurs familles de poissons d'ornement (Kumaratunga et al., 2022). Les auteurs ont décrit la répartition des diagnostics oculaires parmi les familles de poissons (Fig. 78). Les syngnathidae, les pomacentridae et les apogonidae sont majoritaires. Ces données dépendent du nombre initial d'échantillons envoyés par famille et du nombre d'individus par famille dans les aquariums. En effet, plus il y a d'individus qui représentent une famille, plus il y a de chance d'avoir des atteintes dans cette famille.

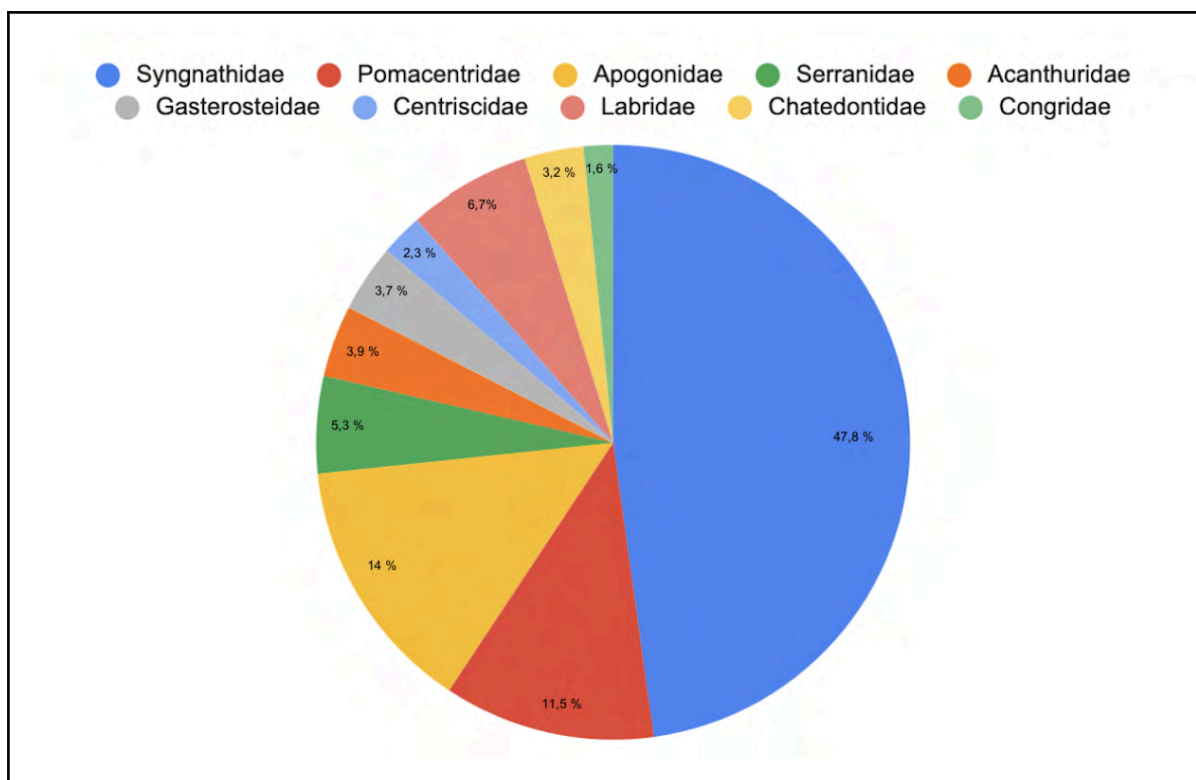


Fig. 78 : Proportion des principales familles de poissons d'aquarium retrouvés dans les diagnostics oculaires dans l'étude de Kumaratunga et al. (2022). Graphique réalisé à partir des résultats décrits dans l'étude.

En s'intéressant aux secteurs les plus touchés, les réponses du questionnaire mentionnent les eaux tempérées. Des réponses affirment que le secteur méditerranéen est le plus touché. La Méditerranée faisant partie du climat tempéré. Les résultats de l'Institut Océanographique de Monaco montrent que les cas d'exophtalmie se manifestent surtout dans le secteur Méditerranée.

Les réponses mentionnant les bassins d'eau douce soulèvent de nouvelles interrogations. En effet, les réponses "eaux tempérées" ne précisent pas s'il s'agit d'eau douce ou d'eau de mer. La question ne se pose pas à l'Institut Océanographique de Monaco car tous les bassins contiennent de l'eau de mer. Ainsi, les climats tempérés semblent plus touchés par les exophtalmies sans préciser la nature de l'eau. Cette affirmation reste bancale car il n'y a pas de données comparatives dans la bibliographie.

Il existe un autre aspect important : la répartition des espèces dans les bacs. Selon les aquariums, certaines espèces sont réparties dans plusieurs bacs tandis que d'autres ne sont présentées que dans un seul bassin. Ces informations ne sont pas indiquées dans les questionnaires. En revanche, elles sont disponibles à l'Institut Océanographique de Monaco. Le lien de cause à effet reste toutefois flou : certains bacs sont-ils plus touchés à cause des espèces prédisposées qu'ils contiennent ou inversement ?

Concernant une potentielle saisonnalité des exophtalmies. Les résultats des enquêtes sont différents de ceux décrits dans la littérature scientifique. D'une part, l'Institut Océanographique de Monaco présente un plus grand nombre d'exophtalmies durant la période automnale, plus précisément au mois d'octobre. Ce résultat concerne à la fois le secteur Méditerranée et le secteur Tropical. La mise en évidence d'un incident technique produit en octobre dans le secteur Tropical conduit à une saisonnalité biaisée. Ce biais est moins marqué dans le secteur Méditerranée car il n'y a pas de pic d'incidence suite à une

cause unique définie. Les réponses fournies par le questionnaire sont plus variables. Sur les quinze aquariums, quatre observent une saisonnalité des exophtalmies représentant environ 26% de l'ensemble des répondants. Par ailleurs, les différentes saisons sont équitablement citées dans le questionnaire.

L'étude de Stephens et al. (2002), aborde la notion de saisonnalité. D'après leurs résultats, les exophtalmies sont plus fréquemment observées en été et plus précisément lorsque la température de l'eau atteint les 26°C. Cette information coïncide avec les différents aspects abordés dans la partie bibliographique de cette thèse. En effet, la température semble jouer un rôle dans l'apparition des affections oculaires. Une augmentation de celle-ci favorise le développement et la multiplication d'agents pathogènes parasites ou bactériens. Un certain recul reste nécessaire sur ces hypothèses. D'abord, les températures optimales varient selon les espèces de poissons. Nos études ciblant différentes espèces et climats, il existe un biais de sélection non négligeable. Ensuite, bien que la température soit un facteur favorisant pour les pathologies oculaires, les climats saisonniers influencent peu les bacs des aquariums publics en pratique. La température est justement contrôlée pour limiter les variations liées au climat extérieur. Si la température était le paramètre justifiant les variations selon la saisonnalité, les tendances orienteraient plutôt vers les saisons chaudes. Ainsi, une possible influence de la saisonnalité sur les exophtalmies ne s'expliquerait pas par la température. Suite à cette supposition, une nouvelle hypothèse est émise. Le paramètre expliquant un potentiel lien avec la saison peut-il être la pluviométrie ? En effet, les périodes automnales et hivernales se caractérisent par un climat plus humide en France et à Monaco. Actuellement, il n'y a pas d'étude consacrée à l'influence de la pluviométrie sur les exophtalmies. Ce paramètre est en plus difficilement exploitable dans le cadre du questionnaire. Cette difficulté réside dans la nécessité d'étudier le climat où est située la structure. Le nombre d'aquariums répondants étant réduit, mentionner le climat pourrait porter préjudice à l'anonymat du questionnaire.

c) Comparaison de la gestion des exophtalmies

À l'issue des deux études de terrain, il est aussi intéressant de commenter les différentes prises en charge réalisées en France et à Monaco sur les exophtalmies. Pour rappel, différentes thérapeutiques sont possibles chez les poissons d'ornement. On distingue des thérapies médicales, environnementales ou chirurgicales. Ces thérapies s'adaptent aux hypothèses diagnostiques et aux moyens dont disposent les aquariums.

Dans le questionnaire, les résultats des premières prises en charge sont répartis en trois groupes. La première option thérapeutique majoritaire consiste en un isolement de l'individu atteint soit une thérapie environnementale. À l'Institut Océanographique de Monaco, les animaux sont isolés dans des bacs à l'espace "réserve", lorsque la capture est possible. Il n'y a pas de chiffres disponibles quant aux taux d'animaux exophtalmiés mis en isolement. Cette absence n'impacte pas l'analyse des thérapies car aucune n'est mise en place tant que l'individu atteint n'est pas isolé dans un bassin. Cette pratique commune au sein des aquariums publics s'explique par ses nombreuses mentions à la fois dans la théorie et la pratique. La décision commune d'isoler l'individu est retrouvée dans les notions bibliographiques de la première partie. Elle constitue une étape clé dans la réalisation des examens cliniques, ophtalmologiques et complémentaires. En pratique, les vétérinaires demandent souvent un isolement de l'individu avant la consultation.

En plus de l'isolement de l'individu une autre thérapie environnementale est employée : l'apport en oxygène. Cette gestion est régulièrement utilisée à l'Institut Océanographique de Monaco. Cette option n'est mentionnée ni dans les réponses du questionnaire ni dans les échanges approfondis. Cet écart peut s'expliquer par l'historique de la structure. En effet, l'apport en oxygène par bullage dans le bac est recommandé lors de maladie de bulle de gaz par sursaturation en azote (Whitaker, 2001). Cette affection est souvent retrouvée dans l'aquarium de Monaco, motivant la mise en place plus fréquente de cette option thérapeutique. En revanche, la bibliographie n'est pas unanime sur les valeurs de saturation du dioxygène dans le cadre de la maladie des bulles de gaz. Même si un apport est recommandé, il y a toujours un risque de provoquer des sursaturations en dioxygène. Edsall et al. (1990) ont démontré sur une truite arc-en-ciel, qu'une sursaturation en oxygène de 126% pouvait provoquer une maladie des bulles de gaz. Cependant une étude similaire sur la même espèce (Doulos et al., 1990) fournissait des résultats différents. Les truites n'ont pas développé de maladie des bulles de gaz malgré un élevage avec une sursaturation en dioxygène à 150%. Ainsi, l'utilisation de cette technique repose sur le retour d'expérience. En plus de l'apport en oxygène, l'Institut Océanographique de Monaco choisit sur certains cas de mettre en place un circuit fermé. Actuellement, il n'y a pas d'étude de la littérature qui établit une relation entre le type de circuit utilisé et les exophtalmies. Cette pratique s'appuie uniquement sur les retours d'expérience du personnel de l'aquarium.

Ensuite, l'option médicamenteuse arrive en deuxième position à la fois dans le questionnaire et dans l'étude spécifique à l'Institut Océanographique de Monaco. L'administration d'antibiotiques en première intention semble être une prise en charge largement répandue au sein des aquariums en France et à Monaco. L'analyse quant à la prise en charge des individus fait ressortir une nouvelle limite du questionnaire : l'absence de données sur les vétérinaires et leur implication dans les prises en charge. Certaines structures mettent en place un traitement antibiotique grâce à un stock présent sur place, sans avis vétérinaire préalable. De plus, l'activité du vétérinaire contacté en première intention n'est pas demandée. Ainsi, il serait intéressant de connaître la part de vétérinaire travaillant avec les aquariums ayant une spécialité aquacole et la proportion possédant une activité en pisciculture.

Ces tendances montrent aussi l'absence de mise en place de thérapies chirurgicales qui sont pourtant décrites dans la bibliographie. Ces données s'expliquent par la formulation de la question. En effet, le questionnaire s'intéresse uniquement à la première prise en charge. En pratique, les thérapies chirurgicales sur les poissons d'aquarium ne s'effectuent pas en première intention. Ce constat, met en évidence une nouvelle limite dans l'élaboration du questionnaire : l'absence de questions sur une prise en charge générale des exophtalmies et non les premiers gestes thérapeutiques. Ce manque de données se justifie par les répondants. Le questionnaire était destiné aux employés des aquariums publics et non à des vétérinaires. Les thérapeutiques poussées sont surtout mises en place par les vétérinaires. Cibler la première prise en charge consiste à mettre en évidence les pratiques des employés et non des vétérinaires. Les échanges avec certains vétérinaires traitant des aquariums ont permis de décrire des cas d'exophtalmies traités chirurgicalement

d) Comparaison de la finalité des cas d'exophtalmies

Lors de la première enquête de terrain, il a été demandé d'évaluer la tendance quant à la finalité des cas d'exophtalmies. Lors des discussions approfondies avec les aquariums, les répondants n'étaient pas en mesure de fournir de taux de mortalité et de taux de rémission. En revanche, ces données ont été calculées lors de la deuxième étude de terrain.

Parmi les aquariums français, 60% estiment que le rétablissement de l'individu est variable. 20% estiment que les poissons atteints d'exophtalmies ne se rétablissent pas. Le reste considère que la majorité des cas ont tendance à guérir. À Monaco, les données fournissent un taux de rémission de 36,4% et un taux de mortalité de 27,3%. Bien que ces chiffres soient difficilement comparables, ils démontrent l'intérêt des structures pour les exophtalmies. En effet, la moitié des aquariums qui considèrent les exophtalmies comme une priorité indiquent que la guérison des poissons est variable. Ainsi, il semblerait que les aquariums soient intéressés par les exophtalmies à cause de la finalité variable. Maintenant, pourquoi l'évolution des exophtalmies est variable selon les cas ? Plusieurs hypothèses sont possibles. D'abord, les thérapies médicamenteuses probabilistes sont répandues et peuvent conduire à une absence de réponse au traitement. Les molécules disponibles restent limitées dans le milieu aquacole. Lors d'échec thérapeutique, les nouvelles options sont alors réduites. De plus, les traitements antibiotiques probabilistes favorisent l'apparition de résistances, qui représentent un des enjeux actuels en médecine vétérinaire. Pereira et al., (2023) décrit les *Vibrio spp.* comme étant les bactéries présentant le plus de résistances aux antibiotiques. Cette étude ne distinguait cependant pas les téléostéens des élamobranches. Une autre possibilité est l'absence de diagnostic final sur les cas d'exophtalmies. Comme il s'agit chez les poissons d'un signe clinique non spécifique, l'efficacité de la prise en charge repose sur l'identification de la cause primaire.

C. Discussions de la démarche diagnostique des exophtalmies

Pour ce dernier point de discussion, il est nécessaire de rappeler le contexte et les objectifs. L'Institut Océanographique de Monaco fait face à des cas réguliers d'exophtalmies spontanées. Parmi les principales causes suspectées, la maladie des bulles de gaz est l'une des plus récurrentes. Entre autres, une proportion non négligeable des cas cliniques ne répond pas au traitement choisi. C'est pour résoudre ces problématiques que l'Institut a lancé ce projet de thèse.

Dans un premier temps, l'objectif est d'identifier correctement les lésions ophtalmologiques des poissons d'aquarium. Cet objectif est rempli au cours de la partie bibliographique de la thèse. Dans un second temps, les objectifs concernent le diagnostic et la prise en charge associée. L'étude des cas d'exophtalmie est alors nécessaire pour adapter cet outil aux moyens dont disposent les structures et selon les principales attentes.

1. Les principaux signes cliniques associés

Au vu des données obtenues, une comparaison des signes cliniques associés n'est pas envisageable entre les deux études. D'abord, la question n'a pas été posée dans le questionnaire. Au cours des échanges approfondis avec les aquariums français, certains mentionnent l'absence de suivi écrit des différents cas d'exophtalmie. Ainsi, les réponses quant aux manifestations cliniques associées étaient inconstantes. En parallèle, les

répondants n'étaient pas des vétérinaires. Les signes cliniques décrits n'étaient donc pas systématiquement fidèles à la définition anatomo-pathologique. Par exemple, certains cas cliniques sont parfois considérés comme des exophtalmies mais le terme lésionnel correct est buphtalmie. Ce biais marqué de sélection empêche d'inclure les données cliniques à la discussion comparative de la partie précédente.

L'Institut Océanographique de Monaco dispose d'un registre des cas à l'aide de fiches pathologiques et de fiches "exophtalmies". De nombreuses photographies des cas limitent aussi le biais de sélection de la première étude. Elles fournissent des informations relatives aux signes cliniques associées aux exophtalmies.

Sur l'ensemble des exophtalmies de l'Institut environ un tiers des cas avaient d'autres signes cliniques oculaires dont principalement des opacifications cornéennes. La seconde lésion majoritairement retrouvée est la buphtalmie. Dans l'étude de Stephens et al. (2002), la principale lésion associée à l'exophtalmie est l'hyphéma. La formation des bulles de gaz s'effectue préférentiellement dans le réseau admirable de la choroïde à l'origine d'hémorragies intra-oculaires. Il existe quelques études sur les fréquences des signes oculaires des poissons en aquarium. Cependant elles consistent en une analyse descriptive des lésions observées sans partir initialement de l'exophtalmie. Par exemple, une étude menée par Himebaugh et al. (2024) sur une population de poissons-lune argentés (*Monodactylus argenteus*) décrit des lésions de cataracte (tous les grades sont représentés) sur l'ensemble des individus observés. D'autres lésions oculaires sont décrites dans 65% des cas avec par ordre d'importance. Les différentes proportions sont présentées dans la figure 80.

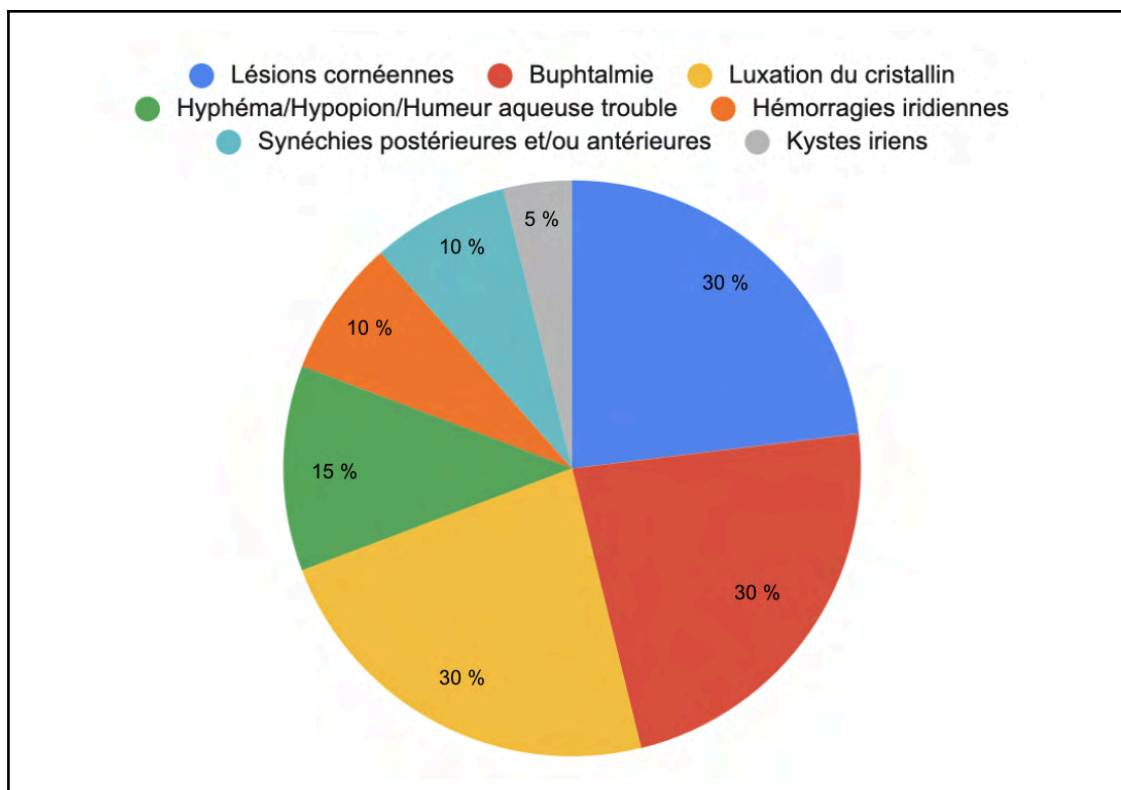


Fig. 79 : Proportion des principales lésions oculaires observées (hors cataracte) sur une population de poisson-lune (*Monodactylus argenteus*) durant l'étude menée par Himebaugh et al. (2024). Graphique créé à partir des résultats décrits dans l'étude.

Les lésions oculaires majoritaires sont proches de celles retrouvées à l'Institut Océanographique de Monaco. Cependant les exophtalmies ne sont pas mentionnées dans l'étude. Une autre étude cible les pathologies oculaires retrouvées chez les familles des Syngnathidae et les Apogonidae notamment (Kamaratunga et al., 2022). D'après les auteurs, l'exophtalmie reste une lésion clinique fréquente. En fait, l'intérêt d'étudier les lésions associées aux exophtalmies est de vérifier de potentielles corrélations. Ici, il s'agit d'une étude purement descriptive mais la littérature scientifique semble aussi cibler le descriptif. Ce manque de données sur les corrélations lésionnelles s'explique d'une part par le manque de connaissances pathogéniques. D'autre part, lors d'un examen ophtalmologique, il est difficile de distinguer les lésions primaires des lésions secondaires ce qui peut fausser les résultats.

Concernant les signes cliniques systémiques, environ un tiers des cas d'exophtalmies présente une atteinte de l'état général. La bibliographie manque de données sur la fréquence des signes généraux. Généralement, une atteinte générale associée à une lésion oculaire témoigne d'une affection systémique. Les troubles oculaires sont souvent la conséquence d'une cause primaire extra-oculaire. Les signes cliniques généraux sont souvent peu spécifiques ce qui complique le diagnostic.

Enfin, la répartition est à peu près équilibrée entre les exophtalmies unilatérales ou bilatérales à Monaco. En comparaison, Stephens et al. (2002), observent dans leur étude que les exophtalmies spontanées sont majoritairement unilatérales. Cette étude cible une seule espèce, mais les poissons sont soit nés en captivité soit capturés à l'état sauvage. Cette diversité dans les origines des individus se retrouve aussi dans les aquariums publics français. Selon les espèces, les poissons d'aquariums sont issus d'élevage spécialisés ou bien proviennent du milieu naturel. Comme pour l'étude de Stephens et al., (2022), il n'a pas été retenu de critère d'âge à l'Institut Océanographique de Monaco. Ce décalage observé entre cet article scientifique et les données de terrain s'expliquent par l'étiologie. Une cause primaire récurrente d'exophtalmie spontanée a été mise en évidence avec Stephens et al. (2002), la maladie des bulles de gaz. La pathogénie des bulles de gaz n'est certes pas entièrement connue mais la formation des bulles dépend des conditions physiques à l'intérieur de chaque œil. La maladie des bulles de gaz est source d'exophtalmies à l'Institut Océanographique de Monaco cependant une proportion non négligeable ont une étiologie autre. Cette variation dans les proportions des étiologies peut justifier les variations du ratio unilatéral/bilatéral des exophtalmies.

2. Les principales démarches diagnostiques

D'après les réponses des aquariums publics français, environ 60% réalisent des prélèvements lors d'exophtalmie. La majorité des structures font analyser les prélèvements auprès du vétérinaire traitant ou d'un laboratoire spécialisé. Parmi ces prélèvements, la majorité est utilisée pour faire des observations avec montage lame et lamelle. Ensuite, les examens mentionnés sont les analyses bactériologiques et histologiques. Les mêmes examens sont retrouvés à l'Institut Océanographique de Monaco. De plus, ils sont utilisés selon le même ordre d'importance. D'après la partie bibliographique, ces trois examens sont intéressants dans le cadre d'une démarche diagnostique ophtalmologique. Cependant, la fréquence de réalisation des prélèvements est inconnue. La localisation des prélèvements n'est pas non plus demandée. Ces données sont nécessaires à l'évaluation de la démarche

diagnostique des aquariums français et par conséquent, il est difficile de dire si cette démarche est réellement adaptée. Au cours des discussions approfondies, moins de la moitié des structures réalisent un antibiogramme et une analyse bactériologique avant de mettre en place un traitement antibiotique. Quelle est donc la part d'aquariums français utilisant les traitements sans examens complémentaires préalables ? De plus, certains examens décrits dans la première partie de cette thèse ne sont pas mentionnés dans le questionnaire. Par exemple, le test à la fluorescéine ou les ponctions rétro-oculaires. À Monaco, le test à la fluorescéine est systématiquement mis en place lors d'opacification cornéenne.

Un dernier point intéressant concerne les analyses environnementales. En effet, 40% des aquariums français constatent que l'exophtalmie est consécutive à un stress environnemental (une dégradation de la qualité de l'eau, un changement de biotope ou une pêche en mer). Ces mêmes structures décident de mettre en place un traitement médicamenteux en première intention avant d'agir sur le milieu. Cette information soulève le manque d'analyses environnementales dans le cadre de la démarche diagnostique. En revanche, l'analyse du milieu dépend des paramètres de surveillance de la qualité de l'eau utilisés par l'aquarium. L'Institut Océanographique de Monaco effectue des analyses du milieu lors de suspicion de maladie des bulles de gaz notamment.

3. Principales étiologies et lien avec la littérature scientifique

L'identification des étiologies des exophtalmies repose sur une démarche diagnostique. Cette démarche s'adapte aux signes cliniques, aux hypothèses et aux moyens des aquariums.

Les étiologies n'ont pas été demandées dans le questionnaire. L'objectif est d'en discuter de manière plus approfondie au cours des échanges. Environ 40% des aquariums concernés mettent en évidence une étiologie majoritaire lorsqu'un diagnostic final est atteint. Ainsi, dans les aquariums publics français, les principales causes d'exophtalmies seraient l'origine parasitaire et environnementale (plus précisément la maladie des bulles de gaz). Il s'agit uniquement d'estimations fournies par les employés de l'aquarium. La bibliographie ne fournit pas d'informations relatives aux principales étiologies retrouvées sur les exophtalmies. Les données monégasques sont difficilement interprétables. D'une part, les analyses réalisées et leurs résultats ne sont pas forcément mentionnés dans les fiches de suivi. D'autre part, le diagnostic final n'est pas atteint malgré les examens complémentaires. Ceci s'explique par l'absence de résultats interprétables par exemple, sur une analyse bactériologique à la suite d'une ponction rétro-oculaire. À Monaco, une cause environnementale est clairement identifiée, la maladie des bulles de gaz. Son diagnostic est facile lors de présence de bulles de gaz dans l'œil. Cependant, sur la période de juillet 2023 à septembre 2024, une étiologie infectieuse est identifiée sur la moitié des nouveaux cas d'exophtalmies. L'agent infectieux n'est pas clairement identifié mais les étiologies environnementales ont été exclues.

Kumaratunga et al. (2022) ont étudié les principales étiologies des affections oculaires des poissons d'aquariums en ciblant différentes familles. L'obtention d'un diagnostic final repose sur des analyses anatomo-pathologiques et des autopsies. Dans un premier temps, sur l'ensemble des cas recensés dans l'étude, 82,2% n'ont pas obtenu de diagnostic final. Ce résultat témoigne des enjeux actuels pour identifier l'étiologie sur une

atteinte oculaire. Ce taux ne peut pas être calculé sur les aquariums publics en France et à Monaco. L'absence du nombre de cas total et de registres empêchent l'estimation du taux d'exophtalmies sans diagnostic final.

Chaque diagnostic oculaire est classé dans différentes catégories et les études décrivent la répartition. Ces résultats sont disponibles sur la figure 80. Ainsi, l'inflammation reste une étiologie majoritaire lors d'atteinte oculaire suivie des hémorragies oculaires intraoculaires. Celles-ci sont principalement imputées aux traumatismes. Les auteurs parlent de diagnostic oculaire mais en réalité les atteintes péri-oculaires sont aussi prises en compte. Pour rappel, les atteintes péri-oculaires ne sont pas considérées dans ce travail de thèse. C'est pourquoi la présentation des résultats de cette étude sont adaptés à aux objectifs de la thèse. De plus, certains diagnostics sont catégorisés selon un signe clinique et non une étiologie primaire. Par exemple, la catégorie "cataracte". En effet, elles peuvent avoir plusieurs étiologies. Les exophtalmies sont selon les auteurs considérées comme un signe clinique et non une catégorie de diagnostic. C'est pourquoi elles n'apparaissent pas dans les résultats.

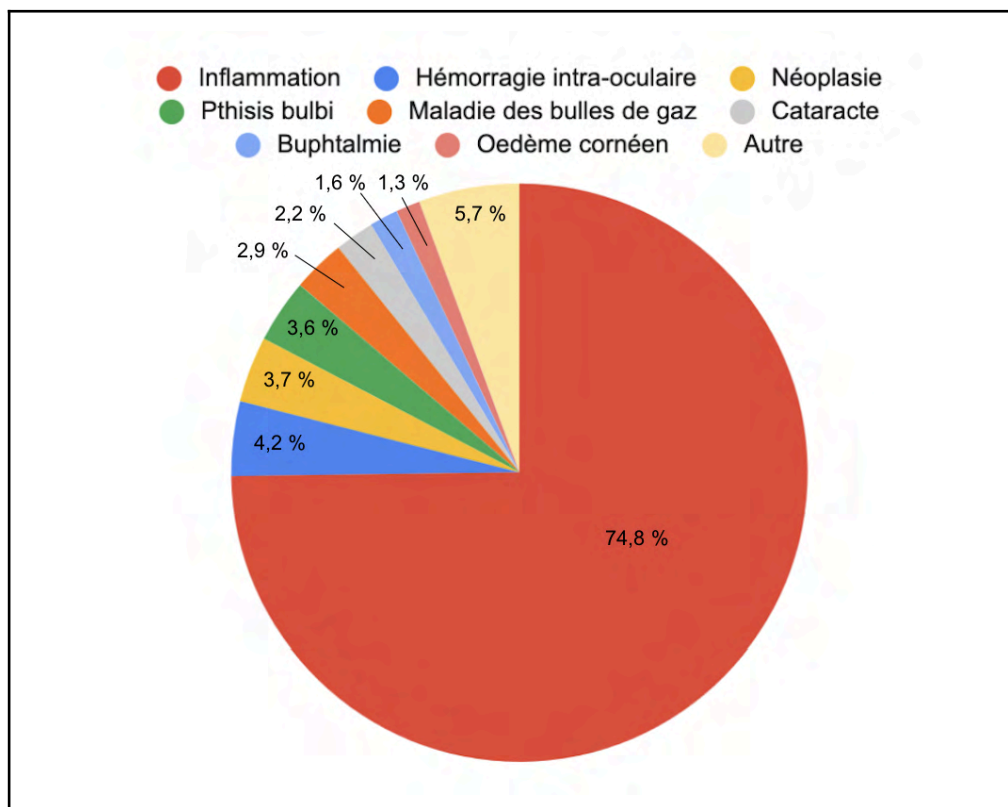


Fig. 80 : Proportions de la nature des diagnostics oculaires et périoculaires obtenus dans l'étude de Kumaratunga et al. (2022). Graphique réalisé à partir des résultats décrits dans l'étude.

Les auteurs ont également détaillé les types d'inflammation retrouvés dans les troubles oculaires. Les catégories établies ne sont cependant pas de même nature. Certaines inflammations sont classées selon le type d'agent infectieux et d'autres selon la localisation de l'inflammation. Les résultats de cette étude sont donc adaptés aux objectifs de la thèse afin de cibler les données d'intérêt. Ainsi, les atteintes périoculaires ne sont pas représentées (Fig. 81).

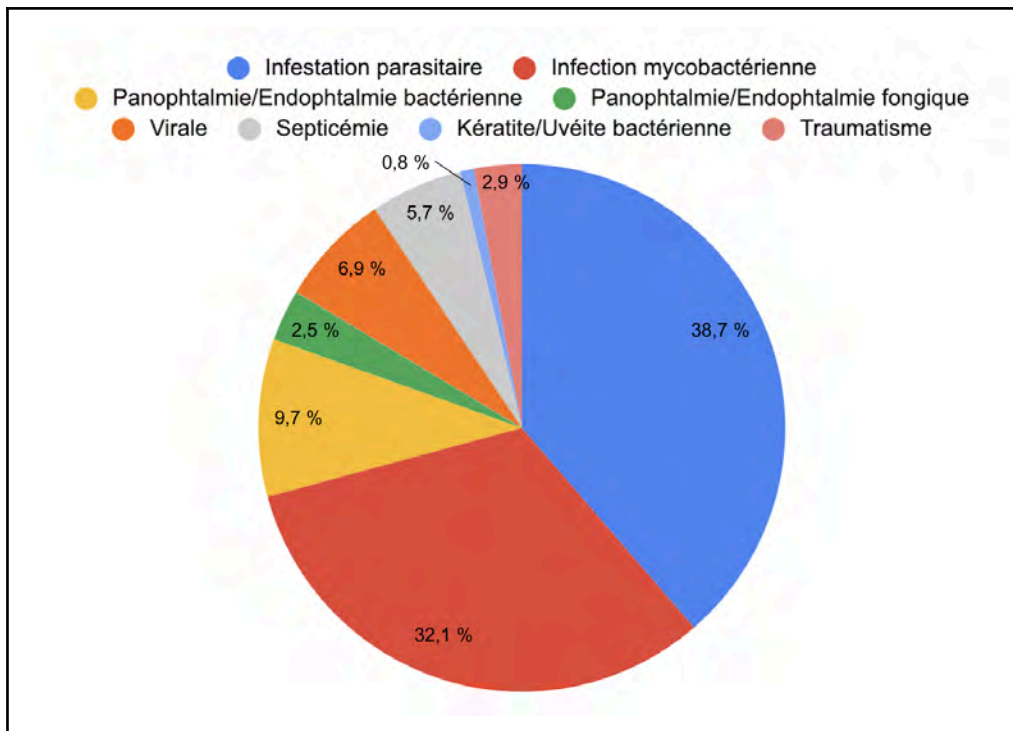


Fig. 81 : Proportions des types d'inflammations oculaires obtenues dans l'étude de Kumaratunga et al. (2022). Graphique réalisé à partir des résultats décrits dans l'étude.

En comparant avec les données obtenues sur le terrain, certaines étiologies sont fréquemment observées dans l'étude de Kumaratunga et al. (2022). C'est le cas des inflammations parasitaires et bactériennes. Les hémorragies intra-oculaires constituent des atteintes souvent associées aux exophtalmies de Monaco. Cependant, les causes environnementales semblent moins fréquentes en comparaison à nos enquêtes de terrain surtout à Monaco. Les différences de résultats peuvent s'expliquer sur les populations étudiées. Les cas cliniques utilisés dans l'article de Kumaratunga et al. (2022) proviennent d'aquariums différents ce qui n'est pas le cas de Monaco. Si l'atteinte oculaire est causée par un problème technique propre à la structure, elle sera peut-être moins représentée à l'échelle globale. Ainsi, les atteintes oculaires environnementales semblent marquées par un effet de dilution.

4. Création d'un outil d'aide au diagnostic

Suite aux différentes tendances décrites et interprétées dans les parties précédentes, le dernier objectif est de créer un outil appliqué à la problématique des exophtalmies. L'enjeu est donc de rendre cet outil adapté aux attentes des aquariums. L'Institut Océanographique de Monaco est principalement concerné par la maladie des bulles de gaz et les causes infectieuses. Ainsi, un outil d'aide au diagnostic oriente d'abord vers des hypothèses diagnostiques. Suite à ces hypothèses, cet outil propose des examens complémentaires permettant d'aboutir à une identification plus poussée de la cause primaire.

Ce guide se présente sous la forme d'un arbre de décision. Il y a deux arbres selon la situation initiale. Le premier arbre (Fig. 82) concerne les exophtalmies sur un cas isolé et le second (Fig. 83) concerne les exophtalmies sur des cas de groupe. En effet, la démarche

diagnostique diffère entre une atteinte sporadique et épidémique. Ensuite, la prochaine décision s'appuie sur l'anamnèse. Plus précisément, sur la durée d'évolution des signes cliniques. Les étapes suivantes suivent la démarche déjà décrite dans la partie bibliographique. Dans le but de distinguer les lésions ophtalmiques des autres lésions, un code couleur est établi. À l'issue des deux premiers arbres, se trouvent les hypothèses diagnostiques. Certaines sont propres aux exophtalmies sporadiques, telles que les origines néoplasiques. Par ailleurs, quelques hypothèses diagnostiques se recoupent parfois avec d'autres. En effet à la suite d'un examen clinique général et ophtalmologique, il n'est parfois pas possible de distinguer la cause primaire de la cause secondaire. Ces liens entre les hypothèses sont matérialisés par les flèches violettes.

Enfin, un troisième arbre (Fig. 84), cible la démarche diagnostique selon la première hypothèse diagnostique. Il permet d'aboutir à une identification plus poussée de la cause primaire. Ce dernier arbre inclut à la fois la démarche sur les exophtalmies sporadiques et épidémiques. La démarche ciblant les cas sporadiques est écrite en noir et celle des cas épidémiques en bleu. Les étapes encadrées en bleu concernent les deux démarches. Selon le diagnostic obtenu, l'arbre fournit une conduite à tenir. Cette version reste à disposition des structures. Sur la figure, les conduites à tenir sont remplacées par les pages correspondantes dans le manuscrit.

Cet arbre apporte une aide au diagnostic des exophtalmies uniquement. Il existe une variabilité individuelle en pratique qui ne peut pas être décrite dans l'arbre diagnostique. Il est donc possible qu'il ne soit pas applicable sur certains cas. En parallèle, l'origine mycobactérienne correspond aux infections causées par des bactéries et/ou des agents fongiques (mycoses).

Au cours de sa création, le principal objectif de ce guide est de fournir une première prise en charge en réduisant l'usage d'un traitement probabiliste. Les annexes 5 et 6 sont principalement adressés aux employés des aquariums. Afin de réduire les erreurs d'identification des lésions, une encyclopédie simplifiée des lésions oculaires est mise à disposition des structures. Ce document regroupe les définitions décrites dans la première partie du manuscrit. Selon les moyens dont dispose la structure qui teste cet arbre, les examens complémentaires sont réalisés et analysés sur place, par le vétérinaire ou un laboratoire spécialisé. Ce guide a été testé sur les nouveaux cas de l'Institut Océanographique de Monaco depuis avril 2024. De plus, il a été relu par différents vétérinaires de la filière aquacole.

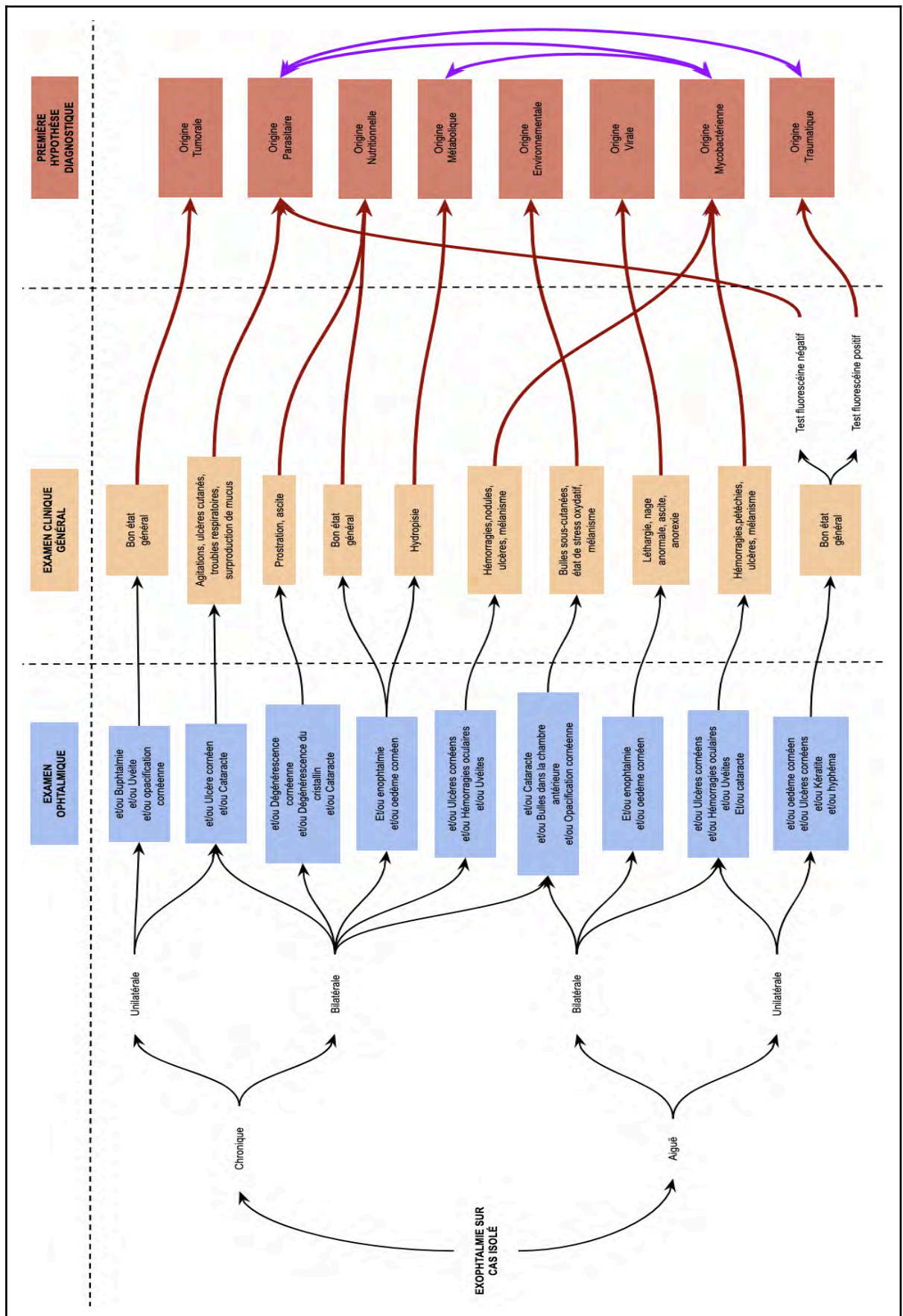


Fig. 82 : Arbre 1, exophtalmie sur un cas isolé.

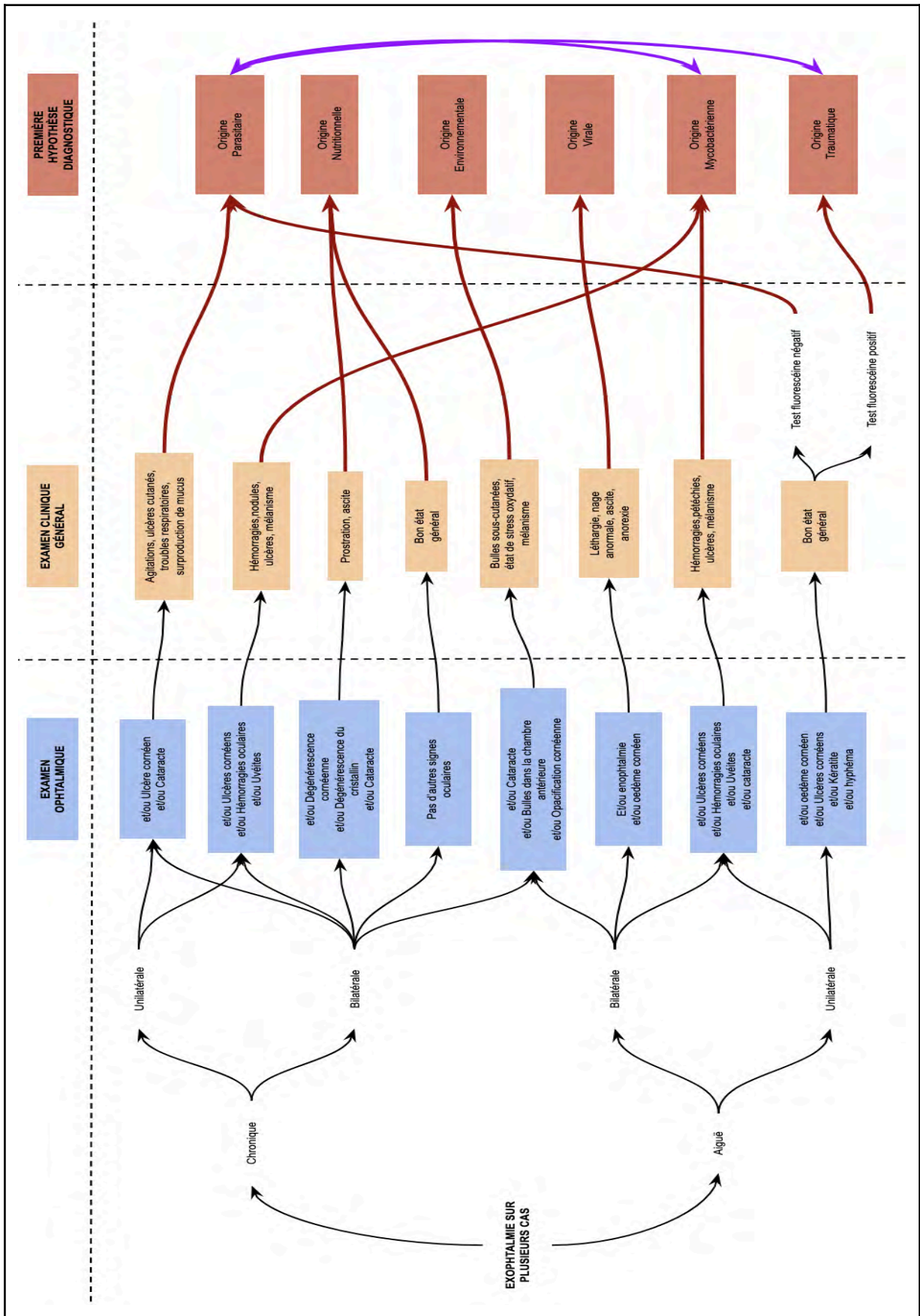


Fig. 83 : Arbre 2, exophtalmie sur plusieurs cas.

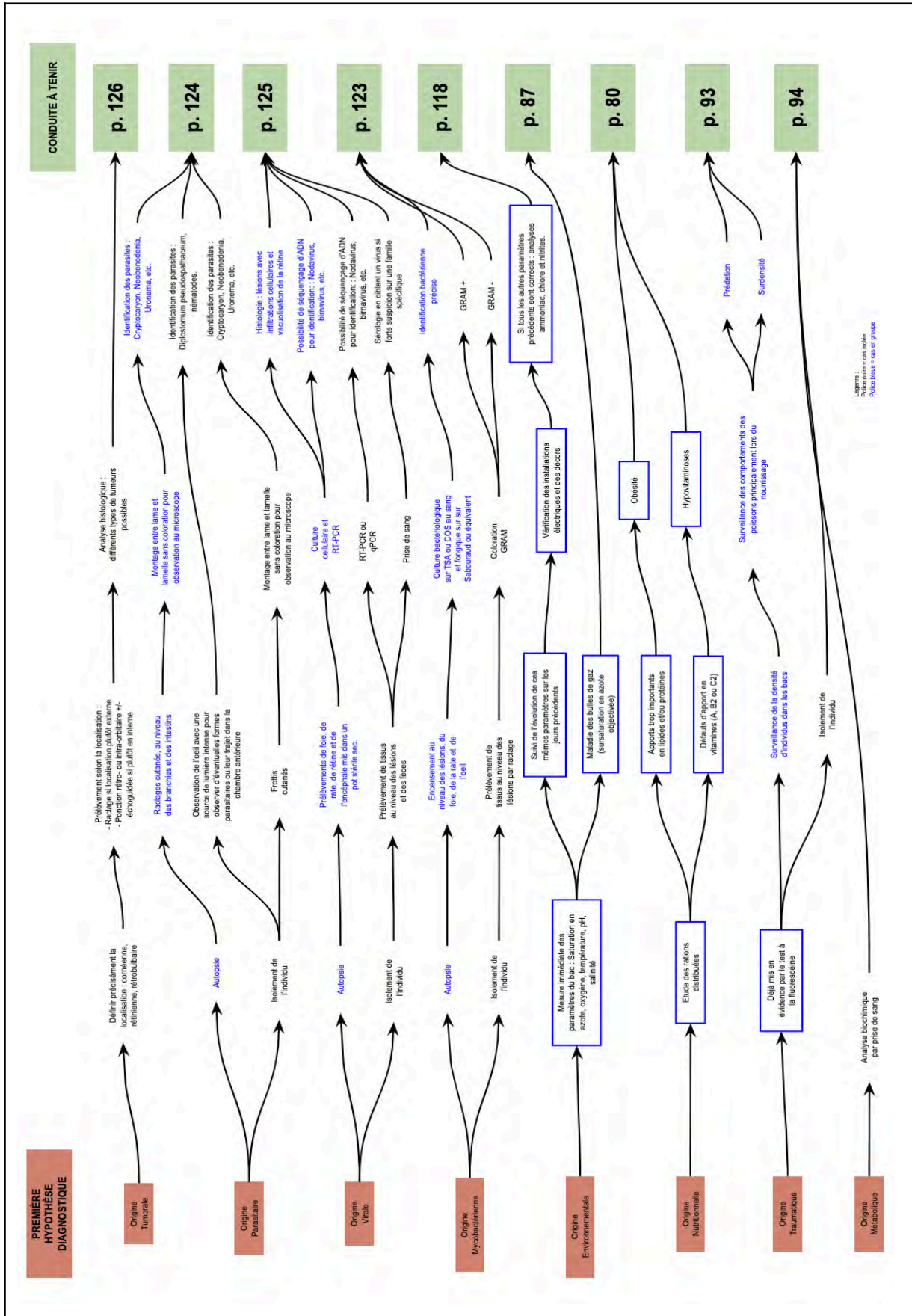


Fig. 84 : Arbre 3, examens complémentaires selon la première hypothèse diagnostique.

Nos deux études de terrain ont permis de dresser un état des lieux des exophtalmies dans les aquariums publics en France et à Monaco. Une majorité des participants aux études considèrent les exophtalmies comme une priorité. Les réponses mettent en évidence certaines tendances.

D'abord, les exophtalmies sont plus présentes au sein de certains bassins et secteurs. Les deux enquêtes révèlent que les secteurs tempérés sont plus touchés par les exophtalmies. De plus, l'incidence des exophtalmies semble augmentée selon les familles de poissons et selon la saison. Les sparidés, les gadidés, les serranidés et les holocentridés sont les principales familles de poissons mentionnées dans les enquêtes. Dans la littérature scientifique, Kumaratunga et al. (2022) retrouvent principalement des affections oculaires chez les syngnathidés. Stephens et al., (2002) estiment que les exophtalmies sont plus fréquentes lors d'une augmentation de la température et pendant la période estivale. Ces résultats ne corroborent pas avec ceux de cette thèse. La comparaison reste toutefois partielle. En effet, la bibliographie ne dispose pas d'une enquête s'appuyant sur les mêmes matériels et méthodes.

Ensuite, la finalité des exophtalmies varie selon les cas et les aquariums. Cette évolution semble conditionnée par trois paramètres : l'absence de diagnostic final, l'utilisation d'un traitement probabiliste antibiotique et la faible analyse des paramètres du milieu. La faible proportion de diagnostic sur les cas se retrouve dans l'étude de Kumaratunga et al. (2022). L'utilisation d'antibiotiques en première intention favorise les résistances bactériennes et limite les résultats des examens complémentaires. Les paramètres environnementaux mesurés au sein des aquariums sont certes similaires, mais avec des fréquences de surveillance très différentes. De plus, ils ne sont pas utilisés comme outil diagnostique.

Finalement les tendances liées aux étiologies sont proches de l'étude de Kumaratunga et al. (2022). Les premières causes d'affections oculaires sont d'origine inflammatoire (surtout parasitaire), traumatique puis environnementale.

Nos études ont amené à la création d'un arbre décisionnel. Cet outil diagnostique guide les professionnels dans la prise en charge et la gestion des exophtalmies touchant les poissons en aquariums.

CONCLUSION :

Dans un premier temps, cette thèse présente l'anatomie et la physiologie générale de l'œil des poissons. Malgré une certaine stabilité structurale et fonctionnelle de l'œil des différentes espèces de poisson, la littérature scientifique démontre des adaptations spécifiques selon le milieu de vie.

Les données bibliographiques permettent aussi de définir les principales lésions oculaires, les pathologies ophtalmiques et leur gestion. Les lésions oculaires décrites chez les poissons sont variées. Elles constituent une première source diagnostique selon leur nature et leur localisation. Aujourd'hui, une identification correcte de ces lésions est primordiale. Elle est d'autant plus importante de par la diversité des pathologies oculaires décrites. En regard de l'analyse bibliographique, les pathologies montrent un ratio équilibré entre les origines infectieuses et non infectieuses. Même si le descriptif des lésions aide parfois à l'identification de la pathologie, il n'exclut pas la mise en place d'une démarche diagnostique adaptée.

La bibliographie décrit de nombreux examens complémentaires peu invasifs et rapides à mettre en œuvre. D'autres nécessitent l'intervention d'un laboratoire spécialisé. Ils servent à orienter la prise en charge parmi les nombreuses thérapies existantes : environnementales, médicamenteuses et/ou chirurgicales. La variété des prises en charge décrites ne doit pas limiter la mise en place de mesures de prévention.

Dans un second temps, cette étude a établi un état des lieux des exophtalmies rencontrées sur les poissons dans les aquariums, grâce à la participation de dix-sept aquariums publics français. Elle met en évidence les enjeux des atteintes oculaires au sein des aquariums et de l'intérêt porté par les professionnels. De nombreuses structures décrivent des espèces de poissons et des bacs cibles particulièrement sensibles à ces pathologies oculaires. Les résultats du questionnaire et l'analyse bibliographique montrent l'absence d'études épidémiologiques sur les exophtalmies.

Les résultats témoignent aussi de la difficulté à obtenir un diagnostic final complet sur le terrain. Ceci s'explique par la faible utilisation des examens complémentaires et a motivé la création d'un outil d'aide au diagnostic des exophtalmies. Certains aquariums font exception car ils possèdent leur propre laboratoire d'analyse, comme l'Institut Océanographique de Monaco. L'absence de diagnostic final réside également dans l'utilisation d'antibiotiques en première intention. En effet, un traitement probabiliste est souvent privilégié par rapport à la mise en place d'examens complémentaires. Ces automédications répandues présentent des réponses cliniques variables chez les poissons et favorisent l'apparition de résistances.

Les mesures préventives occupent une place importante dans la gestion des atteintes oculaires en aquariums. Cette gestion préventive semble s'accompagner d'un intérêt croissant de la prise en compte du bien-être des poissons et des connaissances anatomo-pathologiques.

Ce travail de thèse peut servir de guide dans la mise en place d'une démarche diagnostique et dans la gestion des pathologies oculaires chez les poissons. Il est destiné à la fois aux vétérinaires, aux particuliers et aux professionnels en lien avec le milieu aquacole.

BIBLIOGRAPHIE :

ABD EL AZIZ M.A., KAMEL G.M. et MAHMOUD A., *Seasonal study, histopathological and treatment trial on Saprolegniosis in some fish farms*, In The proceeding of first scientific conference of Veterinary Medicine, University of Banha, Moshtohor, publié en septembre 2004, p. 1-14. Disponible sur : https://www.bu.edu.eg/portal/uploads/openLearning/SEASONAL%20STUDY,%20HISTOPATHOLOGICAL%20AND%20TREATMENT%20TRIAL%20ON%20SAPROLEGNIOSIS%20IN%20SOME%20FISH%20FARMS._paper_en.pdf [consulté en octobre 2024].

ALAM S., AFZAL G., IQBAL Z., HUSSAIN R. et al., *Fungal Zoonotic Infections in Fish an emerging threat to Aquatic and Terrestrial life*, dans : *Zoonosis*, Unique Scientific Publishers, Faisalabad, Pakistan, Vol. 4, publié en août 2023, p. 611-624. Disponible sur : [10.47278/book.zoon/2023.183](https://doi.org/10.47278/book.zoon/2023.183), [consulté en septembre 2024].

ALLISON W.T., BARTHEL L.K., SKEBO K.M., TAKECHI M., KAWAMURA S. et RAYMOND P.A., *Ontogeny of cone photoreceptor mosaics in zebrafish*, *Journal of Comparative Neurology*, Vol. 518(20), publié en août 2010, p. 4182-4195. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/cne.22447>, [consulté en septembre 2024].

ALY S.M. et ISMAIL M.M., *Characteristics of Infectious Dropsy from an Epizootic of Cultured Common Carp (Cyprinus carpio L.) with Special Investigation to Swim-bladder Lesions*. *Suez Canal Veterinary Medical Journal*, Vol. 21(1), publié en juin 2016, p. 185-195. Disponible sur : <https://doi.org/10.21608/scvmj.2016.62830>, [consulté en octobre 2024].

ANSHARY H., KURNIAWAN R.A., SRIWULAN S., RAMLI R. et BAXA D.V., *Isolation and molecular identification of the etiological agents of streptococcosis in Nile tilapia (Oreochromis niloticus) cultured in net cages in Lake Sentani, Papua, Indonesia*, *SpringerPlus*, Vol. 3(627), publié en octobre 2014, 12 p. Disponible sur : <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-627>, [consulté en octobre 2024].

AUGUSTINE-WOFFORD K., CONNAUGHTON V.P. et MCCARTHY E., *Are Hypoglycemia-Induced Changes in the Retina associated with Diabetes-Related Changes in the Brain ? A review from Zebrafish and Rodent Type 2 Diabetes Models*, *Biology*, Vol. 13(7), publié en juin 2024, p. 477. Disponible sur : <https://doi.org/10.3390/biology/13070477>, [consulté en novembre 2024].

AZAB A.M., SHOMAN H.M., EL-DEEB R.M., ABDELHAFEZ H.M. et SAMEI S.E.A., *Comparative Studies on the Histology of Eye Retina in Some Nile Fishes with Different Dial Activities*, *The Egyptian Journal of Hospital Medicine*, Vol. 68, publié en juillet 2017, p. 815-823. Disponible sur : <https://doi.org/10.12816/0038179>, [consulté en juillet 2024].

BAHADORI R., HUBER M., RINNER O., SEELIGER M.W., GEIGER-RUDOLPH S., GEISLER R. et NEUHAUSS S.C.F., *Retinal function and morphology in two zebrafish models of oculo-renal syndromes*, *European Journal of Neuroscience*, Vol. 18(6), publié en septembre 2003, p. 1377-1386. Disponible sur : <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2003.02863.x>, [consulté en octobre 2024].

BARNES M.E. et BROWN M.L., *A review of Flavobacterium psychrophilum biology, clinical signs and bacterial cold water disease prevention and treatment*, *Open Fish Science Journal*, Vol. 4, publié en 2011, p. 40-48. Disponible sur <https://doi.org/10.2174/1874401X01104010040>, [consulté en septembre 2024].

BARNETT C. H., *The structure and function of the choroidal gland of teleostean fish*, Journal of Anatomy, Vol. 85(2), publié en 1951, p. 113-119. PMID: 14824024, PMCID : PMC1273590, [consulté en septembre 2024].

BEJARANO-ESCOBAR R., BLASCO M., MARTIN-PARTIDO G. et FRACISCO-MORCILLO J., *Light-induced degeneration and microglial response in the retina of an epibenthic pigmented teleost : age-dependent photoreceptor susceptibility to cell death*, Journal of Experimental Biology, Vol. 215(21), publié en novembre 2012, p. 3799-3812. Disponible sur : <https://doi.org/10.1242/jeb.072124>. [consulté en octobre 2024].

BJERKÅS E., BJØRNESTAD E., BRECK, O. et WAAGBØ R., *Water temperature regimes affect cataract development in smolting Atlantic salmon, Salmo salar L.*, Journal of Fish Diseases, Vol. 24(5), publié en décembre 2001, p. 281-291. Disponible sur : <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.2001.00299.x>, [consulté en novembre 2024].

BJÖRNSSON B., *Can UV-treated seawater cause cataract in juvenile cod (Gadus morhua L.) ?*, Aquaculture, Vol. 240 (1-4), publié en octobre 2004, p. 187-199. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.02.017>, [consulté en novembre 2024].

BLANC, J., *Médecine des poissons d'aquarium et place du vétérinaire dans son développement en France*. Thèse vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse : 2018, 202 p.

BRETT J.B., *The sense organs: the eye*, Dans : *The Physiology of Fishes, Vol. II : Behavior*, édité par BROWN M.E., Academic Press New York., publié en 1957. p. 121-154.

BUCHMANN K. et VON GERSDORFF JØRGENSEN L., *Ichthyophthirius multifiliis*, Dans : *Fish parasites : a handbook of protocols for their isolation, culture and transmission*, édité par SITJÀ-BOBADILLA A. et PIAZZON M.C., 2021, p. 1-16, ISBN : 9781789181333.

CANTAS L., SØRBY J.R.T., ALESTRÖM P. et SØRUM H., *Culturable gut microbiota diversity in Zebrafish*, Zebrafish Vol. 9(1), publié en mars 2012, p. 26-37. Disponible sur : <https://doi.org/10.1089/zeb.2011.0712>, [consulté en septembre 2024].

CARDOSO P.H.M., BALIAN S.D.C., SOARES H.S., TANCREDO K.R. et MARTINS M.L., *Neobenedenia melleni (Monogenea : Capsalidae) in ornamental reef fish imported to Brazil*, Brazilian Journal of Veterinary Parasitology, Vol. 28(1), publié en janvier 2019, p. 157-160. Disponible sur : <https://doi.org/10.1590/S1984-296120180076>, [consulté en septembre 2024].

CARPENTER J.W. et MARION C., *Exotic Animal Formulary*, Elsevier Health Science, Fifth Edition, publié en 2017, p. 41-90. ISBN : 978-0-323-44450-7.

CECIL T.R., *Environmental Disorders* In : *BSAVA Manual of Ornamental Fish, Second Edition*, édité par WILDGOOSE W.H. et British Small Animal Veterinary Association, 2001, p. 205-212, ISBN : 0-905214-57-9.

CHATIGNY F., KAMUNDE C., CREIGHTON C.M. et STEVENS E.D., *Uses and doses of local anesthetics in fish, amphibians and reptiles*, Journal of the American Association for Laboratory Animal Science, Vol. 56(3), publié en mai 2017, p. 244-253. Disponible sur : <https://www.ingentaconnect.com/content/aalas/jaalas/2017/00000056/00000003/art00002>, [consulté en novembre 2024].

CHENG C.L., GAN K.J. et FLAMARIQUE I.N., *Thyroid hormone induces a time-dependent opsin switch in the retina of salmonid fishes*, Investigative ophthalmology & visual science,

Vol 50(6), publié en juin 2009, p. 3024-3032. Disponible sur : <https://doi.org/10.1167/iovs.08-2713>, [consulté en novembre 2024].

CHHETRI J., JACOBSON G., et GUEVEN N., *Zebrafish, on the move towards ophthalmological research*, Eye, Vol. 28(4), publié en février 2014, p. 367-380. Disponible sur : <https://doi.org/10.1038/eye.2014.19>, [consulté en octobre 2024].

CHIARELLO M. AUGUET J.C., BETTAREL Y., BOUVIER C., CLAVERIE T. GRAHAM N.A., et al., *Skin microbiome of coral reef fish is highly variable and driven by host phylogeny and diet*, Microbiome, Vol. 6(147), publié en août 2018, p. 1-14. Disponible sur : <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0530-4>, [consulté en août 2024].

CHOW D.W., WESTERMEYER H.D., FERNANDO N., HOEY S. et DUBIELZIG R.R., *Unilateral ventral strabismus in an aquarium Silver Arowana (Osteoglossum bicirrhosum)*, Veterinary Ophthalmology, Vol. 19(6), publié en novembre 2016, p. 510-517. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/vop.12320>, [consulté en octobre 2024].

CLODE A.B., HARMS C., FATZINGER M.H., YOUNG F., COLITZ C. et WERT D., *Identification and management of ocular lipid deposition in association with hyperlipidaemia in captive moray eels, Gymnothorax funebris Ranzani, Gymnothorax moringa (Cuvier) and Muraena retifera Goode and Bean*, Journal of Fish Diseases, Vol. 35(9), publié en septembre 2012, p.683-693. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2012.01396.x>, [consulté en septembre 2024].

COOK J.E. et BECKER D.L., *Regular mosaics of large displaced and non-displaced ganglion cells in the retina of a cichlid fish*, Journal of Comparative Neurology, Vol. 306(4), publié en avril 1991, p. 668-684. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/cne.903060409>, [consulté en août 2023].

COWEY C.B. et CHO C.Y., *Nutritional requirements of fish*, Proceedings of The Nutrition Society, Vol. 52(3), publié en 1993, p. 417-426. Disponible sur : <https://doi.org/10.1079/PNS19930082>, [consulté en octobre 2024].

DAMSGAARD C., LAURIDSEN H., KWAN G.T., THOMSEN J.S., FUNDER A.M. et BRAUNER C.J., *A novel acidification mechanism for greatly enhanced oxygen supply to the fish retina*, Elife, Vol. 9, publié en août 2020, 20 p. Disponible sur : <https://doi.org/10.7554/eLife.5899>, [consulté en octobre 2024].

DA SILVA E.G., GIONFRIDDO J.R., POWELL C.C., CAMPBELL T.W., et EHRHART E.J., *Case report : Iridociliary melanoma with secondary lens luxation : distonctive findings in a long-horned cowfish (Lactoria cornuta)*, Veterinary Ophthalmology, Vol. 13, publié en septembre 2010, p. 123-127. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1463-5224.2010.00804.x>, [consulté en octobre 2024].

DEAL C.K. et VOLKOFF H., *The role of the thyroid axis in fish*, Frontiers in endocrinology, Vol. 11, publié en novembre 2020, p. 596585. Disponible sur : <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.596585>, [consulté en octobre 2024].

DELGHANDI M.R., EL-MATBOULI M. et MENANTEAU-LEDOUBLE S., *Mycobacteriosis and Infections with non-tuberculous Mycobacteria in Aquatic Organisms : a Review*, Microorganisms, Vol. 8(9), publié en septembre 2020, 1368 p. Disponible sur : <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091368>, [consulté en octobre 2024].

DELGHANDI M.R., EL-MATBOULI M. et MENANTEAU-LEDOUBLE S., *Renibacterium salmoninarum - The Causative Agent of Bacterial Kidney Disease in Salmonid Fish*,

Pathogens, Vol. 9(10), publié en octobre 2020, 845 p. Disponible sur : <https://doi.org/10.3390/pathogens9100845>, [consulté en octobre 2024].

DE BUSSEROLLES F. et MARSHALL, N. J., *Seeing in the deep-sea : visual adaptations in lanternfishes*, Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, Vol. 372(1717), publié en avril 2017, vol. 372, no 1717, p. 20160070. Disponible sur : <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0070>, [consulté en juillet 2024].

DE KINKELIN P., DORSON M., BENMANSOUR A., CASTRIC J., THIÉRY R., MORIN T. et HEDRICK R.P., *Virus et viroses des poissons*, Santé des poissons, HAL open science, publié en janvier 2018, 134 p. Disponible sur : <https://doi.org/10.15454/1.5332127475160718E12>, [consulté en septembre 2024].

DE KINKELIN P. et PETIT J., *Maladies et troubles engendrés par la qualité de l'eau*, Santé des poissons, HAL open science, publié en juin 2020, 54p. Disponible sur : <https://doi.org/10.15454/1.5332132075866326E12>, [consulté en novembre 2024].

DOUGLAS R.H. et CRAWFORD L.M., *Fish Vision*, dans : *Elements of Physical Oceanography : A derivative of the Encyclopedia of Ocean Sciences, Second Edition*, édité par Elsevier et STEELE J.H., publié en 2009, p. 350. ISBN : 978-0-08-096480-5.

DOULOS S.K. et KINSCHI G.A., *Effect of oxygen supersaturation on the culture of cutthroat*, Aquaculture Research, Vol. 21(1), publié en janvier 1990, p. 39-46. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1990.tb00381.x>, [consulté en novembre 2024].

DUIJN C. Van Jr., *Diseases of fishes*, 1973, 372 p. ISBN : 19740808385.

EDELHAUSER H.F., *The Balance Between Corneal Transparency and Edema the Proctor Lecture*, Investigative Ophthalmology & Visual Science, Vol. 47(5), publié en mai 2006, p. 1755-1767. Disponible sur : <https://doi.org/10.1167/iovs.05-1139>, [consulté en août 2024].

EDSALL D.A. et SMITH C.E., *Performance of rainbow trout and Snake River cutthroat trout reared in oxygen-supersaturated water*, Aquaculture, Vol. 90(3-4), publié en novembre 1990. Disponible sur : [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90249-M](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90249-M), [consulté en novembre 2024].

EISSA I.A.M., ALY S.M., DERWA H.I et AML F., *Studies on vibriosis among some marine fishes in Lake Tamsah*, Suez Canal Medical Journal, Vol. 22(1), publié en juin 2017, P. 1-18. Disponible sur : <https://doi.org/10.21608/scvmj.2017.62369>, [consulté en septembre 2024].

ELLIS T. *Koi herpesvirus (KHV) disease and fisheries*, Blog Marine Science, Centre for Environment Fisheries and Aquaculture Science [en ligne], 2 octobre 2015. Disponible sur : <https://marinescience.blog.gov.uk/2015/10/02/koi-herpesvirus-khv-disease-and-fisheries/>, [consulté le 19 septembre 2024].

EL-DEEN N., SHALABY A.I., MONA S.I., ZAKI S. et ABD ELZAHER M.F., *Some Infectious and Non Infectious Eye Affection Syndrome in Fish*, Life Science Journal, Vol. 10(2), publié en janvier 2013, p. 1362-1368 [en ligne]. Disponible sur : https://www.lifesciencesite.com/ljsj/life1002/188_18152life1002_1362_1368.pdf, [consulté en octobre 2024].

ERSDAL C., MIDTLYNG P.J. et JARP J., *An epidemiological study of cataracts in seawater farmed Atlantic salmon *Salmo salar**, Diseases of Aquatic Organisms, Vol. 45, publié en août 2001, p. 229-236. Disponible sur : <https://doi.org/10.3354/dao045229>, [consulté en octobre 2024].

EYNGOR M., ZAMOSTIANO R., KEMBOU TSOFAK J.E., BERKOWITZ A., BERCOVIER H. et al., *Identification of a novel RNA virus lethal to Tilapia*, Journal of clinical microbiology, Vol. 52(2), publié en décembre 2014, p. 4137-4146. Disponible sur : <https://doi.org/10.1128/jcm.00827-14>, [consulté en septembre 2024].

FAJER-ÁVILA E. J., MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ I., DE LA PARRA M. I. A., ÁLVAREZ-LAJONCHERE L. et BETANCOURT-LOZANO M., *Effectiveness of freshwater treatment against *Lepeophtheirus simplex* (Copepoda: Caligidae) and *Neobenedenia* sp.(Monogenea: Capsalidae), skin parasites of bullseye puffer fish, *Sphoeroides annulatus* reared in tanks*, Aquaculture, Vol. 284(1-4), publié en novembre 2008, p. 277-280. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.027>, [consulté en octobre 2024].

FERCHIOU S., CAZA F., VILLEMUR R., LABONNE J. et SAINT-PIERRE Y., *Skin and Blood microbial signatures of sedentary and migratory trout (*Salmo trutta*) of the Kerguelen Islands*, Fishes, Vol. 8(4), publié en mars 2023, p. 174. Disponible sur : <https://doi.org/10.3390/fishes8040174>, [consulté en septembre 2024].

FIDDES M., *Fish anesthesia*, dans : *Anesthesia of Exotic Pets*, édité par LONGLEY L., Saint Louis : Elsevier Health Science UK, publié en 2008, p. 261-278. ISBN : 978-0-7020-3730-6. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-2888-5.50019-8>, [consulté en octobre 2024].

FRANCIS-FLOYD R., *Mycobacterial Infections in Fish*, Southern Regional Aquaculture Center, n° 4706, publié en novembre 2011, 12 p Disponible sur : <https://extension.rwf.tamu.edu/wp-content/uploads/sites/8/2013/09/SRAC-Publication-No.-4706-Mycobacterial-Infections-of-Fish.pdf> [consulté en octobre 2024].

FRANCIS-FLOYD R. et WILDGOOSE W., *Behavioural changes*, In : *BSAVA Manual of Ornamental Fish, Second Edition*, édité par WILDGOOSE W.H. et British Small Animal Veterinary Association, 2001, p. 147-154, ISBN : 0-905214-57-9.

FRONTON F., FERCHIOU S., CAZA F., VILLEMUR R., ROBERT D. et SAINT-PIERRE Y., *Insights into the circulating microbiome of Atlantic and Greenland halibut populations : the role of species-specific and environmental factors*, Scientific Reports, Vol. 13(1), publié en avril 2023, 5971. Disponible sur : <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32960-6>, [consulté en septembre 2023].

GAUCHIN E., *Rôles du vétérinaire en aquarium*, Thèse vétérinaire, Liège Université médecine vétérinaire : 2020, 53 p.

GAUTHIER D.T. et RHODES M.W., *Mycobacteriosis in fishes : A review*, The Veterinary Journal, Vol. 180, publié en avril 2009, p. 33-47. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2008.05.012>, [consulté en octobre 2023].

GENDRON R.L., ARMSTRONG E., PARADIS H., HAINES L., DESJARDIN M., SHORT C.E., CLOW K.A. et DRIEDZIC W.R., *Osmotic pressure-adaptive responses in the eye tissues of rainbow smelt (*Osmerus mordax*)*, Molecular Vision, Vol. 17, publié en octobre 2011, p. 2596-2604. Disponible sur : <http://www.molvis.org/molvis/v17/a280>, [consulté en juillet 2024].

GJESSING M., KVELLESTAD A., OTTESEN K. et FALK K., *Nodavirus provokes subclinical encephalitis and retinochoroiditis in adult farmed Atlantic cod, *Gadus morhua* L.*, Journal of Fish Diseases, Vol. 32(5), publié en avril 2009, p. 421-431. Disponible sur :

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2009.01033.x>, [consulté en octobre 2024].

GNANAGOBAL H., *Renibacterium salmoninarum* and *Aeromonas salmonicida* pathogenesis and virulence in lumpfish (*Cyclopterus lumpus*). Thèse de doctorat. Memorial University of Newfoundland. 2023, 364 p.

GOLDEN M.I.,(1978). *The anatomical basis for the maintenance of intra-ocular pressure in the salmon*, Dissertation doctorale, Université de Chicago publiée en juin 1978.

GRAY M.P., SMITH R. S., SOULES K.A., JOHN S.W.M., et LINK B.A. *The Aqueous Humor Outflow Pathway of Zebrafish*, Investigative Ophthalmology & Visual Science, Vol. 50(4), publié en avril 2009, p. 1515-1521. Disponible sur <https://doi.org/10.1167/iovs.08-3010>, [consulté en octobre 2024].

GUDMUNSDOTTIR B.K., *Infections by atypical strains of the bacterium Aeromonas salmonicida*, Buvisindi, Vol. 12, publié en 1998, p. 61-72. [en ligne], [consulté en septembre 2024].

GÜLTEPE N. ATE O., HISAR O. et BEYDEMIR O., *Carbonic Anhydrase Activities from The Rainbow Trout Lens Correspond to the Development of Acute Gas Bubble Disease*, Journal of Aquatic Animal Health, Vol. 23(3), publié en septembre 2011, p. 134-139. Disponible sur : <https://doi.org/10.1080/08997659.2011.616848>, [consulté en septembre 2024].

HADFIELD C. A., *Bacterial Diseases*, dans : *Clinical Guide to Fish Medicine*, HADFIELD C.A. et CLAYTON LA., édité par John Wiley & Sons, publié en juillet 2021, p. 431-467. Online ISBN : 9781119259886. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/9781119259886.ch25>, [consulté en octobre 2024].

HADFIELD C. A., *Ocular Signs*, dans : *Clinical Guide to Fish Medicine*, HADFIELD C.A. et CLAYTON LA., édité par John Wiley & Sons, publié en juillet 2021, p. 431-467. Online ISBN : 9781119259886. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/9781119259886.ch21>, [consulté en octobre 2024].

HADFIELD C. A., WHITAKER B. R. et CLAYTON LA., *Emergency and critical care of fish*, Veterinary Clinics of North America : Exotic Animal Practice, Vol. 10(2), publié en mai 2007, p. 647-675. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2007.01.002>, [consulté en octobre 2024].

HANYU, I. *On the falciform process, vitreal vessels and other related structures of the teleost eye. II. Vascularization*, Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries, 1959, Vol. 25, p. 614-619. [consulté en octobre 2024].

HARGIS JR. W. J., *Disorders of the eye in finfish*, Annual Review of Fish Diseases, Vol. 1, publié en 1991, p. 95-117. Disponible sur : [https://doi.org/10.1016/0959-8030\(91\)90025-F](https://doi.org/10.1016/0959-8030(91)90025-F), [consulté en octobre 2024].

HARMS C.A. et WILDGOOSE W.H., *Surgery In : BSAVA Manual of Ornamental Fish, Second Edition*, édité par WILDGOOSE W.H. et British Small Animal Veterinary Association, 2001, p. 259-266, ISBN : 0-905214-57-9.

HASSAN M.A., OSMAN H.A.M. et MAHMOUD M.A., *Studies on Dermocystidiosis (yellow muscle disease) among some marine fishes of Arabian Gulf and Red Sea coast*, Middle-East Journal of Scientific Research, Jeddah, Saudi Arabia, Vol. 22(4), publié en janvier 2014, p. 478-487. Disponible sur : [10.5829/idosi.mejsr.2014.22.04.86243](https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2014.22.04.86243), [consulté

en septembre 2024].

HAWKES J.W. et STEHR C.M., *Cytopathology of the brain and retina of embryonic surf smelt (*Hypomesus pretiosus*) exposed to crude oil*, Environmental research, Vol. 27(1), publié en février 1982, p. 164-178. Disponible sur : [https://doi.org/10.1016/0013-9351\(82\)90067-6](https://doi.org/10.1016/0013-9351(82)90067-6), [consulté en novembre 2024].

HENDERSON S.E. et BOYLAN S.M., *Trauma-induced exophthalmia in vermillion snapper *Rhomboplites aurorubens* (Cuvier 1829) : Treatment and prevention*, Journal of Fish Diseases, Vol. 43(2), publié en octobre 2019, p. 295-300. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/jfd.13117>, [consulté en octobre 2024].

HIMEBAUGH N.E., PASSINGHAM R. K., CABOT L.M., GAUDETTE C., KNIGHT L.N., LEWBART G.A., ARMWOOD A.R. et OH A., *Investigating the etiology of ocular changes in *Monodactylus argenteus* housed in a shoaling ring exhibit*, American Veterinary Medical Association, Vol. 1 (aop), publié en mai 2024, p. 1-10. Disponible sur : <https://doi.org/10.2460/javma.24.05.0346>, [consulté en novembre 2024].

HORNE M.T., RICHARDS R.H., ROBERTS R.J. et SMITH P.C., *Peracute vibriosis in juvenile turbot *Scophthalmus maximus**, Journal of Fish Biology, Vol. 11(4), publié en octobre 1977, p. 355-361. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1977.tb04129.x>, [consulté en août 2024].

JACOBS J., STINE C.B., BAYA A.M., et KENT M.L., *A review of mycobacteriosis in marine fish*, Journal of Fish Diseases, Vol. 32(2), publié en mars 2009, p. 119-130. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2008.01016.x>, [consulté en octobre 2024].

JAROSZYNSKA N., HARDING P. et MOOSAJEE M., *Metabolism in the zebrafish retina*, Journal of Developmental Biology, Vol. 9(1), publié en mars 2021, p. 10. Disponible sur : <https://doi.org/10.3390/jdb9010010>, [consulté en octobre 2024].

JAWAD L.A., JAYABALAN N. et JAWAD H.L., *Unilateral microphthalmia and slow growth rate in a natural population of the marine teleost *Pampus argenteus* (Actinopterygii: Perciformes: Stromateidae)*, Bulletin of Fish Biology, Vol. 17(½), publié en décembre 2017 [en ligne], p. 39-41 [consulté en septembre 2024].

JEPSON L, *Exotic animal medicine, a quick reference guide. Second Edition*, Elsevier, 2016, p. 499-528. ISBN : 978-0-3232-32849-4.

JOSELEVITCH C. et KAMERMANS M., *Retinal parallel pathways : seeing with our inner fish*. Vision Research Journal, Vol. 49(9), publié en mai 2009, p. 943-959. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.07.019>, [consulté en octobre 2024].

JURK I., *Ophthalmic Disease of Fish*, Veterinary Clinics : Exotic Animal Practice, Vol. 5(2), publié en mai 2002, p. 243-260. Disponible sur : [10.1016/S1094-9194\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S1094-9194(02)00006-3), [consulté en septembre 2024].

KARVONEN A. et SEPPÄLÄ O., *Eye fluke infection and lens size reduction in fish : a quantitative analysis*, Diseases of Aquatic Organisms, Vol. 80, publié en juin 2008, p. 21-26. Disponible sur : <https://doi.org/10.3354/dao01918>, [consulté en octobre 2024].

KEENEY C.H., VORBACH B., CLAYTON L. et SEELEY K., *Intraocular pressure in clinically normal brook trout (*Salvelinus fontinalis*) by means of rebound tonometry*. Journal of Zoo and Wildlife Medicine, Vol. 50(1), publié en avril 2019, p. 107-110. Disponible sur : <https://doi.org/10.1638/2018-0146>, [consulté en octobre 2024].

KHOO L., *Fungal diseases in fish*, Seminars in Avian and exotic pet medicine., Vol. 9(2), publié en avril 2000. p. 102-111. Disponible sur : <https://doi.org/10.1053/AX.2000.4623>, [consulté en septembre 2024].

KHORRAMSHAHI O., SCHARTAU M.J. et KRÖGER R.HH., *A complex system of ligaments and a muscle keep the crystalline lens in place in the eyes of bony fishes (teleost)*. Vision Research Vol. 48(13), publié en mars 2008, p. 1503-1508. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.03.017>, [consulté en octobre 2024].

KIM JH. et JUNG JH., *Brief descriptions of 12 ciliate species previously unrecorded (Protozoa: Ciliophora) in Korea*, Journal of Species Research, Vol. 6 Special Edition, publié en décembre 2017, p. 15-25. Disponible sur : [https://dx.doi.org/10.12651/JSR.2017.6\(S\).015](https://dx.doi.org/10.12651/JSR.2017.6(S).015), [consulté en septembre 2024].

KIM S., MOORE B.A., PARKER-GRAHAM C., SINIARD W.C., ANG J., TEIXEIRA L.B.C. et al., *Clinical and histopathological features of proliferative corneal lesions in Cyprinidae fishes : Implications for treatment and insights into corneal tumors*, Veterinary Ophthalmology, Vol. 27(3), publié en juillet 2023, p. 200-213. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/vop.13133>, [consulté en octobre 2024].

KIPPERMAN B.S. et GERMAN A.J., *The Responsibility of Veterinarians to Address Companion Animal Obesity*, Animals, Vol. 8(9), publié en août 2018, p. 143. Disponible sur : <https://doi.org/10.3390/ani8090143>, [consulté en octobre 2024].

KONG W., CHENG G., CAO J.Y., WANG X. et XU Z., *Ocular mucosal homeostasis of teleost fish provides insight into the coevolution between microbiome and mucosal immunity*, Microbiome, Vol. 12(1), publié en janvier 2024, 19 p.. Disponible sur : <https://doi.org/10.1186/s40168-023-01716-6>, [consulté en septembre 2024].

KONGTORP R.T., TAKSDAL T. et LILLEHAUG A., *Cardiomyopathy Syndrome (CMS) : A literature review*, National Veterinary Institute, Norway, publié en novembre 2005, 15 pages [en ligne]. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/237246268_Cardiomyopathy_Syndrome_CMS_A_Literature_Review, [consulté en octobre 2024].

KUMARATUNGA V., ADAMS V.J., DONALDSON. A.D., PONTA R.T. et STIDWORTHY M.F., *Ocular pathology in aquarium fish with a focus on the Syngnathidae and Apogonidae families*, Journal of comparative pathology, Vol. 200, publié en novembre 2022, p. 1-11. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.cpa.2022.11.002>, [consulté en octobre 2024].

KURPE S.R., SUKHOVSKAYA I.V., BORVINSKAYA E.V., MOROZOV A.A., PARSHUKOV A.N., MALYSHEVA I.E., VASILEVA A.V., CHECHKOVA N.A. et KUCHKO T.Y., *Physiological and Biochemical Characteristics of Rainbow Trout with Severe, Moderate and Asymptomatic Course of Vibrio Anguillarum Infection*, Animals, Vol. 12(19), publié en octobre 2022, 2642 p. Disponible sur : <https://doi.org/10.3390/ani12192642>, [consulté en octobre 2024].

LABELLE A., *Special Senses : Eyes*, dans : MITCHELL M.A. et TULLY JR., T. N., *Current Therapy in Exotic Pet Practice*, Elsevier, 2016, p. 437-441. ISBN : 978-1-4557-4084-0.

LAMA R., PEREIRO P., FIGUERAS A. et NOVOA B., *Zebrafish as a vertebrate model for studying nodavirus infections*, Frontiers in Immunology, Vol. 13, publié en mars 2022, p. 863096. Disponible sur : <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.863096>, [consulté en octobre 2024].

LAMAS J. et LEIRO J.M., *Philasterides dicentrarchi*, Dans : *Fish parasites : a handbook of protocols for their isolation, culture and transmission*, édité par SITJÀ-BOBADILLA A. et PIAZZON M.C., 2021, p. 1-16, ISBN : 9781789181333.

LAND M.F., *Visual Optics : The sandlance eye breaks all the rules*, *Current biology*, Vol. 9(8), publié en avril 1999, p. 286-288. Disponible sur : [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(99\)80180-8](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(99)80180-8), [consulté en septembre 2024].

LAYCOCK N.L.C., SCHIRMER K., BOLS N.C. et SIVAK J.G., *Optical properties of rainbow trout lenses after in vitro exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in the presence or absence of ultraviolet radiation*, *Experimental Eye Research*, Vol. 70(2), publié en février 2000, p. 205-214. Disponible sur : <https://doi.org/10.1006/exer.1999.0774>, [consulté en novembre 2024].

LECOINTRE G., GALLUT C., CHANET B. et DETTAÏ A., *Du rififi chez les poissons*, *Pour la Science*, Vol. 390, publié en avril 2012, p. 56-63. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/230844607_Du_rififi_chez_les_poissons, [consulté en octobre 2024].

LEWBART G.A., *Clinical Examination* In : *BSAVA Manual of Ornamental Fish, Second Edition*, édité par WILDGOOSE W.H. et British Small Animal Veterinary Association, 2001, p. 85-90, ISBN : 0-905214-57-9.

LI R., LI W., SUN Y. et ZHANG X., *Study on Physiological and Biochemical Index of Blood and Vitreous Humour on the Celestial Goldfish (Carassius auratus)*, *Preprints*, publié en septembre 2023. Disponible sur : <https://doi.org/10.20944/preprints202309.1866.v1>, [consulté en juillet 2024].

LI Y., JIANG B., MO Z., LI A. et DAN X., *Cryptocaryon irritans (Brown, 1951) is a serious threat to aquaculture of marine fish*, *Reviews in Aquaculture*, Vol. 14(1), publié en juillet 2021, p. 218-236. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/raq.12594>, [consulté en octobre 2024].

LINDHOLM-LEHTO P.C. et PYLKKÖ P., *Saprolegniosis in aquaculture and how to control it ?*, *Aquaculture, Fish and Fisheries*, Vol. 4(4), publié en juillet 2024, p. e2200. Disponible sur : <https://doi.org/10.1002/aff2.200>, [consulté en octobre 2024].

LLOYD J., *The Aquatic Environment*. In : *BSAVA Manual of Ornamental Fish, Second Edition*, édité par WILDGOOSE W.H. et British Small Animal Veterinary Association, 2001, p. 1-8, ISBN : 0-905214-57-9.

LOM J. et DYKOVÁ I., *Myxozoan genera : definition and notes on taxonomy, life-cycle terminology and pathogenic species*, *Folia Parasitologica*, Vol. 53(1), publié en 2006, p. 1-36. [en ligne], [consulté en octobre 2024].

LONGSHAW M. et FEIST S.W., *Parasitic Diseases*. In : *BSAVA Manual of Ornamental Fish, Second Edition*, édité par WILDGOOSE W.H. et British Small Animal Veterinary Association, 2001, p. 167-184, ISBN : 0-905214-57-9.

MACK A.F., SÜSSMANN C., HIRT B. et WAGNER H.J., *Displaced Amacrine Cells Disappear from the Ganglion Cell Layer in the Central Retina of Adult Fish during Growth*, *Investigative Ophthalmology & Visual Science* publié en octobre 2004, Vol.45, p. 3749-3755. DOI : <https://doi.org/10.1167/iovs.04-0190> [consulté en octobre 2024].

MADER M.M. et CAMERON D.A., *Effects of induced systemic hypothyroidism upon the retina : regulation of thyroid hormone receptor alpha and photoreceptor production*, Molecular Vision, Vol. 12, publié en août 2006, p. 915-930. Disponible sur : <http://www.molvis.org/molvis/v12/a104/>, [consulté en octobre 2024].

MAEKAWA S., WANG YT., YOSHIDA T., WANG PC. et CHEN SC., *Group C Streptococcus dysgalactiae infection in fish*, Journal of Fish Diseases, Vol. 43(9), publié en juillet 2020, p. 963-970. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/jfd.13211>, [consulté en octobre 2024].

MATSUMURA M., OHKUMA M. et HONDA Y., *Electron microscopic studies on celestial goldfish retina - a possible new type of retinal degeneration in experimental animals*, Experimental Eye Research, Vol. 32(5), publié en mai 1981, p. 649-656. Disponible sur : [https://doi.org/10.1016/S0014-4835\(81\)80013-9](https://doi.org/10.1016/S0014-4835(81)80013-9), [consulté en août 2024].

MÉDALE F., LE BOUCHER R., DUPONT-NIVET M., QUILLET E., AUBIN J., et PANSERAT S., *Des aliments à base de végétaux pour les poissons d'élevage*, INRAE Productions ANimales, Vol. 26(4), publié en août 2013, p. 303-316. Disponible sur : <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2013.26.4.3159>, [consulté en octobre 2024].

MENKE A.L., SPITSBERGEN J.M. et WOUTERSEN R.A., *Normal Anatomy and Histology of the Adult Zebrafish*, Toxicologic Pathology, Vol. 39(5), publié en juin 2011, p. 759-775. Disponible sur : <https://doi.org/10.1177/0192623311409597>, [consulté en septembre 2024].

MIGNOT G. et HERVÉ J., *Physiologie des organes des sens : vision, audition, accélérations, olfaction*. Polycopié de cours, Ecole Vétérinaire de Nantes Oniris 2019, p. 8-22.

MILLS D., *Marine aquaria*. Dans : *BSAVA Manual of Ornamental Fish, Second Edition*, édité par WILDGOOSE W.H. et British Small Animal Veterinary Association, 2001, p. 45-52, ISBN : 0-905214-57-9.

MUNDAY, B. L., LANGDON, J. S., HYATT, A., *et al.* Mass mortality associated with a viral-induced vacuolating encephalopathy and retinopathy of larval and juvenile barramundi, *Lates calcarifer* Bloch. *Aquaculture*, 1992, vol. 103, no 3-4, p. 197-211.

NEIFFER D.L., STAMPER M.A., *Fish sedation, anesthesia, analgesia and euthanasia : considerations, methods and types of drugs*, ILAR Journal Vol. 50(4), publié en octobre 2009, p. 343-360. Disponible sur : <https://doi.org/10.1093/ilar.50.4.343>, [consulté en octobre 2024].

NEMATOLLAHI A., DECOSTERE A., PASMANS F. et HAESEBROUCK F., *Flavobacterium psychrophilum infections in salmonid fish*, Journal of Fish Diseases, Vol. 26(10), publié en novembre 2003, p. 563-574. Disponible sur : <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.2003.00488.x>, [consulté en septembre 2024].

NICOL J.A.C., *Studies on the Eyes of Fishes : Structure and Ultrastructure*, Dans : *Vision in Fishes*, ALI M.A., NATO Advanced Study Institutes Series, Vol. 1, publié en 1975, p. 579-578. Disponible sur <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0241-5-46>, [consulté en septembre 2024].

NIKIFOROV-NIKISHIN D. L., IRKHA V. A., KOCHETKOV N. I., *et al.* *Some aspects of development and histological structure of the visual system of Nothobranchius Guentheri*, Animals, Vol. 11(9), publié en septembre 2021, vol. 11, no 9, p. 2755. Disponible sur : <https://doi.org/10.3390/ani11092755>, [consulté en juillet 2021].

NOGA E.J., *Fish Diseases, diagnosis and treatment*, Iowa University Press, publié en 2000, 367 p., ISBN : 0-8138-2558-X.

NOPADON P., ARANYA P., TIPAPORN T., TOSHIHIRO N., TAKAYUKI K., MASASHI M. et MAKOTO E., *Nodavirus associated with pathological changes in adult spotted coralgroupers (Plectropomus maculatus) in Thailand with viral nervous necrosis*, Research Veterinary Science, Vol. 87(1), publié en janvier 2009, p. 97-101. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2009.01.004>, [consulté en octobre 2024].

OFEK T., LALZAZ M., IZHAKI I. et HALPERN N., *Intestine and spleen microbiota composition in healthy and diseased tilapia*, Animal Microbiome, Vol. 4(1), publié en août 2022, p. 50. Disponible sur : <https://doi.org/10.1186/s42523-022-00201-z>, [consulté en août 2024].

OGIMOTO K., SONOYAMA T., SHINDO H. et TOMITA T., *Iris-like eye closure of the fine-patterned pufferfish, Takifugu flavipterus*, Zoology (Jena), Vol. 145, publié en avril 2021, p. 1255894. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.zool.2021.125894>, [consulté en juillet 2024].

OLIVA-TELES A., *Nutrition and health of aquaculture fish*, Journal of Fish Diseases, Vol. 35(2), publié en janvier 2012, p. 83-108. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2011.01333.x>, [consulté en octobre 2024].

PAJDAK-CZAUS J., PLATT-SAMORAL A., SZWEDA W., SIWICKI A.K. et TERECH-MAJEWSKA E., *Yersinia ruckeri : A threat not only to rainbow trout*, Aquaculture Research, Vol. 50(11), publié en juillet 2019, p. 3083-3096. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/are.14274>, [consulté en septembre 2024].

PARKER-GRAHAM C.A., STEVENS B.N., ANG J.H., SOTO E., WILLIAMS D.L., KWOK J. et MOORE B.A., *Ophthalmology of Osteichthyes : Bony Fish*. Dans : MONTIANI-FERREIRA F., MOORE B.A. et BEN-SHLOMO G., *Wild and Exotic Animal Ophthalmology: Volume 1: Invertebrates, Fishes, Amphibians, Reptiles, and Birds*, Springer, publié en 2022, p. 61-104. Disponible sur : https://doi.org/10.1007/978-3-030-71302-7_5, [consulté en octobre 2024].

PARTRIDGE J.C., DOUGLAS R.H., MARSHALL N.J., CHUNG WS., JORDAN T.M. et WAGNER H.J., *Reflecting optics in the diverticula eye of a deep-sea barreleye fish (Rhynchohyalus natalensis)*, Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, Vol. 281(1782), publié en mai 2014, p. 20133223. Disponible sur : <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.3223>, [consulté en juillet 2024].

PEEL M.J., ADAMS L., STEVES B., GARNER M.M. et MAGUIRE C., *Systemic phaeohyphomycosis in splitnose rockfish (Sebastes diploproa) caused by Devriesia sp.*, Journal of Fish Diseases, Vol. 44(5), publié en janvier 2021, p. 639-644. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/jfd.13342>, [consulté en octobre 2024].

PEREIRA N.M. et DAVID H., *Antibiotic Resistance in Public Aquariums*, dans : *Fowler's Zoo and Wild Animal Medicine Current Therapy*, WB Saunders, Vol. 10, publié en 2023, p. 395-402. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-82852-9.00059-9>, [consulté en novembre 2024].

PEUHKURI N., BJERKÅS E., BRÄNNÄS E., PIIRONEN J., PRIMMER C. et TASKINEN J., *Looking fish in the eye-cataract as a problem in fish farming*, Nordic Council of Ministers, publié en 2009, 60 p. ISBN : 978-92-893-1838-9.

PRADEEP P.J., SUEBSING R., SIRTHAMMAJAK S., KAMPEERA J., JITRAKORN S.,

SAKSMPROMÉ V. et al., *Evidence of vertical transmission and tissue tropism of Streptococcosis from naturally infected red tilapia (Oreochromis spp.)*, *Aquaculture Reports*, Vol. 3, publié en mai 2016, p. 58-66. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2015.12.002>, [consulté en septembre 2024].

PRATTE Z.A., BESSON M., HOLLMAN R.D. et STEWART F.J., *The Gills of Reef Fish Support a Distinct Microbiome Influenced by Host-Specific Factors*, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 84(9), publié en avril 2018, p. e00063-18. Disponible sur : <https://doi.org/10.1128/AEM.00063-18>, [consulté en septembre 2024].

PUJOL J., LAMGLAIT B., VANORE M., ROUSSEAU C. et VERGEAU-GROSSET C., *A post-operative Follow-up of an Endangered Saltwater Fish Lensectomy for Cataract Management in a Public Aquarium : a Case Series*, *Veterinary Science*, Vol. 10(10), publié en octobre 2023, p. 611. Disponible sur : <https://doi.org/10.3390/vetsci10100611>, [consulté en novembre 2024].

PURPARI G., MACALUSO G., DI BELLA S., et al., *Viral encephalopathy and retinopathy (VER) in Mediterranean wild and farmed fish species: the experience of the Istituto Zooprofilattico Sperimentale of Sicily (Italy)*, *Bulletin of the entomological Society of Malta*, Vol. 10(4), publié en 2019, p. 431-436. Disponible sur : <https://doi.org/10.31396/Biodiv.Jour.2019.10.4.431.436>, [consulté en octobre 2024].

RAJA M., KAVITHA M., RAMKUMAR R., ANANDHU M. et PERUMAL P., *The “Giant Danio” (Devario aequipinnatus) : Another Model for Diabetic Retinopathy Study : Induction of Hyperglycemia and Resultant Retinal Impairment*, *Endocrinology and Diabetes Research*, Vol. 1(2), publié en octobre 2015, 6 p. Disponible sur : <https://dx.doi.org/10.4172/ecdr.1000108>, [consulté en octobre 2024].

RAMAIAH N., *A review on fungal diseases of algae, marine fishes, shrimps and corals*, *Indian Journal of Marine Sciences*, Vol. 35(4), publié en décembre 2006, p.380-387. Disponible sur : <http://drs.nio.org/drs/handle/2264/570>, [consulté en septembre 2024].

RAUCH G., KALBE M. et REUSCH T.BH., *One day is enough : rapid and specific host-parasite interactions in a stickleback-trematode system*, *Biology Letters*, Vol. 2(3), publié en mars 2006, p. 382-384. Disponible sur : <https://doi.org/10.1098/rsbl.2006.0462>, [consulté en octobre 2024].

REICHENBACH-KLINKE H. et ELKAN E., *The principal diseases of lower vertebrates*. Academic Press London and New-York, 1965, 600p.

ROBERTS H.E., PALMEIRO B. et WEBER III E.S., *Bacterial and parasitic diseases of pet fish*, *Veterinary clinics of North America : Exotic animal practice*, Vol. 12(3), publié en septembre 2009, p. 609-638. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2009.06.010>, [consulté en octobre 2024].

ROBERTS J.R., *Fish Pathology, Second Edition*, Baillière Tindall, 1989, 467 p. ISBN : 0-7020-1314-5.

SCHMITZ L., WAINWRIGHT P.C., *Nocturnality constrains morphological and functional diversity in the eyes of reef fishes*, *BMC Evolutionary Biology*, Vol. 11(338), publié en novembre 2011, 14 p. Disponible sur : <https://doi.org/10.1186/1471-2148-11-338>, [consulté en octobre 2024].

SEBASTIAO F.D.A., LEMOS E.G. et PILARSKI F., *Validation of absolute quantitative real-time PCR for the diagnosis of Streptococcus agalactiae in fish*, *Journal of*

microbiological methods, Vol. 119, publié en décembre 2015, p. 168-175. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2015.10.021>, [consulté en octobre 2024].

SEHNAL L., BRAMMER-ROBBINS E., WORMINGTON A.M., BLAHA L. et al., *Microbiome Composition and Function in Aquatic Vertebrates : Small Organisms Making Big Impacts on Aquatic Animal Health*, *Frontiers in Microbiology*, Vol. 12, publié en mars 2021, p. 567408. Disponible sur : <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.5667408>, [consulté en novembre 2024].

SELLYEI B., MOLNAR K., CECH G., VARGA À. et SZÉKELY C., *Extreme pathological symptom generated by Dermocystidium koi infection of common carp (Cyprinus carpio L.) in Hungary*, *Journal of Fish Disease*, Vol. 45(6), publié en mars 2022, p. 825-832. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/jfd.13607>, [consulté en septembre 2024].

SEYEDMOUSAVI S., GUILLOT J. et DE HOOG G.S., *Phaeohyphomycoses, Emerging Opportunistic Diseases in Animals*, *Clinical Microbiology Review*, Vol 26(1), publié en janvier 2013, p.19-35. Disponible sur : <https://doi.org/10.1128/cmr.00065-12>, [consulté en octobre 2024].

SIEBECK U.E., WALLIS G.M. et LITHERLAND L., *Colour vision in coral reef fish*, *Journal of Experimental Biology*, Vol. 211(3), publié en février 2008, p. 354-360. Disponible sur : <https://doi.org/10.1242/jeb.012880>, [consulté en juillet 2024].

SIRRI R., GUSTINELLI A., RUBINI S., QUAGLIO F., FIORAVANTI ML., *Dermocystidium sp. (Mesomycetozoea : Dermocystidiaceae) primary ocular infection in koi carp (Cyprinus carpio var. koi)*, *Journal of Fish Diseases*, Vol. 43(4), publié en janvier 2020, p. 515-517. Disponible sur : <https://doi.org/10.1111/jfd.13148>, [consulté en octobre 2024].

SNEDDON L.U., *Clinical anesthesia and analgesia in fish*, *Journal of Exotic Pet Medicine*, Vol. 21(1), publié en janvier 2012, p. 32-43. Disponible sur : <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2011.11.009>, [consulté en octobre 2024].

SONG JY., KITAMURA SI., OH MJ., KANG HS., LEE JH., TANAKA SJ. et JUNG SJ., *Pathogenicity of Miamiensis avidus (syn. Philasterides dicentrarchi), Pseudodohnilembus persalinus, Pseudodohnilembus hargisi and Uronema marinum (Ciliophora, Scuticociliatida)*, *Diseases of Aquatic Organisms*. Vol 83(2), publié en février 2009, p. 133-143. Disponible sur : <https://doi.org/10.3354/dao02017>, [consulté en octobre 2024].

SØRHHUS E., MEIER S., DONALD C.E., FURMANEK T., EDVARDBSEN R.B. et LIE K.K., *Cardiac dysfunction affects eye development and vision by reducing supply of lipids in fish*, *Science of the Total Environment*, Vol. 800, publié en juillet 2021, p.149460. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149460>, [consulté en octobre 2024].

SOUTHGATE P.J., *Laboratory Techniques In : BSAVA Manual of Ornamental Fish, Second Edition*, édité par WILDGOOSE W.H. et British Small Animal Veterinary Association, 2001, p. 91-102, ISBN : 0-905214-57-9.

STENKAMP D.L., *Neurogenesis in the fish retina*, *International review of cytology*, Vol. 259, publié en 2007, p. 173-224. Disponible sur : [https://doi.org/10.1016/S0074-7696\(06\)59005-9](https://doi.org/10.1016/S0074-7696(06)59005-9), [consulté en août 2024].

STEPHENS F.J., CLEARY J.J., JENKINS G., JONES B., RAIDAL S.R. et THOMAS J.B., *Pathogenesis and epidemiology of spontaneous exophthalmos in the West Australian dhufish, Glaucosoma heraicum Richardson*, *Journal of Fish Diseases*, Vol. 24(9), publié en janvier 2002, p. 515-522. Disponible sur : <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.2001.00319.x>, [consulté en octobre 2024].

STEVERDING D., *Scuticociliatosis caused by Philasterides discentrarchi*, Diseases of Aquatic Animals, Vol. 150, publié en juillet 2022, p. 87-101. Disponible sur : <https://doi.org/10.3354/dao03678>, [consulté en octobre 2024].

TACON A.G.J., *Nutritional fish pathology. Morphological signs of nutrient deficiency and toxicity in farmed fish*, Food and Agriculture Organization of the United Nations Technical Paper n°330, Rome, 1992, 75p. ISBN : 92-5-103267-X.

TANG K.F.J., BONDAD-REANTASO M.G., SURACHETPONG W., DONG H.T., FEJZIC N., WANG Q., WAJSBROT N. et HAO B., *Tilapia lake virus disease strategy manual*, Food and Agriculture Organization, Fisheries and Aquaculture Circular, n°1220, publié en 2021 à Rome, 62 p. Disponible sur : <https://doi.org/10.4060/cb7293en>, [consulté en octobre 2024].

TARNECKI A.M., PATTERSON W.F. et ARIAS C.R., *Microbiota of wild-caught red snapper Lutjanus campechanus*, BMC microbiology, Vol. 16 (245), publié en octobre 2016, p. 1-10. Disponible sur : <https://doi.org/10.1186/s12866-016-0864-7>, [consulté en septembre 2024].

TOTLAND G.K., GROTMOL S., MORITA Y., NISHIOKA T. et NAKAI T., *Pathogenicity of nodavirus strains from striped jack Pseudocaranx dentex and Atlantic halibut Hippoglossus hippoglossus, studied by waterborne challenge of yolk-sac larvae of both teleost species*, Diseases of Aquatic Organisms, Vol. 38(3), publié en novembre 1999, p. 169-175. Disponible sur : <https://doi.org/10.3354/dao038169>, [consulté en octobre 2024].

ULLMANN J.F., MOORE B.A., TEMPLE S.E., FERNANDEZ-JURICIC E. et COLLIN S.P., *The retinal wholemount technique : a window to understanding the brain and Behaviour*, Brai, behavior and evolution, Vol. 79(1), publié en décembre 2012, p. 26-44. Disponible sur : <https://doi.org/10.1159/000332802>, [consulté en octobre 2024].

URDES L., WALSTER C. et TEPPER J., *Fundamental of Aquatic Veterinary Medicine*, édition Wiley Blackwell, 2022, 250 p., p. 73-90, ISBN : 9781119612704 (papier).

VAUGHAN D.B. et HUTSON K.S., *Cryptocaryon irritans*, Dans : *Fish parasites : a handbook of protocols for their isolation, culture and transmission*, édité par SITJÀ-BOBADILLA A. et PIAZZON M.C., 2021, p. 1-16, ISBN : 9781789181333.

VENDRELL D., BALCAZAR J.L., RUIZ-ZARZUELA I., DE BLAS I., GIRONÉS O. et MUZQUIZ J.L., *Lactococcus garvieae in fish : a Review*, Comparative immunology, Microbiology and Infectious Diseases, Vol. 29(4), publié en juin 2006, p. 177-198. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2006.06.003>, [consulté en septembre 2024].

VERRIER ML., *Les organes des sens chez les poissons : le sens visuel*, Bulletin français de pisciculture, Vol.(9), publié en mars 1929, p. 213-219. Disponible sur : <http://dx.doi.org/10.1051/kmae:1929020>, [consulté en mai 2024].

WAGNER HJ., *Cells Types and Connectivity Patterns in Mosaic Retinas*, Advances in Anatomy, Embryology and Cell Biology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Vol. 55(3), publié en 1978, p. 33-35. ISBN : 978-3-540-09013-7, [consulté en octobre 2024].

WAGNER, HJ. et WAGNER, E., *Amacrine cells in the retina of a teleost fish, the roach (Rutilus rutilus) : a Golgi study on differentiation and layering*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences, Vol. 321(1206), publié en septembre 1988, p. 263-324. Disponible sur : <https://doi.org/10.1098/rstb.1988.0094>, [consulté en août 2024].

WALKER I.D.F. et WHITAKER B.R., *Public*. Dans : *BSAVA Manual of Ornamental Fish, Second Edition*, édité par WILDGOOSE W.H. et British Small Animal Veterinary Association, 2001, p. 53-62, ISBN : 0-905214-57-9.

WALTER I.D.F. et WHITAKER B.R., *Public aquaria*. Dans : *BSAVA Manual of Ornamental Fish, Second Edition*, édité par WILDGOOSE W.H. et British Small Animal Veterinary Association, 2001, p. 147-154, ISBN : 0-905214-57-9.

WANG X., DING G., YANG P., CHENG G., KONG W. et XU Z., *Teleost Eye is the Portal of IHNV Entry and Contributes to a Robust Mucosal Immune Response*, International Journal of Molecular Sciences, Vol. 25(1), publié en décembre 2023, p. 160. Disponible sur : <https://doi.org/10.3390/ijms25010160>, [consulté en septembre 2024].

WARRANT E.J. et LOCKET N.A., *Vision in the deep sea*, Biological Reviews, Vol. 79(3), publié en mars 2007, p. 671-712. Disponible sur : <https://doi.org/10.1017/S1464793103006420>, [consulté en août 2024].

WASER W.P., SCHMITZ A.P., PERRY S.F. et WOBSCHALL A., *Stereological analysis of blood space and tissue types in the pseudobranch of the rainbow trout (Oncorhynchus mykiss)*, Fish Physiology and Biochemistry, Vol. 31, publié en mars 2006, p. 73-82. Disponible sur : <https://doi.org/10.1007/s10695-006-0002-9>, [consulté en août 2024].

WEBER E.S., *Renal disease in teleost patients*, Dans : *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice, Renal Diseases*, édité par MAYER J., POLLOCK C. et Elsevier, Vol. 23(1), publié en janvier 2020, p. 231-247. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2019.09.006>, [consulté en octobre 2024].

WEITKAMP D.E. et KATZ M., *A review of dissolved gas supersaturation literature*, Transactions of the American Fisheries Society, Vol. 109(6), publié en 1980, p. 659-702. Disponible sur : [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1980\)109<659:ARODGS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1980)109<659:ARODGS>2.0.CO;2), [consulté en octobre 2024].

WETZEL S., *L'intervention du vétérinaire en animalerie commerciale : éléments et valeur ajoutée d'un conseil adapté à partir de l'exemple du rayon aquariophilie*. Thèse vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort : 2013, 188p

WHEELIS M.L., KANDLER O. et WOESE C.R., *On the nature of global classification*, Proceedings of the National Academy of Science, Vol. 89(7), publié en 1992, p. 2930-2934. Disponible sur : <https://doi.org/10.1073/pnas.89.7.2930>, [consulté en avril 2024].

WHITAKER B.R., *Ocular Disorders*. Dans : *BSAVA Manual of Ornamental Fish, Second Edition*, édité par WILDGOOSE W.H. et British Small Animal Veterinary Association, 2001, p. 147-154, ISBN : 0-905214-57-9.

WILDGOOSE W.H., *Exenteration in fish*, Exotic DVM, Vol. 9(1), publié en 2007, p. 25-29. [en ligne] [consulté en novembre 2024].

WILKIE D., *Les poissons d'aquarium*, Édition de la maison rustique, Flammarion, 1986, 216 p. ISBN : 2-7066-1720-9.

WILKINS L., MARSHALL N.J., JOHNSEN S. et OSORIO D., *Modelling colour constancy in fish : implications for vision and signalling in water*, Journal of Experimental Biology, Vol. 219(12), publié en juin 2016, p. 1884-1892. Disponible sur : <https://doi.org/10.1242/jeb.139147>, [consulté en août 2024].

WOO P.T.K et BRUNO D.W., *Fish Diseases and Disorders. Vol 2. Non infectious Disorders*, CABI Publishing, 1998, 386 p. ISBN : 0-85199-126-2.

WOO P.T.K et BRUNO D.W., *Fish Diseases and Disorders. Vol 3. Viral, Bacterial and Fungal Infections*, CABI Publishing, 1999, 874 p. ISBN : 0-85199-194-7.

YANONG R.P.E., *Nutritional Disorders*. Dans : *BSAVA Manual of Ornamental Fish, Second Edition*, édité par WILDGOOSE W.H. et British Small Animal Veterinary Association, 2001, p. 225-230, ISBN : 0-905214-57-9.

YAŞAR T. O., YARDIMCI M., et YAĞCILAR Ç., *Determination of the average intraocular pressure values, optimum anesthesia dose and phenotypic characteristics in Oscar fish (Astronotus ocellatus)*, *Journal of advances in vetbio science and techniques*, Vol. 6(2), publié en août 2021, p. 142-149. Disponible sur : <https://doi.org/10.31797/vetbio.905317>, [consulté en octobre 2024].

YEW D.T., LAI H.W., ZHOU L. et LAM K.W., *Chromatographic identification of a biochemical alteration in the aqueous humour of megalophthalmia Black Moor goldfish*, *Journal of Chromatography B : Biomedical Sciences and Applications*, Vol. 751(2), publié en février 2001, p. 349-355. Disponible sur : [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(00\)00493-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(00)00493-X), [consulté en août 2024].

ZHOU L.Z.L., LAIH.W., YEW D. et LAM K.W., *Elevation of lactic acid concentration associated with megalophthalmia in BlackMoor goldfish*, *Experimental Eye Research*, Vol. 73(6), publié en 2001, p. 897-900. Disponible sur : [10.1006/exer.2001.1092](https://doi.org/10.1006/exer.2001.1092), [consulté en août 2024].

ZIMMERMANN M.J., NEVALA N.E., YOSHIMATSU T.O., OSORIO D., NILSSON B.E., BERENS P. et BADEN T., *Zebrafish differentially process color across visual space to match natural scenes*, *Current Biology*, Vol. 28(13), publié en juin 2018, p. 2018-2032. Disponible sur : [10.1016/j.cub.2018.04.075](https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.04.075), [consulté en août 2024].

ANNEXES :

Annexe 1 : Tableau récapitulatif des bactéries composant le microbiote des téléostéens

Tissu	Fonction	Famille des microorganismes	Poissons	Référence
Branchies	Dénitrification	Nitrosomonas.	Carpe, poisson-zèbre.	Hess et al., 2015
	Réponse immunitaire et au stress	Shewanella, Alteromonas, Bacillus, Alcaligenaceae, Burkholderiaceae, Cytophagaceae, Corynebacteriaceae, Campylobacteriaceae, Enterobacteriaceae, Flavobacteriaceae, Oceanospirillaceae, Pelagibacteriaceae, Vibrionaceae.	Saumon, poisson clown, maquereau.	Steinum et al., 2009 ; Lowrey et al., 2015 ; Legrand et al., 2018.
Intestins	Métabolisme des nutriments	Alteromonadaceae, Bacillaceae, Corynebacteriaceae, Clostridiaceae, Flavobacteriaceae, Fusobacteriaceae, Micrococcaceae, Pseudomonadaceae, Rhizobiaceae, Vibrionaceae.	Carpe, poisson-chat, tilapia, esturgeon, labre, poisson-globe.	Smriga et al., 2010 ; Xing et al., 2013 ; Ni et al., 2014.
	Réponse immunitaire et au stress	Bacillaceae, Bacteroidaceae, Burkholderiaceae, Chitinophagaceae, Clostridiaceae, Flavobacteriaceae, Fusobacteriaceae, Mycoplasmataceae, Rhizobiaceae, Rhodocyclaceae, Vibrionaceae.	Poisson-zèbre, truite, turbot.	Smriga et al., 2010 ; Falcinelli et al., 2015 ; Van Kessel et al., 2016.
	Réponse à la température de l'eau	Vibrionaceae.	Saumon	Hanning et Diaz-Sanchez, 2015.
Tégument	Adaptations hydrochimiques	Rhizobiaceae, Rhodospirillaceae, Vibrionaceae.	Piranha, ciconidés	Wilson et al., 2008.
	Réponse immunitaire et au stress	Alteromonadaceae, Bacillaceae, Campylobacteriaceae, Corynebacteriaceae, Clostridiaceae, Micrococcaceae, Oceanospirillaceae, Pseudomonadaceae, Rhodospirillaceae, Sphingomonadaceae, Vibrionaceae.	Labre, poisson clown, truite, poisson omble	Schmidt et al., 2015 ; Brown et al., 2018 ; Chiarello et al., 2018 ; Legrand et al., 2018.
Systémique	Réponse à la salinité	Aeromonadaceae, Alteromonadaceae, Fusobacteriaceae, Vibrionaceae.	Molly mexicaine	Durack et al., 2012.

Annexe 2 : Questionnaire envoyé aux aquariums publics français

Etat des lieux des exophtalmies en aquarium

Bonjour, je m'appelle Emma BILLARD et je suis étudiante en dernière année à l'école vétérinaire de Nantes. Je réalise ma thèse vétérinaire sur **la prévention et la prise en charge des lésions oculaires des poissons d'aquarium**. Ce questionnaire a pour but de dresser un état des lieux sur **les cas d'exophtalmies** dans les aquariums et leur **prise en charge**. Il s'adresse aux professionnels travaillant en aquarium en France et qui ont déjà été confrontés à des exophtalmies. La réalisation de ce questionnaire est anonyme et prend 15 minutes environ. Merci d'avance pour vos réponses.

* Indique une question obligatoire

1. 1) A quel aquarium travaillez-vous ? (Nom et code postal) *

2. 2) Etes-vous confronté à des exophtalmies d'origine non déterminée dans votre aquarium ? *

Une seule réponse possible.

Oui

Non

3. 3) Si oui, combien d'exophtalmies d'origine non déterminée avez-vous par mois ? *

Une seule réponse possible.

Moins de 2

Entre 3 et 5

Entre 6 et 8

Entre 8 et 10

Plus de 10

4. 4) Observez-vous une saisonnalité des exophtalmies ? *

Une seule réponse possible.

- Automne
- Eté
- Printemps
- Hiver
- Pas de saisonnalité particulière

5. 5) Avez-vous des bassins plus touchés que d'autres ? Si oui, précisez les bassins et les secteurs touchés (tropical, méditerranée, etc.). *

6. 6) Avez-vous des espèces plus touchées que d'autres ? Si oui, précisez. *

7. 7) Avez-vous établi, au sein de votre structure un protocole spécifique pour la prise en charge des exophtalmies ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
 Non

8. 8) Quelle est la première prise en charge lorsque vous constatez une exophtalmie dans un bassin ? *

Une seule réponse possible.

- Isolement de l'individu dans un autre bassin
 Mise sous traitement antibiotique
 Modification de l'apport alimentaire
 Passage en circuit fermé dans le bassin
 Pas de mesure particulière

9. 9) En cas de traitement antibiotique, quelle molécule utilisez-vous en première intention ? *

10. 10) Réalisez-vous un antibiogramme avant de mettre sous traitement antibiotique ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
 Non

11. 11) Réalisez-vous des prélèvements sur vos individus présentant des exophtalmies ? *

Une seule réponse possible.

Oui

Non

12. 12) Si oui, lesquels ?

Plusieurs réponses possibles.

Prise de sang

Ponction de liquide intra-orbitaire

Prélèvement de l'oeil suite à une autopsie

Ecouvillon oculaire

Raclage cutané

Prélèvement branchial

Coprologie

13. 13) Quelles sont les analyses de première intention que vous réalisez sur les prélèvements ?

Plusieurs réponses possibles.

Bactériologie

Observation microscopique sous lame sans coloration

Histologie

Virologie ou PCR

Hématologie

Cytologie

14. 14) Où sont réalisées vos analyses ?

Une seule réponse possible.

Dans la clinique de votre vétérinaire traitant

Dans le laboratoire de l'aquarium

Dans un laboratoire spécialisé

15. 15) Quels étaient les résultats les plus fréquents suite à vos analyses ? *

16. 16) Comment est orientée la prise en charge suite aux résultats ? *

17. 17) Quel est le pourcentage de récurrences sur vos cas d'exophtalmies ? *

Une seule réponse possible.

- Moins de 20 %
- De 20 à 40 %
- De 40 à 60 %
- Plus de 80 %

18. 18) Quel est le pourcentage de mortalité sur vos cas d'exophtalmies ? *

Une seule réponse possible.

- Moins de 20 %
- De 20 à 40 %
- De 40 à 60 %
- Plus de 80 %

Annexe 3 : Modèle de fiche pathologique utilisée à l'Institut Océanographique de Monaco

Codification des pathologies	
AR : Affections Respiratoires	RO : Rétention Ovarienne
AC : Affections Cutanées	H : Hydropisie
AD : Affections branchiales	TN : Troubles de la nage
NN : Nécroses des nageoires	

Dossier Pathologique

Espèces (Taille + nombre d'individus) :		Bac d'origine		
Motif - Symptômes :				
Bacs de traitement				
Date de début de traitement	Date de fin de traitement	Traitements administrés		
		Préventif	Curatif	Anesthésie
Durée		Voie	Dose	Rythme
Décès :				

Date	N° Traitement	Produits administrés	Quantité (g, ml)	Arrivée d'eau		Inter-venant	Observations
				CO	CF		

Annexe 4 : Modèle de fiche d'exophtalmie utilisée à l'Institut Océanographique de Monaco

Fiche exophtalmie

Le jour de la détection

Espèce :

Sexe (si connu) :

Age :

Date de détection :

Bassin :

Historique problème sur le bassin (Environnement blessant, Agressivité, sursaturation gazeuse, surdensité) :

.....
.....

Description de l'exophtalmie (œil gonflé, bulle, cornée abimée, modification de l'orientation du globe oculaire, unilatéral, bilatéral, etc) :

.....
.....

Œil droit/œil gauche :

Sentiment de perte de vision (oui/non) :

Autres lésions (blessures, bulles sous la peau, autres) :

.....
.....

Changement de comportement ? Autre pathologie constatée ?

.....
.....

Paramètres :

O2 (mg/l)	O2 (%)	T°	Salinité	pH	CO2 (mg/L)	TGP	Sursat N

Contexte (conflits dans le bassin, travaux, transfert récent, arrivage, changement récent de peuplement du bassin, etc) :

.....
.....

Actions engagées (transfert à la réserve, traitement, CF + O2, prélèvements (si oui lesquels), observation, etc) :

.....
.....

Suivi (faire des photos chaque semaine et les stocker dans le dossier exophthalmie)

Paramètres bassin de traitement

	O2 (mg/l)	O2 (%)	T°	Salinité	pH	CO2	TGP	Sursat N
1 sem								
2 sem								
3 sem								
4 sem								
5 sem								
6 sem								
7 sem								

Evolution (aspect de l'œil, comportement du poisson, nourrissage, etc) + traitement en cours :

Semaine 1 :

.....
.....

Semaine 2 :

.....
.....

Semaine 3 :

.....
.....

Semaine 4 :

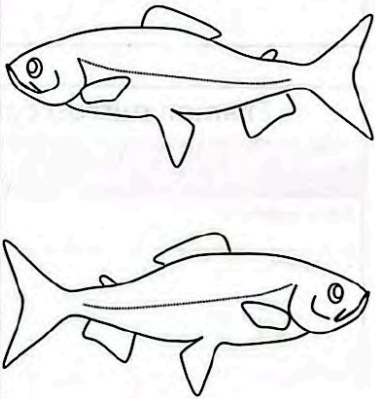
.....

Annexe 5 : Modèle de fiche d'autopsie utilisée à l'Institut Océanographique de Monaco

Autopsies

Date :	
Espèce	

Informations sur l'animal (âge, poids...)		Bac d'origine
Intervenant	Circonstances de la mort	
	<input type="checkbox"/> Retrouvé mort	<input type="checkbox"/> Mort suite à une manipe
<input type="checkbox"/> Anesthésie		
Etat général (obèse, gras, maigre)		
Couleur (clair, mélanose, zones dépigmentées ou hyper-pigmentées)		

Examen externe			
Organe	Normal / Anormal	Description des lésions	Schéma des lésions
Bouche, cavité buccale			
Yeux			
Front, opercules, fosses nasales			
Abdomen, flancs, LL, Orifice uro-génital, anus			
Dos			
Nageoires			
Branchies			

Examen interne		Présence de liquide
Localisation	Aspect <small>(couleur, homogénéité, consistance)</small>	Quantité
Cavité coelomique		
Vésicule biliaire		
Vessie		
Autre (vessie natatoire, ...)		

Examen interne				
Organe	Taille (hypertrophié, normal, hypotrophié)	Aspect externe (couleur, aspect visuel)	Consistance (mou, ferme, friable)	Observations (ulcères, nécroses, pétéchies, hémorragies, déformation, parasites, corps étrangers, nodules, kystes, masses)
Œsophage				
Estomac				
Intestin				
Foie				
Rate				
Vessie natatoire				
Rein				
Gonades				
Cœur				
Muscles				
Cerveau				
Autre				

Examen microscopique		
Organe	Technique	Observations
Peau, nageoires		
Branchies		
Contenu digestif		
Autres		

Analyses complémentaires		
<input type="checkbox"/> Bactériologie	<input type="checkbox"/> Histologie	<input type="checkbox"/> Autres

Nom de l'auteur : Emma BILLARD

TITRE DE LA THÈSE :

ANATOMIE ET PATHOLOGIE DE L'OEIL DES POISSONS EN AQUARIUM : GESTION, PRÉVENTION ET ÉTAT DES LIEUX EN FRANCE ET À MONACO.

ANATOMY AND PATHOLOGY OF THE EYE OF THE FISHES IN AQUARIUM : MANAGEMENT, PREVENTION AND CURRENT STATE IN FRANCE AND MONACO.

Thèse d'État de Doctorat Vétérinaire : Nantes, le 20 Novembre 2024.

RÉSUMÉ :

Cette thèse présente dans un premier temps, une partie bibliographique qui a permis une étude générale de l'anatomie et la physiologie de l'œil des poissons, des pathologies ophtalmiques dominantes en aquarium, des différentes gestions possibles d'un animal ayant une atteinte oculaire et des examens complémentaires et des prises en charges utilisées aujourd'hui sur le terrain. Le partie expérimentale de cette thèse s'est ensuite intéressée à l'un des signes oculaires les plus fréquemment rencontrés en aquarium, l'exophtalmie. À l'issue d'un questionnaire d'enquête réalisé auprès de différents aquariums, un état des lieux des exophtalmies en France et à Monaco a été dressé. Les données épidémiologiques et les mesures thérapeutiques ont été comparées à la littérature scientifique. Le recoupement des résultats avec la bibliographie a permis de créer un outil d'aide au diagnostic des exophtalmies sur les poissons en aquarium.

Cette thèse offre une vision globale de la gestion des pathologies oculaires en aquarium et souligne parfois l'hétérogénéité des pratiques mises en œuvre. Elle vise à enrichir les connaissances actuelles en ophtalmologie, et à apporter un soutien bibliographique et pratique aux différents opérateurs travaillant auprès des poissons.

MOTS-CLÉS :

- Poisson d'aquarium
- Téléostéen
- Maladie de l'oeil
- France
- Médecine préventive
- Ophtalmologie
- Exophtalmie
- Aide au diagnostic
- Thérapeutique

DATE DE SOUTENANCE : 20 Novembre 2024.