



OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <https://oatao.univ-toulouse.fr/27362/>

Taguet, Charlotte . *Les lithiases urinaires chez le grand dauphin (*tursiops truncatus*) : Étude bibliographique et analyse de données nutritionnelles du parc Marineland d'Antibes*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2020, 152 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

ANNEE 2020 THESE : 2020 – TOU 3 – 4129

LES LITHIASES URINAIRES CHEZ LE GRAND DAUPHIN (TURSIOPS TRUNCATUS) : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ET ANALYSE DE DONNEES NUTRITIONNELLES DU PARC MARINELAND D'ANTIBES

THESE

pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

TAGUET Charlotte

Née, le 10/08/1994 à TALENCE (33)

Directrice de thèse : Mme Lydie BRET

JURY

PRESIDENT :

M. Gérard CAMPISTRON

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

Mme Lydie BRET

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

M. Guillaume LE LOC'H

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITE :

M. Christopher SCALA

Vétérinaire en chef du parc Marineland d'Antibes Côte d'Azur

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussignée, Lydie BRET, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directrice de thèse, certifie avoir examiné la thèse de TAGUET Charlotte intitulée « Les lithiases urinaires chez le grand Dauphin (*Tursiops truncatus*) : étude bibliographique et analyse des données nutritionnelles du Parc Marineland d'Antibes » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 25/11/2020
Enseignant-chercheur de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Docteure Lydie BRET



Vu :
Le Directeur de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
M. Pierre SANS



Vu :
Le Président du jury
Professeur Gérard CAMPISTRON



Vu et autorisation de l'impression :
Le Président de l'Université Paul Sabatier
M. Jean-Marc BROTO

Le Président de l'Université Paul Sabatier,
par délégation
La Vice-Présidente de la CFVU
Fabienne ALARY



Mme TAGUET Charlotte
a été admis(e) sur concours en : 2015
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le: 09-07/2019
a validé son année d'approfondissement le: 06/11/2020
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.



**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation ECOLE NATIONALE
VETERINAIRE DE TOULOUSE**

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie - Thérapeutique*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- M. **PETIT Claude**, (Emérite) - *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et Économie de la santé animale*

PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- Mme **BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie- Bactériologie-Pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
- Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie - Analgésie*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
- Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. **LHERMIE Guillaume**, *Economie de la santé animale*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
- Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

CHARGES D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS

- M. **BOLON Pierrick**, *Production et pathologie aviaire*
- M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*
- Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophthalmologie*
- Mme **TOUSSAIN Marion**, *Pathologie des équidés*

ENSEIGNANT DE PREMIERE ANNEE COMMUNE AUX ETUDES VETERINAIRES

- Mme **GAUCHARD Cécile**, *Biologie-écologie-santé*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
- M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*
- M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

REMERCIEMENTS

AU PRESIDENT DU JURY

A Monsieur le Professeur Gérard CAMPISTRON
Professeur à l'université Paul-Sabatier de Toulouse
Praticien Hospitalier
Physiologie – Hématologie

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,
Hommage respectueux et sincères remerciements.

AU JURY

A Madame le Docteur Lydie BRET
Maître de conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Biologie moléculaire

Qui a très aimablement accepté d'être mon maître de thèse,
Sincères remerciements pour vos conseils et votre enthousiasme,
au travail comme dans la vie.

A Monsieur le Docteur Guillaume LE LOC'H
Maître de conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Docteur vétérinaire
Médecine zoologique et santé de la faune sauvage

Qui a très aimablement accepté de faire partie de mon jury de thèse,
et qui m'a partagé ses nombreuses connaissances et expériences sur la faune sauvage,
Sincères remerciements pour votre intérêt porté à mon sujet.

A Monsieur le Docteur Christopher SCALA
Docteur vétérinaire en chef au parc Marineland Côte d'Azur
Médecine zoologique et santé de la faune sauvage

Qui m'a donnée l'opportunité de réaliser ce travail,
En espérant que ce manuscrit est à la hauteur de vos attentes,
Sincères remerciements pour votre aide et vos conseils.

TABLE DES MATIERES

Table des matières	1
Table des illustrations	3
Figures	3
Tableaux	4
Introduction.....	6
I. Généralités.....	9
A. Description de <i>Tursiops truncatus</i>	9
1) Caractéristiques.....	9
2) Anatomie et vie.....	10
3) Distribution, habitat et écologie	12
4) Comportement et physiologie	14
5) Relations avec l'être humain	16
B. Maladies métaboliques d'origine nutritionnelle des dauphins en captivité	20
1) Syndrome métabolique et diabète	20
2) Lipidose hépatique et maladie par surcharge de fer.....	22
3) Théorie évolutive de l'insulinorésistance	24
4) Lithiase à urate d'ammonium	25
5) Bilan	26
II. Lithiases urinaires du grand dauphin	29
A. Anatomie rénale chez le grand dauphin	29
1) Topographie	29
2) Morphologie.....	29
3) Divisions fonctionnelles	31
4) Vascularisation	33
5) Uretères et vessie.....	34
B. Osmorégulation	35
C. Définition et Etiopathogénie des lithiases urinaires.....	37
1) Métabolisme des purines.....	37
2) Formation des calculs urinaires d'urate d'ammonium.....	45
3) Influence des autres solutés apportés par l'alimentation	47
4) Bilan	55
D. Lésions macroscopiques	56
E. Méthodes diagnostiques	57

1) Analyse sanguine	57
2) Analyse d'urine	60
3) Imagerie médicale	61
F. Plans thérapeutiques rapportés chez les dauphins	66
1) Adaptation de l'alimentation	66
2) Fluidothérapie.....	66
3) Augmenter le pH urinaire.....	66
4) Diminuer la concentration en acide urique	68
5) Traitement chirurgical.....	68
III. Evaluation des facteurs de risque de lithiase urinaire, chez les dauphins du parc Marineland.....	71
A. Introduction	71
B. Matériels et méthodes	73
1) Choix des espèces de poissons et rations alimentaires	73
2) Compositions nutritionnelles des poissons.....	78
3) Analyse des différents poissons et régimes alimentaires	82
C. Résultats.....	86
1) Apports nutritionnels des poissons du Parc Marineland	86
2) Apports nutritionnels à l'état sauvage, à partir des filets de poisson et comparaison avec les apports en captivité	98
D. Discussion	107
1) Différences des teneurs entre les poissons disponibles en captivité et les poissons consommés dans la nature, à partir des analyses des filets	107
2) Limites de cette étude	109
3) Améliorations et perspectives.....	115
E. Bilan.....	116
Conclusion.....	118
Bibliographie.....	120
Annexes.....	133

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

Figure 1 : Illustration de l'anatomie externe d'un Grand Dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>), d'après Gulland <i>et al.</i> 2018.....	10
Figure 2 : Distribution des populations sauvages de <i>Tursiops truncatus</i> à travers le monde.....	12
Figure 3 : Sennes tournantes et coulissantes. D'après l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer)	17
Figure 4 : Représentation schématique d'un rein et d'un réticule de dauphin, d'après Cozzi <i>et al.</i> , 2016.....	30
Figure 5 : Première étape de la synthèse de novo des ribonucléotides puriques, illustrations tirées du livre <i>Toute la Biochimie</i> , Weinman S. et Méhul P., 2004, p 312.	38
Figure 6 : Cycle purique de la synthèse de novo des ribonucléotides puriques, illustrations tirées du livre <i>Toute la Biochimie</i> , Weinman S. et Méhul P., 2004, p 312.	39
Figure 7 : Recyclage des bases puriques, d'après Weinman, Méhul, 2004.	40
Figure 8 : Schéma simplifié du métabolisme des purines chez le grand dauphin, d'après López-Cruz <i>et al.</i> , 2016.....	43
Figure 9 : Listes des espèces de poissons composant les régimes alimentaires des dauphins en captivité au Marine Mammal Center en Californie (EU) et des dauphins sauvages présents dans la baie de Sarasota en Floride (EU).....	51
Figure 10 : Facteurs favorisant la formation des cristaux d'urate d'ammonium dans les urines des dauphins.	55
Figure 11 : Comparaison des valeurs de référence d'urée plasmatique/ BUN chez le grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>) et chez l'Homme. D'après Venn-Watson <i>et al.</i> , 2010.....	58

Figure 12 : Image échographique du rein gauche (face dorsale).	65
Figure 13 : Reconstruction en trois dimensions d'un scanner incluant les côtes caudales et les corps vertébraux lombaires.....	65
Figure 14 : Structures moléculaires des acides α -aminés soufrés apportés par l'alimentation.....	79
Figure 15 : Comparaisons des apports en énergie, protéines et lipides des poissons disponibles au parc Marineland.	89
Figure 16 : Comparaisons des apports en énergie, protéines et lipides des principales espèces de poissons consommées par les dauphins sauvages.	101

TABLEAUX

Tableau 1 : Présentation de 4 équations de Différence Alimentaire Cations Anions, utilisées dans l'article de Ardente et al., 2017. Na, K, Ca, Mg, Cl, S, P sont en milléquivaleants par mégacalorie.	51
Tableau 2 : Liste des poissons pouvant composer les régimes alimentaires des dauphins souffleurs présents au parc Marineland d'Antibes.....	73
Tableau 3 : Composition de cinq rations « captivité », pourcentage de poissons par rapport au poids de la ration	75
Tableau 4 : Composition de la ration « historique ».....	75
Tableau 5 : Liste des autres espèces de poissons disponibles au parc Marineland.	76
Tableau 6 : Composition des deux rations « sauvage ».	77
Tableau 7 : Masse molaire et valence correspondante pour chaque ion.....	83
Tableau 8 : Energie métabolisable et macronutriments des poissons disponibles au parc Marineland.....	87

Tableau 9 : Energie métabolisable et macronutriments des poissons composant la ration « historique », le hareng atlantique et le capelan.	87
Tableau 10 : Compositions minérales des différents poissons du lot « captivité », en mg/Mcal, et $DACA_{simple}$ associée, en mEq/Mcal.	91
Tableau 11 : Compositions minérales des différents poissons du lot « historique », en mg/Mcal, et $DACA_{simple}$ associée, en mEq/Mcal.	91
Tableau 12 : Répartition des espèces de poissons en trois groupes par rapport à la valeur de la $DACA_{simple}$ individuelle (mEq/Mcal).	92
Tableau 13 : Comparaison des apports nutritionnels des rations « captivité ».	93
Tableau 14 : Apports totaux de la ration « historique » 50/50 harengs atlantiques/ capelans.	94
Tableau 15 : Ratio des apports en protéines/apports en lipides pour chaque ration du lot « captivité ».	95
Tableau 16 : Classement des rations par rapport aux $DACA_{simple}$ et proportions de poissons appartenant au groupe $DACA$ « faible », « intermédiaire » ou « fort », dans chaque ration.	96
Tableau 17 : Energie métabolisable et macronutriments des principales espèces de poissons consommées par les dauphins sauvages.	98
Tableau 18 : Comparaison des coefficients de variation entre le lot de poisson « captivité » et le lot de poisson « sauvage ».	99
Tableau 19 : Compositions minérales des différents poissons du lot « sauvage » en mg/Mcal, et $DACA_{simple}$ associée en mEq/Mcal.	102
Tableau 20 : Comparaison des apports nutritionnels des rations « Méditerranée » et « Atlantique ».	104

INTRODUCTION

Le grand dauphin commun, *Tursiops truncatus*, également appelé dauphin souffleur, est un cétacé appartenant à la famille des Delphinidés. Aujourd'hui, les dauphins peuplent toutes les mers du monde, à l'exception des zones arctiques et antarctiques. Le grand dauphin commun est le dauphin le plus connu du grand public. C'est l'espèce de mammifère marin la plus représentée dans notre culture : déjà dans la littérature et mythologie grecque, le dauphin souffleur a une présence remarquable, et les poètes décrivent des êtres sauvages intelligents, capables de guider les navires à bon port (Johnston et al. 2016). Récemment on a pu le retrouver dans le septième art, avec par exemple la série télévisée qui a connu un grand succès : « Flipper le dauphin ».

De ce fait, l'être humain cherche à favoriser le contact avec cette espèce, et il existe aujourd'hui des dizaines de delphinariums sur toute la planète. Cet attrait pour le grand dauphin n'est pas sans conséquences pour lui : il apparait que les dauphins élevés en captivité présentent de nombreuses maladies d'origine nutritionnelle, comparé à leurs homologues sauvages. D'un autre côté, la communauté scientifique s'intéresse aussi particulièrement à cet animal, et de nombreuses recherches ont été réalisées à son sujet, dans le but de comprendre son mode de vie, ses comportements et sa physiologie.

Dans ce manuscrit nous allons nous intéresser aux urolithiases à urates d'ammonium. Chez les mammifères, le développement de cette maladie est principalement attribué à la composition nutritionnelle du régime alimentaire, et/ ou à la présence de maladies sous-jacentes telles que l'obésité ou une fonction hépatique compromise. Le *Marine Mammal Program* de la *Navy* américaine et la *National Marine Mammal Foundation* étudient les dauphins souffleurs depuis de nombreuses années. Or ils ont signalé une prévalence de cette maladie lithiasique pouvant atteindre jusqu'à 35% chez les individus captifs. De plus, il semble que les individus sauvages ne développent pas cette maladie. Dans ces structures, les rations données aux animaux sont principalement composées de deux poissons, le hareng atlantique et le capelan. Cependant, au parc Marineland d'Antibes, les rations alimentaires données aux grands dauphins communs ont changé en 2018, et sont composées de nombreuses espèces, mais ne contiennent ni hareng atlantique, ni capelan.

La première partie de ce manuscrit présente l'état actuel des connaissances sur le dauphin souffleur. La seconde partie consiste quant à elle en une étude bibliographique exhaustive de la présence d'urolithiases chez le grand dauphin. Elle présente les mécanismes physiopathogéniques de cette maladie chez cet animal, et met en lumière les traitements qu'on connaît à ce jour. Enfin, la troisième partie s'intéresse aux dauphins en captivité au parc Marineland d'Antibes, en France. L'objectif est de réaliser une étude nutritionnelle des poissons disponibles au parc pour l'alimentation des dauphins souffleurs, mais également des poissons consommés par les dauphins sauvages. Avec ces données, le but est de comparer différentes rations disponibles au parc Marineland entre elles, mais aussi avec des rations sauvages déterminées à l'aide de la bibliographie, et avec la ration « historique » composée de hareng atlantique et de capelan. Ces résultats permettront alors de déterminer si les poissons distribués aux dauphins du parc Marineland peuvent augmenter les risques d'apparition de lithiases à urate d'ammonium chez le grand dauphin commun.

I. GENERALITES

A. DESCRIPTION DE *TURSIOPS TRUNCATUS*

1) Caractéristiques

Le grand dauphin commun est observé par l'homme depuis des millénaires. Son nom scientifique *Tursiops truncatus* a été donné en 1821 par Montagu. Le genre *Tursiops* dérive du latin *Tursio* qui veut dire « dauphin » et *-ops* qui signifie « apparence ». L'espèce *truncatus* dérive de *trunco* pour « tronqué », ce qui fait référence aux dents progressivement usées au cours de la vie de l'animal. Il appartient à la classe des Mammifères, l'ordre des cétacés, le sous-ordre des Odontocètes et la famille des Delphinidés. On l'appelle aujourd'hui le grand dauphin, grand dauphin commun ou encore dauphin souffleur.

Ce sont des animaux cosmopolites dans leur distribution géographique. En effet, leurs populations peuvent être observées dans les eaux tempérées à tropicales, aussi bien proches des côtes qu'en pleine mer. L'anatomie externe du dauphin souffleur est visible sur la figure 1. Le grand dauphin présente un corps robuste de taille moyenne, une nageoire dorsale légèrement en forme de faucille, une couleur foncée et une nette démarcation entre le melon et le rostre. Les adultes mesurent de 2,5 à 3,8 m. La taille dépend de la localisation géographique, et dans de nombreux endroits du monde, excepté le Pacifique Est, elle semble être inversement proportionnelle à la température de l'eau (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018).

Le long du dos et des flancs, ils présentent des teintes grises à noires, qui s'éclaircissent vers un ventre blanc. La nageoire caudale possède une incurvation le long de la marge caudale et est symétrique le long de l'encoche médiane (Palka 2001). On peut observer des variations dans leurs tailles, couleurs et morphologies crânielles en fonction de leurs régimes alimentaires. Les représentants de *Tursiops* présentent un polymorphisme et l'existence de variations clinales¹ a conduit à un consensus général sur le fait que *Tursiops* est un genre comprenant deux espèces (*T. truncatus*

¹ Une variation clinale est une série de populations voisines proches géographiquement, dont les populations relativement apparentées peuvent se reproduire entre elles, mais au sein de laquelle il existe au moins deux populations « terminales » qui sont trop peu apparentées pour qu'il y ait inter-reproduction.

et *T. aduncus*). Cependant, des données génétiques, morphologiques et physiologiques récentes suggèrent qu'une révision du genre pourrait être nécessaire pour établir les différences entre les populations provenant de différents océans ou vivants à proximités des zones côtières.

Les individus peuplant les côtes atlantiques sont en général plus petits et plus clairs, présentent des nageoires proportionnellement plus grandes et des caractéristiques hématologiques et des ADN mitochondriaux différents de ceux vivant en pleine mer. Pourtant, les grands dauphins du Pacifique Est sont plus petits mais également plus foncés que ceux des côtes pacifiques. Le statut taxonomique de *Tursiops* est d'autant plus compliqué car il a déjà été observé des hybridations avec d'autres espèces d'Odontocètes (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018).

2) Anatomie et vie

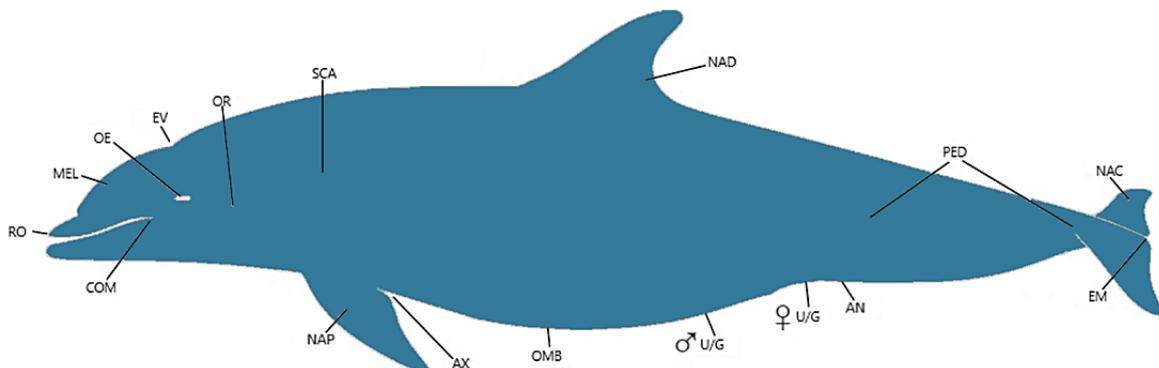


Figure 1 : Illustration de l'anatomie externe d'un Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*), d'après Gulland *et al.* 2018.

AN= Anus	NAP= Nageoire pectorale ;
AX= creux axillaire	OE= Œil
COM= commissure de la bouche	OMB= Ombilic
EM= Encoche Médiane	OR= Oreille
EV= Event	PED= Pédoncule
MEL= Melon	RO= Rostre
NAC= Nageoire caudale	SCA= Bord dorsal de la scapula
NAD= Nageoire dorsale	U/G= Fente uro-génitale

Les cétacés sont des mammifères présentant un nombre important d'adaptations anatomiques externes et internes, leur permettant de vivre en milieu marin. Leur corps fuselé entraîne la réduction de frictions, leurs nageoires caudales et pectorales sont puissantes et leurs narines présentent une localisation dorsale : toutes ces spécificités externes permettent l'optimisation d'une vie sous-marine et des plongées en eaux profondes. Leurs organes internes présentent également des particularités qui permettent leur survie face à des changements de pressions sanguines rapides, une anoxie tissulaire ainsi qu'une diminution de l'afflux sanguin (Tettamanti et al. 2004).

Les grands dauphins communs femelles peuvent vivre jusqu'à 57 ans et les mâles 48 ans. Ils finissent leur croissance aux alentours de 8 ans. Les femelles atteignent leur poids et taille d'adulte, ainsi que leur maturité sexuelle avant les mâles. Cela peut aboutir dans certaines régions à un dimorphisme sexuel. L'âge de maturité sexuelle varie en fonction des régions. En général, elle apparaît entre 5 et 13 ans pour les femelles et entre 9 et 14 ans pour les mâles.

Bien que des naissances aient été observées tout au long de l'année, une certaine saisonnalité se dégage, avec un pic de mise-bas au printemps et en été. Le suivi hormonal des grands dauphins communs en captivité a permis de montrer que les femelles ovulent spontanément et de manière sporadique. L'ovulation est répétée pendant une saison donnée. Les mâles quant à eux, sont actifs tout au long de l'année. La concentration sanguine en testostérone reste élevée pendant une période où plusieurs femelles ovulent activement. Même les femelles de plus de 48 ans peuvent mettre bas et élever une progéniture.

La gestation dure 1 an. Les jeunes mesurent entre 84 et 140 cm, et leur taille dépend de la région géographique. La période d'allaitement dure au minimum 1 an et peut parfois se prolonger pendant quelques années. Une diversification alimentaire a lieu à partir de 4 mois. Chez les populations sauvages, la mère reste avec sa progéniture pendant 3 à 6 ans. Le sevrage comportemental coïncide la plupart du temps avec la naissance d'un nouvel individu. Il a déjà été observé des femelles simultanément en lactation et en gestation.

Les causes de mortalité sont à la fois naturelles et anthropogéniques. L'âge avancé, l'incapacité de se nourrir en tant que jeune, les conflits intraspécifiques, la

prédation, les blessures, les maladies ou encore les biotoxines causées par la prolifération d'algues nuisibles représentent les causes de mort naturelles. Par exemple, les marées rouges sont provoquées par le dinoflagellé *Karenia brevis*, qui relâche en grande quantité de puissantes neurotoxines marines, connues sous le nom de brevetoxines. Les poissons peuvent accumuler des concentrations élevées de cette toxine, entraînant la mort des dauphins qui les consomment (Flewelling et al. 2005). Les causes résultant de l'activité humaine sont les prises dans les filets, l'ingestion de filets ou d'hameçons, la pollution, les collisions avec les bateaux, le bruit qui les empêche de chasser leur nourriture, la chasse au harpon et la surpêche (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018).

3) Distribution, habitat et écologie

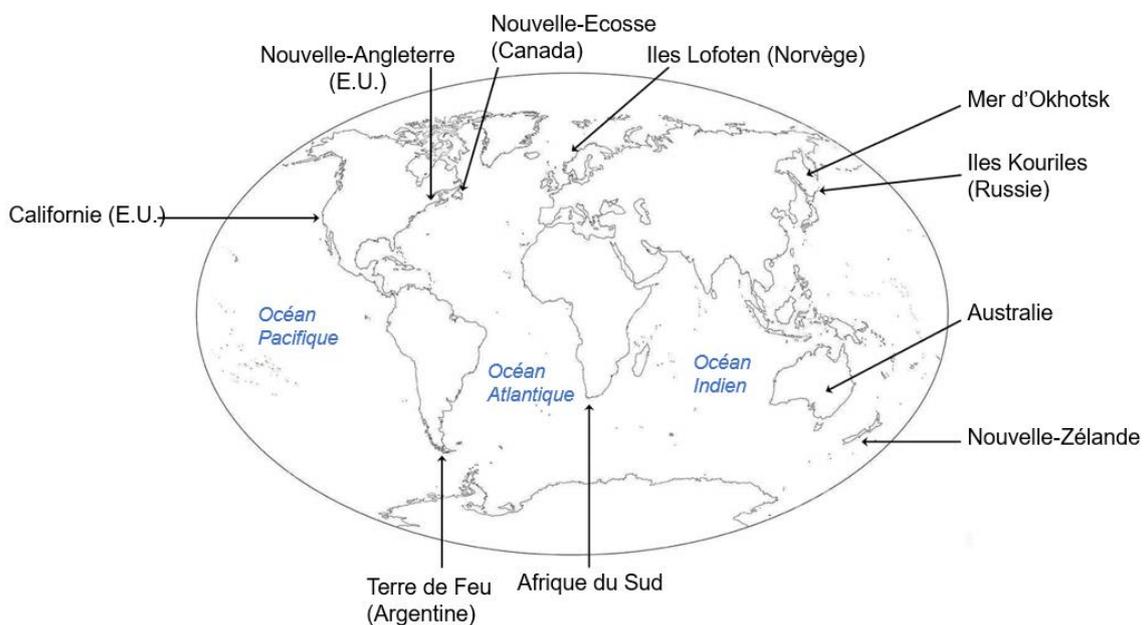


Figure 2 : Distribution des populations sauvages de *Tursiops truncatus* à travers le monde

Le grand dauphin commun peuple les eaux marines tempérées à tropicales. La population mondiale est estimée à 750 000 individus. Dans le Pacifique Nord, les populations se retrouvent jusqu'à la mer d'Okhotsk, les Iles Kouriles et la Californie centrale. Dans l'Atlantique Nord, on peut les observer dans les eaux côtières en été au large de la Nouvelle-Angleterre, au large des côtes de la Nouvelle Ecosse et au large de la Norvège et des Iles Lofoten. Dans l'hémisphère Sud, ils peuplent les eaux marines de la Terre de Feu, de l'Afrique du Sud, de l'Australie et de la Nouvelle Zélande.

Leur distribution à travers le monde est limitée directement par la température de l'eau ainsi que la distribution des proies. Au large des côtes Nord-américaines, la température de surface des eaux qu'ils habitent varie entre 10 et 32°C. Dans l'Atlantique Nord-Ouest, les populations présentes à l'extrême Nord sont des migratrices saisonnières, se déplaçant vers le Sud en hiver (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018). *T. truncatus* fréquente les rivages tempérés chauds et tropicaux. Il s'adapte donc à une variété d'habitats marins et estuariens, allant même jusqu'aux rivières. Le grand dauphin préfère vivre proche des côtes, mais on le retrouve aussi dans les eaux pélagiques, près des îles océaniques et sur le talus continental. Dans l'océan indien, *T. truncatus* se retrouve plus au grand large, l'espèce côtière la plus commune étant *T. aduncus*.

Le régime alimentaire du grand dauphin commun a été décrit dans de nombreuses régions. Leur diète est composée d'une large variété de poissons et/ou calmars bien qu'ils montrent une préférence constante pour les Sciénidés (ombrine, acoupa), les Scombridés (maquereau et maquereau espagnol) et les Mugilidés (mulet cabot). Tous ces poissons sont des poissons osseux (Ostéichthyens) (Gousset et al. 2001).

La plupart des proies sont des poissons habitants les fonds marins. Cependant certaines espèces pélagiques ou de surface peuvent être représentées dans le régime alimentaire. Les sons émis par les proies permettent aux dauphins de les repérer. De ce fait, les poissons les plus bruyants représentent une grande part du régime alimentaire. Des différences de rations ont pu être observées chez des dauphins vivant dans deux écosystèmes différents. Par exemple, les populations de dauphins souffleurs vivant dans les eaux écossaises semblent avoir pour proies principales : la morue atlantique (*Gadus morhua*), le lieu noir (*Pollachius virens*) et le merlan

(*Merlangius merlangus*) (Santos et al. 2001). En revanche, les populations peuplant les eaux du Nord-ouest de l'Espagne semblent consommer prioritairement le merlu commun (*Merluccius merluccius*) et le merlan bleu (*Micromesistius poutassou*) (Santos et al. 2007).

Au sein de chaque population, les habitudes alimentaires peuvent également varier. Dans certains cas, les groupes se nourrissent dans différentes zones, en fonction de leur âge et de leur sexe. Les femelles en lactation ainsi que leur progéniture se nourrissent en zone littorale, les femelles non gestantes et les mâles adultes se nourrissent au large, et les adolescents en zone intermédiaire (Gulland et al. 2018). Leurs prédateurs sont les requins mais également de manière plus anecdotique les orques (*Orcinus orca*). Dans certaines régions, le grand dauphin est une proie occasionnelle des requins. La plupart des plaies et cicatrices dues aux morsures de requins sont présentes en région ventrale et postérieure de l'animal. Cela suggère que les attaques ont lieu par embuscade. La défense de territoire peut être à l'origine d'attaques. Le premier prédateur est le requin bouledogue (*Carcharhinus leucas*), suivi du requin tigre (*Galeocerdo cuvier*), du grand requin blanc (*Carcharodon carcharias*) et du requin requiem de sable (*Carcharhinus obscurus*) (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018).

4) Comportement et physiologie

Le dauphin commun côtier présente un spectre de mouvements très large avec des migrations saisonnières, des aires de résidences périodiques et des trajets occasionnels sur de longues distances. Les mouvements des groupes vivant en pleine mer sont moins connus à ce jour. Une résidence de longue durée dans une aire particulière a été signalée dans de nombreuses parties du monde (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018). Les bancs de dauphins peuvent y rester de manière permanente ou y revenir pendant plusieurs années d'affilée avec une fréquence élevée. L'aire de vie est souvent délimitée par des caractéristiques physiographiques comme un changement abrupt de la profondeur du fond marin (Bearzi et al. 2009).

Des déplacements sur de plus longues distances ont été signalés pour certains grands dauphins côtiers. Ceux-ci peuvent être une réponse apparente à des changements environnementaux. Par exemple le courant El Nino au large du Pérou et

de l'Equateur a permis l'observation d'un transfert de population de plusieurs centaines de kilomètres (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018). En Argentine, des allers-retours de 600 km ont également été observés chez certains groupes d'individus. Dans les eaux extracôtières, la surveillance des déplacements de bancs sur une distance totale de 4200 km a montré un déplacement quotidien moyen de 33 à 89 km (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018).

Les grands dauphins communs se retrouvent en groupe de 2 à 15 individus. Cependant des groupes de plus de 1000 individus ont déjà été rapportés. En général, les groupes vivants dans les baies ou les estuaires présentent un plus petit nombre d'individus par rapport aux groupes vivant en haute mer. Cependant, il n'y a pas de corrélation linéaire entre le nombre d'individus et la distance les séparant de la côte. La composition des groupes tend à être dynamique (Bearzi et al. 2009). Les facteurs déterminants apparaissant comme les plus importants sont l'âge, le sexe, l'état reproducteur mais aussi les relations familiales et les antécédents entre les individus. Les sous-groupes présents au sein du banc peuvent être stables tout au long de l'année ou se reformer périodiquement. Les unités sociales de base comprennent les groupes de nurserie, les juvéniles et les mâles adultes seuls ou en duo fortement liés. Les femelles s'accouplent avec de nombreux partenaires durant leur vie. Aucune liaison monogame sur le long terme n'a été observée à ce jour (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018).

A l'état sauvage, le grand dauphin commun est actif autant la journée que la nuit. Les individus varient entre la recherche de nourriture, les déplacements, les comportements de socialisation et le repos. La durée ainsi que la fréquence de ces activités sont influencées par des facteurs environnementaux tels que la saison, l'habitat, le moment de la journée et la marée mais aussi par des facteurs physiologiques tels que la reproduction saisonnière.

Ils se nourrissent de multiples manières dans de nombreux habitats différents. La chasse est individuelle mais peut être occasionnellement coopérative au sein du groupe (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018). La capture individuelle des proies implique des comportements divers comme la chasse à grande vitesse avec capture de la proie en surface, la frappe avec la nageoire caudale permettant d'éjecter la proie hors de l'eau (« fishwhacking »), la repousse des proies vers les rivages avec un échouage partiel des prédateurs pour les capturer, les rafales de bulles permettant de faire

remonter les bancs de poissons à la surface, le rassemblement puis la désorientation des poissons grâce à des percussions réalisées à l'aide de leurs nageoires et queues (« kerplunking ») (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018).

Dans les habitats peu profonds, ils ont tendance à faire des plongées brèves, remontant à la surface en moyenne deux fois par minute. Dans les eaux profondes, des immersions de plus de 5 minutes à des profondeurs dépassant les 500 mètres ont été observées (Gulland et al. 2018). Ces plongées étaient d'ailleurs corrélées avec les migrations verticales nocturnes de poissons mésopélagiques (de 200 à 1000 mètres de profondeurs).

Le grand dauphin commun produit trois catégories de sons ; les sifflements, les clics d'écholocation et les « burst pulses » qui sont des sons pulsés. Ils produisent une large variété de sifflements, comprenant le « sifflement signature » qui est spécifique à chaque individu et apparaît être utilisé pour reconnaître une identité, une localisation et possiblement un état émotionnel. Une fois que ce son se développe chez les nouveau-nés il reste stable pendant plusieurs années. Ces sifflements leur permettent de communiquer même lorsqu'ils sont éloignés de plusieurs centaines de kilomètres. Les clics sont utilisés pour l'écholocation et sont compris entre des fréquences de 40 à 130 kHz. Les sons pulsés eux sont produits pendant les interactions sociales (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018).

5) Relations avec l'être humain

Le grand dauphin commun profite des activités humaines pour faciliter la capture des proies. En Mauritanie et au Brésil, ils dirigent les bancs de mulets vers les pêcheurs à filets d'eau peu profonde. Ils récupèrent les poissons rejetés à l'arrière des bateaux de pêche ou des chaluts. Ils volent parfois les poissons attrapés dans différents types d'engins de pêche (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018 ; Gulland et al. 2018).

Le grand dauphin commun a été exposé au public pour la première fois à l'Aquarium de Brighton en Angleterre en 1883, puis à celui de New York en 1914. Il est présent au Marineland de Floride depuis 1938 et au Marineland d'Antibes depuis

l'ouverture du parc en 1970. *Tursiops truncatus* est aujourd'hui l'espèce de dauphin la plus répandue dans les parcs aquatiques.

L'amélioration de nos connaissances quant aux besoins et bien-être animal de cette espèce a permis d'accroître le succès d'entretien en captivité. Les taux de naissance et de survie dépassent parfois ceux des populations sauvages. A cause du déclin des populations de *T. truncatus*, beaucoup de pays ont interdit sa pêche. Cependant elle reste légale dans de nombreuses régions comme les Iles Féroé, le Sri Lanka, le Pérou et le Japon, pour la consommation humaine ou en guise d'appât. En effet, la chair des cétacés peut être utilisée par les pêcheurs pour capturer les poissons (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018). Des individus peuvent être accidentellement pêchés dans des filets à senne coulissante destinés aux thons, sardines ou anchois (figure 3). Les sennes sont des filets rectangulaires utilisés en surface pour encercler les bancs de poissons. Les sennes tournantes peuvent dépasser une longueur d'un kilomètre pour une hauteur de 100 à 200 mètres. Des flotteurs sont fixés sur la partie supérieure tandis que la partie inférieure est lestée. Une coulisse permet le boursage de la partie inférieure du filet (Ifremer 2012). Dans certains cas, les pêcheurs abattent des dauphins pour les empêcher de détériorer le matériel, voler les prises ou encore les appâts.

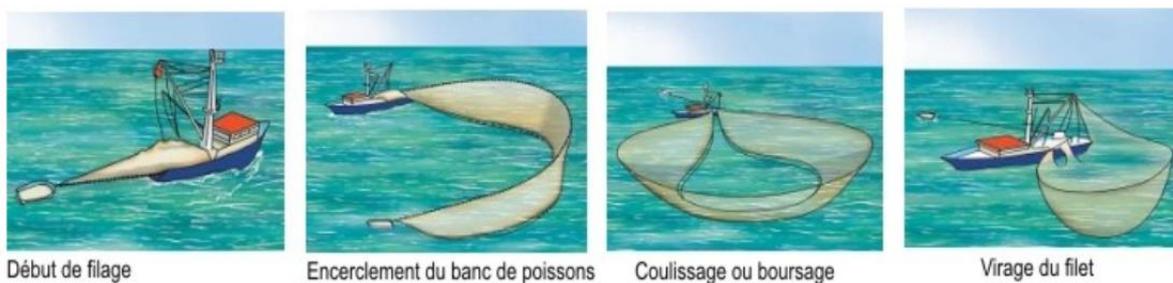


Figure 3 : Sennes tournantes et coulissantes. D'après l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer)

Une concentration très élevée de résidus d'hydrocarbures chlorés a été retrouvée dans les tissus de nombreux individus à travers le monde. Les mâles accumulent plus de toxines que les femelles (Cockcroft et al. 1989). Cockcroft *et al.* suggèrent que les nouveau-nés en Afrique du Sud reçoivent 80% du poids corporel de leur mère en résidus contaminants, les polychlorobiphényles (PCB). Cela peut avoir pour conséquence une augmentation de la mortalité néonatale mais aussi la diminution de la concentration en polluants chez la mère. Une étude de 2005 en Floride vient d'ailleurs appuyer ces données (Wells et al. 2005). Dans cette étude, les mâles et les femelles présentent avant la maturité sexuelle des concentrations lipidiques en PCB similaires (15-50 ppm). Cependant, les mâles continuent à accumuler ces contaminants toute leur vie alors que les femelles atteignent un équilibre entre l'absorption des polluants environnementaux et la perte par lactation. Les mâles atteignent alors des concentrations tissulaires en PCB supérieures à 100 ppm alors que les valeurs restent inférieures à 15 ppm pour les femelles.

L'accumulation de contaminants dans les tissus des mâles a atteint un niveau qui théoriquement pourrait nuire à la production de testostérone et donc réduire la capacité de reproduction. En effet les PCB sont des perturbateurs endocriniens (Wells et al. 2005). Les résultats préliminaires suggèrent que même des concentrations faibles en PCB et métabolites de dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) peuvent entraîner un déclin des fonctions du système immunitaire, de la santé et du succès de reproduction chez le grand dauphin commun (Perrin W. F, Würsig Bernd 2018).

L'attention se tourne aujourd'hui vers les activités touristiques autour des dauphins ainsi que l'utilisation de leurs habitats par l'homme. L'abondance relative des populations de cétacés peut diminuer à cause de l'augmentation des activités d'observation de dauphins par les touristes. Les grands dauphins souffrent de blessures graves causées par des collisions avec des bateaux. Les navires génèrent un bruit qui perturbe la communication et influencent négativement le comportement des dauphins (stress, agressivité) (Palka 2001 ; Perrin W. F, Würsig Bernd 2018).

Cependant, même si certaines populations font face à de nombreuses menaces, l'espèce *T. truncatus* n'apparaît pas comme en déclin. L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) a donc classé le grand dauphin commun comme une espèce de préoccupation mineure (en anglais LC = *least*

concern) (IUCN 2018). La sous-population de Méditerranée est, quant à elle, classée vulnérable (VU) (IUCN 2009).

B. MALADIES METABOLIQUES D'ORIGINE NUTRITIONNELLE DES DAUPHINS EN CAPTIVITE

1) Syndrome métabolique et diabète

a. Etudes réalisées sur le métabolisme du grand dauphin

Les grands dauphins communs (*Tursiops truncatus*) ont été particulièrement étudiés dans le cadre de la recherche sur le diabète humain. En effet un modèle animal représentant le diabète de type 2 était souhaité pour mieux comprendre les mécanismes de celui-ci.

Les recherches montrent que lorsqu'on nourrit des dauphins avec une solution de dextrose 10%, ils développent une hyperglycémie persistante pendant 10h après ingestion (Venn-Watson et al. 2011). Cette réponse est une caractéristique du diabète sucré chez l'homme. Pour les personnes atteintes de diabète de type 1, l'hyperglycémie est le résultat d'un manque de production d'insuline par les cellules β pancréatiques, qui sont détruites par exemple lors d'un processus auto-immun. Une hyperglycémie persistante peut être la conséquence d'une pancréatite et d'une libération insuffisante d'insuline (Sam, Meeran 2009). En comparaison le diabète de type 2 est dû à une résistance à l'insuline des cellules hépatiques, musculaires et adipeuses. L'insulinorésistance se caractérise par : l'incapacité de l'insuline à obtenir une réponse maximale au niveau de ses organes cibles, un défaut de captation musculaire du glucose, un accroissement de la production hépatique de glucose (néoglucogénèse) à l'origine de l'hyperglycémie à jeun et une augmentation des acides gras libres dans le torrent circulatoire. Puisque la glycémie augmente, le pancréas augmente la production d'insuline, ainsi que la sécrétion et le relargage de l'hormone dans la circulation sanguine, à l'origine d'une hyperinsulinémie (Sam, Meeran 2009).

Les dauphins nourris avec un repas de poissons riches en protéines et pauvres en glucides (exemple ; le maquereau) ont une augmentation de la glycémie pendant 5h. Cependant cette glycémie reste en dessous des valeurs retrouvées chez les dauphins traités par le dextrose (Venn-Watson et al. 2011). Ces augmentations sont dues au déclenchement de la néoglucogénèse hépatique par sécrétion de glucagon, et peuvent être considérées comme une réponse normale de l'organisme face à de

fortes demandes en glucose lors d'une augmentation de l'activité physique par exemple (Venn-Watson et al. 2011). En parallèle, ils développent une hyperinsulinémie avec un tel repas. La réponse métabolique du grand dauphin commun face à un repas conséquent riche en protéines et pauvre en glucides peut s'apparenter à une insulino-résistance (Venn-Watson 2014).

Concernant l'évolution de l'insuline et du glucagon en période post-prandiale et pendant le jeûne, des études montrent que les dauphins pourraient avoir une insulino-résistance physiologique sous-jacente ou du moins, un besoin en insuline postprandiale plus élevé que chez les humains ne présentant pas de maladie. Le dauphin commun présente physiologiquement une réponse métabolique similaire à un syndrome métabolique ou pré-diabète humain, c'est-à-dire une hyperglycémie persistante et une hyperinsulinémie (Venn-Watson 2014). Les indicateurs sanguins du syndrome métabolique chez le dauphin incluent une élévation de l'insulinémie postprandiale, de la triglycéridémie, de la glycémie, de la concentration en γ -glutamyl transpeptidase (GGT) et de la concentration sérique en fer (Venn-Watson et al. 2013).

Enfin, de nouvelles recherches dans l'espèce humaine ont montré que l'hyperuricémie est fréquente chez les sujets atteints de diabète de type 2. Pendant de nombreuses années, l'augmentation de la concentration sanguine en acide urique était attribuée aux effets de l'insulino-résistance qui réduit l'excrétion urinaire de l'acide urique, et l'acide urique n'avait pas de rôle causal dans le développement du syndrome métabolique. Des études expérimentales ont cependant montré que l'hyperuricémie peut être à l'origine d'une résistance à l'insuline, d'une lipidose hépatique et de dyslipidémies dans les modèles de syndrome métabolique (Association française d'urologie 2018b). Le mécanisme de résistance à l'insuline induite par l'acide urique semble impliquer une amplification de la sécrétion d'insuline par une décharge excessive d'oxyde nitrique produit par les cellules endothéliales (King et al. 2018). Les personnes atteintes de diabète sucré associé à une néphropathie présentent une uricémie augmentée (Sam, Meeran 2009).

b. *Les populations de dauphins étudiées au Marine Mammal Center de San Diego (Californie)*

Ces études suggèrent que ces mammifères marins ont développé des états transitoires physiologiques de résistance à l'insuline, permettant un soutien du métabolisme en assurant des concentrations élevées en glucose, principalement pendant les immersions prolongées ou les jeûnes naturels.

Initialement, toutes ces variations métaboliques étaient pensées comme naturelles et non pathologiques. En effet une même réponse métabolique peut être physiologique chez des carnivores mais être un signe de diabète sucré chez l'homme. Les grands dauphins au *Marine Mammal center* ont montré des hyperglycémies et hyperinsulinémies post-prandiales, des dyslipidémies et des stéatoses hépatiques, similaires au syndrome métabolique chez l'être humain. Cependant la comparaison entre des populations en captivité et des populations sauvages suggère des concentrations en insuline et des risques d'insulinorésistance plus élevés chez les animaux captifs. On sait aujourd'hui qu'elles peuvent être à l'origine d'états réellement pathologiques de diabète sucré chez les dauphins maintenus en captivité (Venn-Watson et al. 2011 ; Venn-Watson 2014 ; Gulland et al. 2018 ; Venn-Watson et al. 2013).

2) Lipidose hépatique et maladie par surcharge de fer

a. *Lipidose hépatique*

Les troubles hépatiques associés au syndrome métabolique chez les êtres humains, tels que la lipidose ou stéatose hépatique, et la surcharge en fer, se retrouvent également chez les populations de dauphins souffleurs, qu'elles soient sauvages ou en captivité, d'après les études réalisées chez les dauphins du *Marine Mammal Center*.

Chez le dauphin, la lipidose hépatique a été associée à une glycémie et à une insulinémie augmentée de manière chronique. Ces données supportent la notion que la lipidose hépatique du dauphin peut être comparée à la stéatose hépatique non alcoolique de l'humain. En revanche, les cas de lipidose hépatique retrouvés chez le

chat ou le bétail, sont le plus souvent imputables à une obésité ou à une balance énergétique négative (Seitz et al. 2016).

Chez les personnes présentant un syndrome métabolique, l'hépatomégalie est causée par une lipidose hépatique, une glycogénose hépatocellulaire ou une hépatopathie glycogénique. L'hépatopathie glycogénique est un syndrome rare décrit chez les patients présentant un diabète de type 1 non contrôlé (Sam, Meeran 2009). La pathophysiologie expliquant ces troubles réside dans le fait que le glucose entre librement dans les hépatocytes et est converti en glycogène durant les états hyperglycémiques. Ce métabolisme étant conduit par l'insuline, les individus ayant un diabète de type 1 peu contrôlé qui prennent par intermittence de fortes doses d'insuline alors qu'ils présentent une hyperglycémie sous-jacente, peuvent accumuler le glycogène dans leurs hépatocytes, ce qui entraîne alors une hépatomégalie (Sam, Meeran 2009). Chez les dauphins, l'hépatomégalie est peu fréquente et elle est due à une lipidose hépatique, et non à une accumulation de glycogène (Seitz et al. 2016).

L'hépatomégalie peut également être causée par une lipidose hépatique. La physiopathologie de la lipidose hépatique non alcoolique en association avec un syndrome métabolique a été décrite chez les êtres humains. L'hypothèse principale est la suivante ; une fois la lipidose hépatique développée, l'organe devient insulino-résistant. L'insulino-résistance dans le foie empêche la limitation de la néoglucogénèse hépatique au profit d'une production de lipoprotéines à très faible densité (VLDL) (Sam, Meeran 2009). De cela résulte une hyperglycémie, une hyperinsulinémie compensatoire et une hypertriglycéridémie. L'insulino-résistance cause aussi une augmentation de la lipolyse, ce qui conduit à un afflux d'acides gras libres jusqu'au foie, qui sont stockés dans le parenchyme hépatique sous forme de triglycérides (Seitz et al. 2016).

b. Maladie par surcharge de fer

La ferritine est une protéine multimérique qui assure le stockage du fer sous forme d'oxydes ferriques. La transferrine est une protéine sérique de transport de fer, présentant deux sites théoriques de fixation. Les dauphins au *Marine Mammal Center* ont présenté dans les études une élévation des concentrations sériques en ferritine, en fer sérique total, et une augmentation du taux de saturation de la transferrine et du taux de liaison totale au fer, plus importantes que les dauphins sauvages (Mazzaro et

al. 2012). Ces dauphins sont donc plus susceptibles de développer une hémochromatose (maladie par surcharge de fer) caractérisée par des dépôts importants de fer dans les cellules de Kupffer sous forme d'hémosidérine. L'étude de Venn-Watson *et al.*, 2012 indique que la population du *Marine Mammal Center* présente à la fois des individus atteints d'hémochromatose et des individus atteints de lipidose hépatique. De plus, les examens cliniques et histologiques réalisés sur ces individus suggèrent des causes métaboliques, non héréditaires (Venn-Watson *et al.* 2012).

Chez l'homme, les surcharges chroniques en fer non hémochromatosiques sont caractérisées par une hyperferritinémie sans augmentation du coefficient de saturation de la transferrine. La présence d'une hyperferritinémie est corrélée à l'incidence du diabète de type 2, et associée à la présence d'une hypertension, d'une dyslipidémie, de troubles de tolérance glucidique, d'une surcharge pondérale abdominale et d'un syndrome métabolique. Enfin, l'hyperferritinémie n'est pas nécessairement synonyme de surcharge en fer et pourrait être un simple marqueur de l'insulinorésistance (Vantghem *et al.* 2008).

Bien que les causes de surcharge en fer soient inconnues chez les dauphins, l'hyperinsulinémie post-prandiale a été associée à un excès de dépôt de fer dans le foie des dauphins (Mazzaro *et al.* 2012 ; Venn-Watson *et al.* 2012). Les dauphins du *Marine Mammal Center* atteints d'hémochromatose présentaient une insulinorésistance concomitante (Neely *et al.* 2013).

3) Théorie évolutive de l'insulinorésistance

Chez l'humain, l'insulinorésistance semble avoir évolué chez nos ancêtres primates durant l'ère glaciaire. Durant cette période, nos ancêtres ont changé leurs habitudes alimentaires, passant d'une alimentation riche en glucides et faible en protéines, à une alimentation faible en glucides et riche en protéines. Ces changements ont permis la sélection du caractère de l'insulinorésistance de façon parallèle à l'augmentation de la taille de l'encéphale. En effet, certains tissus comme le système nerveux central, les érythrocytes et la médulla rénale ne peuvent pas cataboliser les acides gras. Leur fonctionnement est donc dépendant de l'apport en glucides ou en corps cétoniques. Lorsque les humains sont revenus à des régimes de

plus en plus riches en glucides, l'insulinorésistance est devenue une condition possiblement anormale pouvant évoluer en diabète de type 2 (Venn-Watson et al. 2011 ; Gulland et al. 2018).

Il y a environ 55 millions d'années, le dauphin était un mammifère terrestre qui a complètement évolué vers une vie marine. Les mammifères terrestres les plus proches génétiquement du dauphin aujourd'hui sont les artiodactyles comme les vaches, les cochons et les camélidés (Gulland et al. 2018). La plupart de ces espèces sont herbivores strictes et aucune n'est carnivore stricte. Il est donc possible que l'ancêtre terrestre du dauphin se nourrissait avec une alimentation riche en glucides et pauvre en protéines. Parce que les dauphins ont développé un encéphale de taille importante ayant des besoins élevés en glucose, ils ont pu, eux aussi, devenir insulinorésistants afin de maintenir leur glycémie. De plus, la masse érythrocytaire est exceptionnellement élevée chez les mammifères marins, et peut représenter jusqu'à 10% de la masse corporelle (Gulland et al. 2018), ceci contribuant à accroître les besoins en glucose.

Cependant, contrairement aux humains, les dauphins continuent de se nourrir avec des régimes faibles en glucides, sans développer forcément de maladies liées à l'insulinorésistance (Venn-Watson et al. 2011 ; Gulland et al. 2018).

4) Lithiase à urate d'ammonium

La lithiase à urate d'ammonium est une maladie fréquente chez les dauphins du *Marine Mammal Center*, mais n'est pas considérée comme une maladie importante dans les populations sauvages. L'analyse avec un microscope à lumière polarisante de calculs de dauphins archivés depuis les années 1990 montre que 100% des calculs sont à urate d'ammonium (Venn-Watson et al. 2010).

Chez l'homme, la néphrolithiase à acide urique est associée à des concentrations élevées d'acide urique sériques et urinaires, et à un pH urinaire faible. De plus, plusieurs études récentes ont montré une corrélation entre la maladie lithiasique, le diabète de type 2 et l'existence d'une goutte viscérale. La goutte est une maladie chronique où un dépôt d'acide urique se réalise dans plusieurs sites de l'organisme. Lorsque ces dépôts ont lieu dans les articulations, on parle de goutte

articulaire. Si les dépôts ont lieu dans les viscères, on parle de goutte viscérale (Sam, Meeran 2009). Par ailleurs, il a été observé pour l'ensemble des maladies lithiasiques une corrélation inverse entre le pH urinaire (reflet de la résistance du rein à l'insuline) et le poids des patients (reflet de la résistance périphérique à l'insuline) (Association française d'urologie 2016). Les patients ayant un syndrome métabolique auraient un défaut d'ammoniogenèse (secondaire à la résistance à l'insuline du rein), un pH urinaire plus acide qui favoriserait la formation des cristaux d'urates, une hyperuricémie et curieusement un défaut d'excrétion urinaire d'urates. Ainsi, l'hypouraturie relative n'empêcherait pas les phénomènes de nucléation à partir d'acide urique en raison du rôle majeur du pH urinaire dans la genèse de ces calculs. L'ensemble de ces données suggère que l'alimentation, mais aussi la résistance à l'insuline, sont impliquées dans la survenue des lithiases rénales (Venn-Watson et al. 2010b ; Association française d'urologie 2018b).

Plusieurs études indiquent que les grands dauphins communs sont sensibles aux urolithiases à urate d'ammonium (Smith et al. 2014). Les mécanismes physiopathologiques de formations de calculs à urates d'ammonium chez le grand dauphin seront détaillés de manière exhaustive dans la seconde partie de ce manuscrit.

5) Bilan

Les dauphins sont sensibles à des affections comme l'insulinorésistance, la stéatose hépatique, les néphrolithiases à urates d'ammonium et l'hémochromatose (Venn-Watson et al. 2013).

Pour comprendre pourquoi ces maladies sont fréquentes en captivité, plusieurs études ont comparé les modes de vie de populations sauvages et de populations en captivité au *Marine Mammal Center*. Les populations de *Tursiops truncatus* vivant dans la baie de Sarasota en Floride sont étudiées et surveillées depuis de nombreuses années. Dans une étude comparative, les dauphins sauvages se nourrissent avec une large variété de poissons vivants, et passaient 10 à 20% de la journée à fouiller et s'alimenter (Venn-Watson et al. 2010). Les repas avaient lieu principalement mais pas exclusivement pendant la journée, avec de petites proportions ingérées par courtes périodes successives. Le schéma naturel d'alimentation des dauphins sauvages est

de se nourrir autant que possible et nécessairement à n'importe quel moment de la journée ou de la nuit. Les dauphins sauvages ne consomment pas de grandes quantités sur des périodes restreintes et demeurent actifs tout au long de la journée et de la nuit. Les différents comportements de plongée ne varient que faiblement durant la journée. Les distances de déplacement peuvent être légèrement plus courtes la nuit, suggérant un rythme diurne, bien qu'il ne s'agisse pas d'un repos complet et prolongé.

En comparaison avec les dauphins de la baie de Sarasota, les dauphins du *Marine Mammal Center* en Californie étaient plus âgés, souvent nourris avec une faible variété de poissons. En effet, les espèces de poissons qui composaient leurs repas ne faisaient pas forcément partie de leur alimentation naturelle, les repas et les activités avaient lieu uniquement le jour, et ils étaient nourris avec seulement quelques repas de quantité conséquente.

Les dauphins sauvages de la baie de Sarasota, en Floride (Etats-Unis), ont moins de risque de développer un syndrome métabolique par rapport aux dauphins du *Marine Mammal Center* (Venn-Watson et al. 2010 ; Smith et al. 2014). Comme pour les êtres humains, les différences de régime alimentaire et de cycles d'activités entre les populations sauvages et sédentaires pour les hommes en captivité pour les dauphins pourraient expliquer les variations notées des concentrations en insuline, glucose et lipides sériques plus faibles chez les uns (populations sauvages continuellement actives) que chez les autres.

Après avoir comparé les différents modes de vie, il semble que les facteurs de protection potentiels contre le syndrome métabolique soient : un jeune âge, une activité élevée, une alimentation fractionnée en de nombreux repas de faibles quantités tout au long du jour et de la nuit. Ces facteurs de protection contre l'insulinorésistance et le diabète de type 2 sont similaires à ceux rapportés chez les humains. Le stress (reflété par des concentrations élevées en cortisol et aldostérone) et l'indice de masse corporelle ne semblent pas être les principales causes de résistance à l'insuline et de syndrome métabolique chez le dauphin, à la différence de l'homme (Wells et al. 2013).

Il apparait donc que ces maladies retrouvées chez les populations de dauphins en captivité s'apparenteraient à des maladies d'origine nutritionnelle.

II. LITHIASES URINAIRES DU GRAND DAUPHIN

A. ANATOMIE RENALE CHEZ LE GRAND DAUPHIN

1) Topographie

Comme chez les autres mammifères, les reins reposent en position rétropéritonéale, contre le muscle psoas majeur et près de l'attachement dorsal du diaphragme. Le rein droit est légèrement plus crânial que le gauche. Ils sont séparés dorsalement par la veine cave caudale et ventralement par le colon descendant et le positionnement de l'intestin. Topographiquement, le rein gauche est proche de l'estomac, des anses intestinales et du foie alors que le rein droit est proche du foie, du pancréas, et des intestins (Cozzi et al. 2016).

2) Morphologie

La représentation schématique du rein est visible sur la figure 4. Le rein est de forme ovoïde, semblable à une grappe de raisin, de couleur rouge bordeaux à brun. Chez *T. truncatus*, les reins pèsent environ 310 g chacun et mesurent approximativement 19 cm de long et 6 cm de diamètre. Ils sont entourés d'un fascia fin et fibreux peu adhérent. La capsule adipeuse est fine.

Tous les mammifères ont des reins métanéphriques, c'est-à-dire qui contiennent un cortex, une médulla, des calices et une vascularisation. Chez les cétacés, les reins sont réticulés, c'est-à-dire multilobés, et chaque lobe contient les éléments d'un rein métanéphrique. Chaque lobe s'appelle un réticule et est équivalent à un rein à papille unique de la plupart des mammifères terrestres. Chez le Grand Dauphin, chaque rein contient en moyenne 375 réticules. Chaque réticule a un diamètre de 11 mm et pèse 0.65 grammes. Les réticules sont organisés en plusieurs couches ; la couche la plus superficielle est présente à la surface du rein, et est responsable de son aspect en grappe de raisin (Cozzi et al. 2016).

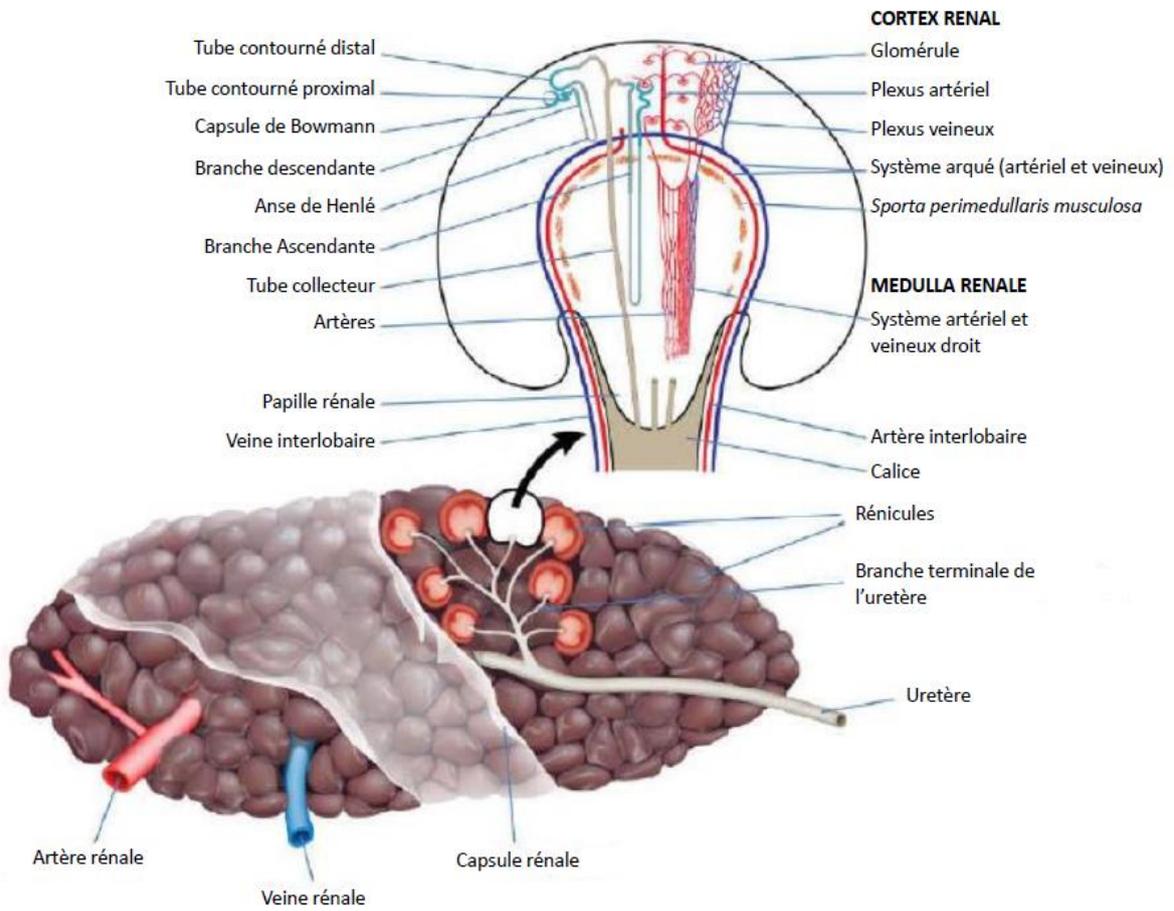


Figure 4 : Représentation schématique d'un rein et d'un rénicule de dauphin, d'après Cozzi *et al.*, 2016.

En comparant différentes anatomies, on s'aperçoit que l'on retrouve cette organisation rénale seulement chez les grands mammifères et les mammifères aquatiques comme les cétacés, les pinnipèdes (morses, otaries et phoques), les ours, les loutres, les éléphants, les bovins, les rhinocéros et les siréniens. Plusieurs autres types de mammifères, comme les Humains, développent des reins réticulés au cours de l'organogénèse, et les réticules fusionnent entre eux dans un second temps (Cozzi et al. 2016).

3) Divisions fonctionnelles

La représentation schématique d'un réticule est visible sur la figure 4. Chaque réticule est de forme conique, avec la pointe dirigée vers l'intérieur. Les réticules sont recouverts et reliés entre eux par une fine capsule fibreuse. Le néphron est l'unité structurelle de base du rein. Il est composé de deux unités fonctionnelles, le glomérule et le tubule. Le cortex rénal, qui contient la grande majorité des glomérules ainsi que des tubes contournés (distaux et proximaux), est situé en surface de chaque réticule. Le cortex est épais de 2 mm et recouvre la pyramide médullaire qui contient la majorité des segments grêles (Anse de Henlé) et des canaux collecteurs. Les pyramides rénales mesurent environ 5 mm de largeur. La hauteur de chaque réticule, depuis la papille rénale jusqu'à la capsule superficielle est d'environ 7 mm. La capsule superficielle est composée de fibres de collagène et de réticuline.

La base de chaque pyramide est couverte d'un calice en forme d'entonnoir qui s'ouvre dans un canal excréteur. Conjointement, il est possible d'avoir jusqu'à 3 pyramides rénales qui s'ouvrent sur un unique calice (Cozzi et al. 2016).

Entre le cortex et la médulla est présent un tissu qui ne concerne que les cétacés et quelques pinnipèdes : la *sporta perimedullaris muscosa*. C'est un tissu fibro-musculaire organisé en filets de gaines composées principalement de tissu conjonctif lâche, de myocytes lisses, de fibres de collagène et d'élastine, et de myofibroblastes alignés dans une seule direction (Cozzi et al. 2016). Chez *T. Truncatus*, il est composé de quatre faisceaux fibro-musculaires, d'épaisseur et de longueur différentes. L'épaisseur totale des lames de tissu conjonctif est d'environ 100 µm. Les cellules fibro-musculaires disséminées dans ce tissu conjonctif semblent répondre à des stimulations cholinergiques (Tettamanti et al. 2004).

Les fenestrations de ce tissu sont larges de 66 à 333 μm . C'est une extension intra-réculaire du tissu musculaire et conjonctif des parois formant le calice. Le tube rénal peut soit contourner les faisceaux de la *porta* pour atteindre les interstices soit, là où le brin est long, traverser en épaisseur, pour atteindre la médulla (Cave, Aumonier 1967).

D'après Tettamanti *et al.*, 2004, la présence de fibres musculaires permettrait aux reins de supporter les états de stress répétitifs dus aux plongées consécutives de l'animal. Elles pourraient avoir une fonction mécanique ayant pour fonction de maintenir l'intégrité anatomique du réticule, évitant l'écrasement des vaisseaux sanguins lors d'une augmentation de pression au cours de la plongée. Elles permettraient également l'optimisation du fonctionnement rénal lors de l'immersion de l'animal en comprimant les tubes collecteurs, évitant ainsi un reflux dû à la pression hydrostatique (Tettamanti *et al.* 2004).

Comme chez tous les mammifères, l'unité fonctionnelle des reins est le néphron, qui produit l'urine. Chaque néphron est formé d'un système de filtration, le glomérule, situé dans le cortex, et d'un système de tubules spécialisés dans la réabsorption et la sécrétion. Chaque glomérule est composé d'une collection de capillaires qui reçoit du sang d'une artériole afférente de la circulation rénale. La pression sanguine glomérulaire fournit la force motrice permettant la filtration de l'eau et des solutés vers la lumière de la capsule glomérulaire. Environ 1/5 de plasma est filtré à travers la paroi glomérulaire. Le sang restant, contenant des molécules de haut poids moléculaire, circule à travers l'artériole efférente. Le système de tubules est composé du tube contourné proximal (dans le cortex), de l'anse de Henlé (dans la médulla) et du tube contourné distal. Il permet la réabsorption et la sécrétion de nombreux solutés comme des ions, du glucose et des acides aminés comme le glutamate. L'urine est ensuite conduite dans le canal collecteur qui la déverse dans le bassinet.

Chez les cétacés, la longueur du néphron est plus importante que chez d'autres mammifères terrestres, en particulier l'anse de Henlé, permettant une plus grande concentration de l'urine. Le diamètre moyen du glomérule chez *T. truncatus* est de 153 μm , ce qui est nettement inférieur à celui de la vache et du cheval (environ 300 μm) ou encore du mouton (environ 260 μm). L'appareil juxtaglomérulaire (*macula densa*) est au contraire relativement large comparé aux mammifères terrestres (Cozzi *et al.*

2016). D'après Maluf *et al.*, 1998, l'organisation rénale en réticules n'augmente pas la masse du parenchyme rénal ou glomérulaire. L'avantage apparent de la présence de multiples réticules permet d'augmenter la surface d'échange, donc permet la filtration d'une plus grande quantité de sang (Maluf, Gassman 1998).

On pourrait considérer que la largeur relative du volume papillaire est une adaptation augmentant l'efficacité de concentration de l'urine, en agrandissant l'espace de réabsorption tubulaire. De plus, les dauphins ont une épaisseur de médulla conséquente, indiquant un rendement élevé de la récupération de l'eau (Cozzi et al. 2016).

4) Vascularisation

Contrairement à la plupart des mammifères, l'artère rénale des cétacés s'insère médialement aux pôles crâniens des reins et non au niveau du hile rénal. La veine rénale s'insère parallèlement et crânialement à l'artère. Chaque rein présente une artère et une veine, visibles figure 4.

L'origine de l'artère rénale est l'aorte dorsale. Après s'être insérée dans le rein, elle se subdivise en bifurcations dichotomiques de manière que chaque réticule soit alimenté par des artérioles. Ces artères réticulaires (ou interlobaires), externes au *spora perimedullaris musculosa*, rejoignent le cortex par pair (*vasae interlobulares*). Elles s'insèrent au niveau de la jonction cortico-médullaire chez le Grand Dauphin. Là, elles forment le système artériel arqué (*arteriae arcuatae*). Elles vont vasculariser les glomérules en formant un plexus artériel à travers le cortex, qui va ensuite devenir un plexus veineux. Elles vont également se diviser à la jonction corticomédullaire pour former le système artériel droit de la médulla et le système veineux droit. Le système veineux droit ainsi que les plexus veineux se scindent pour former des veines réticulaires (ou interlobaires) qui accompagnent les artères réticulaires (Cozzi et al. 2016).

Chez *T. truncatus*, il n'y a pas de plexus subcapsulaire. Cependant, des veinules se forment depuis les plexus veineux, et pénètrent dans la capsule. Elles fusionnent ensuite, créant une veine périréculaire externe d'un diamètre de 15 µm. Celles-ci constituent des affluents hilaires des veinules réticulaires, et émergent au

niveau du calice. Le volume sanguin drainé par ces veines périréniculaires reste faible et ne représenterait que le drainage de la capsule rénulaire (Cave, Aumonier 1967).

5) Uretères et vessie

Les reins sont drainés par des uretères séparés, qui acheminent l'urine à la vessie. Les uretères sont formés par la jonction des canaux excréteurs de chaque rénule. Ces canaux excréteurs se rejoignent en canaux collecteurs qui s'ouvrent dans les uretères. Ces canaux collecteurs parcourent presque toute la longueur du rein. Chez les dauphins, le bassinnet est donc de type dendritique.

Les uretères sont larges de 15 mm et la vessie est assez petite et en position pelvienne. La vessie présente une structure identique à la vessie des mammifères terrestres avec un épithélium pseudostratifié, des muscles lisses et un muscle strié circulaire proche de l'ouverture urétrale (Cozzi et al. 2016).

B. OSMOREGULATION

Les dauphins ne transpirent et ne perdent pas d'ions à travers la peau. Par conséquent, l'excrétion des ions sodium et chlorure se fait à travers les reins. Ils sont capables de concentrer leur urine en excréant une quantité d'ions chlorure plus de deux fois supérieure à celle des êtres humains (Ortiz 2001).

Les dauphins perdent de l'eau dans leurs fèces et, comme ils vivent dans un environnement hyperosmotique, également à travers leur peau. Le dauphin commun perd environ 4L d'eau par jour ce qui représente 70% de ses apports. Ainsi, il est primordial d'extraire le maximum d'eau de leurs proies et de boire une quantité limitée d'eau salée pour éviter la déshydratation. Cela nécessite une réduction importante de la diurèse, et la formation d'une urine très concentrée.

En revanche, les pertes hydriques induites par la respiration sont moins importantes que chez les mammifères terrestres, du fait de leur basse fréquence respiratoire. Les quantités de dioxygène et de dioxyde de carbone échangées à chaque cycle respiratoire sont deux fois plus élevées que chez un mammifère terrestre de taille équivalente. Par conséquent, les dauphins respirent en moyenne moitié moins souvent que les mammifères terrestres (Cozzi et al. 2016).

Chez les mammifères, l'osmolalité de l'urine est contrôlée par l'hormone antidiurétique (ADH) et par le système Rénine-Angiotensine-Aldostérone. Comme chez les autres mammifères, l'ADH (ou vasopressine) est synthétisée par les noyaux supra-optiques et paraventriculaires de l'hypothalamus, et libérée par la neurohypophyse. Chez *T.truncatus*, la concentration sanguine de vasopressine est corrélée avec la quantité d'eau présente dans la nourriture ingérée (Ortiz 2001).

Lorsque les osmorécepteurs de l'hypothalamus enregistrent une augmentation de l'osmolalité plasmatique ou que les chémorécepteurs détectent une hypernatrémie, l'hormone vasopressine est sécrétée dans le sang. La vasopressine va alors entraîner une vasoconstriction et donc une augmentation de la pression sanguine. Elle va également conduire à l'ouverture d'aquaporines dans la membrane des cellules des canaux collecteurs. Les aquaporines transportent l'eau de l'urine vers le plasma, permettant donc la réabsorption de l'eau et la concentration de l'urine. En parallèle, le peptide natriurétique auriculaire peut être activé par les récepteurs de la pression

artérielle situés dans l'atrium cardiaque, lorsque la pression sanguine augmente. Son activation entraîne une diminution de la réabsorption de sodium et d'eau par le rein.

Si l'osmolalité sanguine est trop basse par rapport à l'osmolalité urinaire, le système Rénine-Angiotensine-Aldostérone est sollicité ; les cellules granuleuses de l'appareil juxtaglomérulaire excrètent la rénine responsable du clivage protéolytique de l'angiotensinogène, peptide inactif synthétisé par le foie, en angiotensine I. L'enzyme de conversion de l'angiotensine va ensuite former l'angiotensine II. L'angiotensine II stimule la sécrétion d'aldostérone par la zone glomérulée des glandes surrénales, et permet la réabsorption d'ions sodium et d'eau par le tube contourné distal des néphrons, par induction des antiports Na^+/K^+ (Weinman, Méhul 2004). Elle stimule également la sécrétion de vasopressine par l'hypophyse (Sam, Meeran 2009).

De plus, l'urée joue un rôle important dans le mécanisme de concentration de l'urine. La réabsorption de l'urée participe au gradient papillaire de concentration hydrique dans les réticules, en favorisant la réabsorption des ions Na^+ et Cl^- (Cozzi et al. 2016).

C. DEFINITION ET ETIOPATHOGENIE DES LITHIASES URINAIRES

Chez l'être humain, la lithiase urinaire est une maladie fréquente et récidivante. Cette maladie touche le plus souvent le haut appareil urinaire (cavités pyélocalicielles, uretères) mais peut également se développer dans la vessie et évoluer vers l'urètre. Les calculs les plus fréquents chez l'être humain sont ceux à oxalate de calcium. Le mode de révélation le plus fréquent de lithiase urinaire chez cette espèce est la crise de colique néphrétique. La colique néphrétique simple se traite grâce à l'administration d'antalgiques. La colique néphrétique compliquée nécessite une hospitalisation avec une prise en charge chirurgicale (Association française d'urologie 2016).

La présence de calculs rénaux a été signalée chez de nombreuses espèces de mammifères domestiques et sauvages ; chats, chiens, loutres d'Asie... Chez les mammifères marins, cette maladie a déjà été observée chez un éléphant de mer du Nord (*Mirounga angustirostris*), un phoque commun (*Phoca vitulina*), une otarie de Californie (*Zalophus californianus*) et deux lamantins des Caraïbes (*Trichechus manatus*) (Venn-Watson et al. 2010).

De nombreux cas de lithiases urinaires ont été relevés chez les populations de dauphins souffleur (*T. truncatus*) en captivité. Cependant, cette maladie est considérée comme peu fréquente parmi les populations sauvages (Venn-Watson et al. 2010b). L'analyse par microscope à lumière polarisante des calculs développés par cette espèce montre qu'ils sont composés dans 100% des cas d'urate d'ammonium (Venn-Watson et al. 2010 ; Smith et al. 2013 ; Gulland et al. 2018).

1) Métabolisme des purines

L'urate, l'un des deux principaux composants des calculs d'urate d'ammonium est produit par le catabolisme des purines.

Les purines, contenues dans les nucléotides, les nucléosides et sous forme libre sont des molécules organiques planes, aromatiques et hétérocycliques constituées d'un cycle pyrimidine accolée à un cycle imidazole. Elles ont de nombreux rôles biologiquement essentiels, comme la contribution à la structure de l'acide désoxyribonucléique (ADN), de l'acide ribonucléique (ARN), de l'adénosine 5'-triphosphate (ATP) et de la guanosine 5'-triphosphate (GTP).

a. *Synthèse de novo des ribonucléotides puriques*

Dans la synthèse *de novo* des ribonucléotides puriques, le cycle purique est élaboré élément après élément sur le PRPP (5-Phosphoribosyl-1-pyrophosphate). Au cours d'une première étape, l'ammoniac résultant de l'hydrolyse de la glutamine se fixe sur le PRPP pour former la 5-phosphorybosyl-1-amine (figure 5). Cette réaction, qui engage la voie de biosynthèse, est catalysée par la glutamine phosphoribosyl-amidotransférase, enzyme allostérique constituée de deux domaines, qui est un site de contrôle par rétro-inhibition de la voie de biosynthèse des ribonucléotides puriques.

Puis le cycle purique s'édifie progressivement sur cette structure au cours d'étapes dont la plupart font appel à un mécanisme consistant en l'activation par phosphorylation d'un carboxyle sous forme d'anhydride mixte permettant alors l'attaque nucléophile d'une amine primaire (figure 6). L'inosinate ou inosine monophosphate (IMP) qui résulte de la voie précédemment décrite, conduit ensuite aux nucléotides adényliques (AMP, ATP) ou guanyliques (GMP, GTP). Comme on peut l'observer sur la figure 6, il y a une consommation d'ATP pour chaque réaction, la synthèse d'IMP est très dépendante de la disponibilité en ATP. Les voies qui partent de l'inosinate sont des sites de rétroinhibition (Weinman, Méhul 2004).

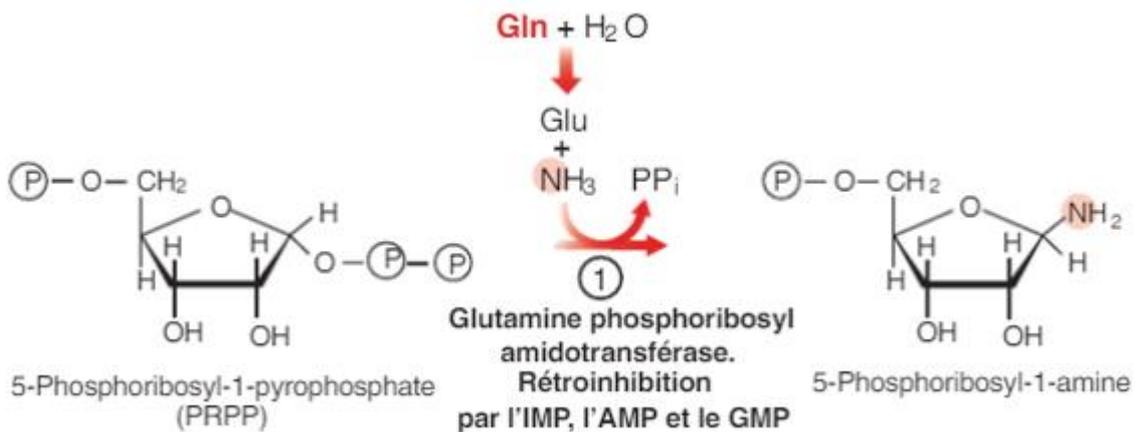


Figure 5 : Première étape de la synthèse de novo des ribonucléotides puriques, illustrations tirées du livre *Toute la Biochimie*, Weinman S. et Méhul P., 2004, p 312.

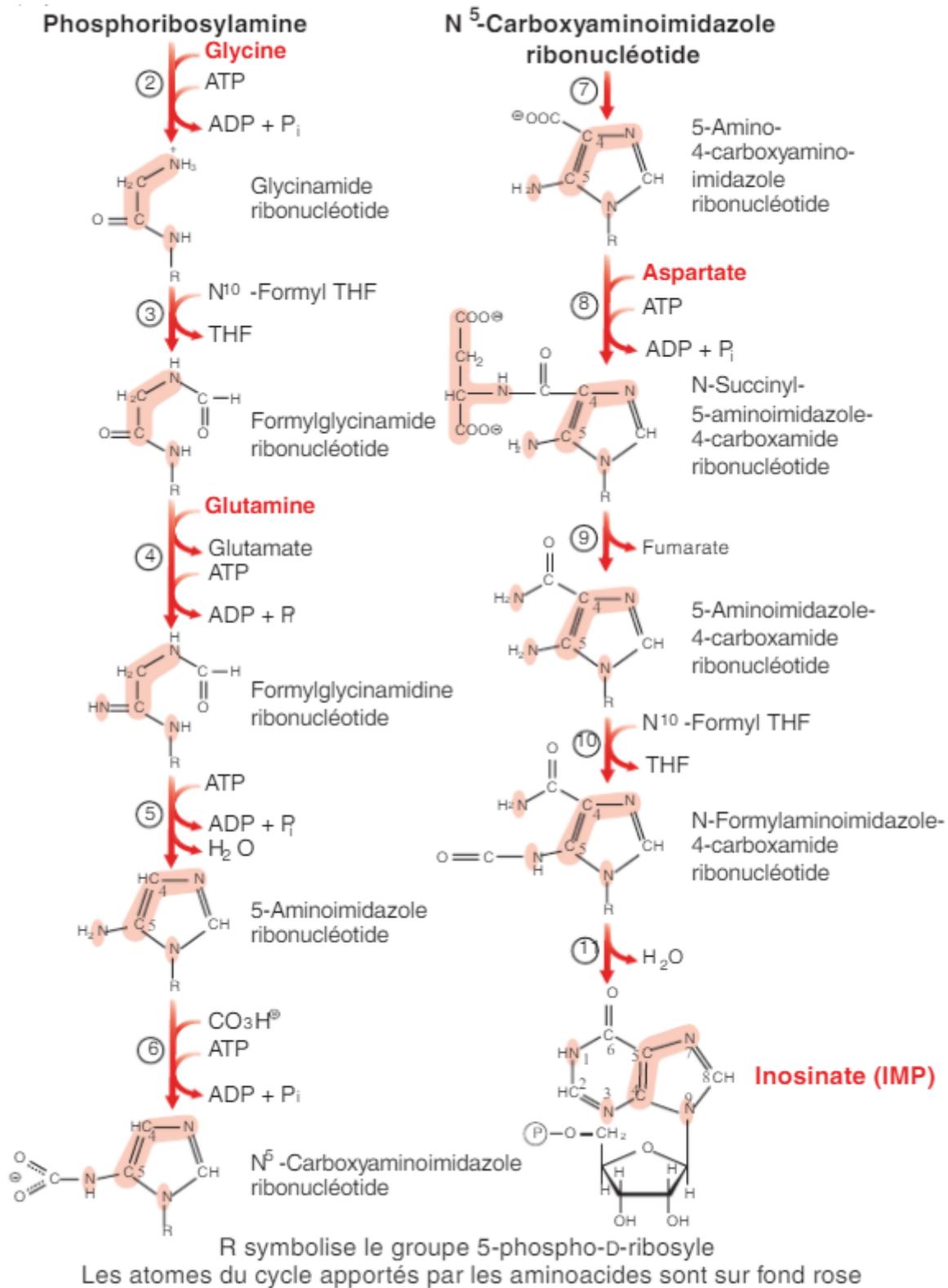


Figure 6 : Cycle purique de la synthèse *de novo* des ribonucléotides puriques, illustrations tirées du livre *Toute la Biochimie*, Weinman S. et Méhul P., 2004, p 312.

b. Recyclage des bases nucléotidiques

Les bases puriques libérées par hydrolyse lors du renouvellement métabolique des nucléotides et des acides nucléiques peuvent être recyclées grâce à la mise en œuvre de voies de récupération. Un tel processus permet à la plupart des organismes d'économiser de l'énergie et de gérer au mieux l'ammoniac, les acides α -aminés et les bases nucléotidiques disponibles, ce qui est souvent crucial car ces composés azotés sont en général assez rares dans l'environnement et doivent être préservés ou recyclés.

Deux enzymes, l'adénine phosphoribosyltransférase et l'hypoxanthine-guanine phosphoribosyltransférase (HGPRT) fixent les bases puriques au PRPP pour former des nucléosides monophosphates (figure 7) (Weinman, Méhul 2004).

Plusieurs facteurs influencent la facilité avec laquelle la voie de récupération est utilisée pour la synthèse des nucléotides, notamment les différences entre les espèces, les types de tissus ou de cellules, et les conditions connexes. Par exemple, les globules rouges et blancs des lapins, des souris et des êtres humains utilisent les voies de récupération pour produire des nucléotides parce que les cellules ont de faibles concentrations de ribose-5-phosphate, de sorte que la synthèse *de novo* n'est pas possible (Murray 1971).

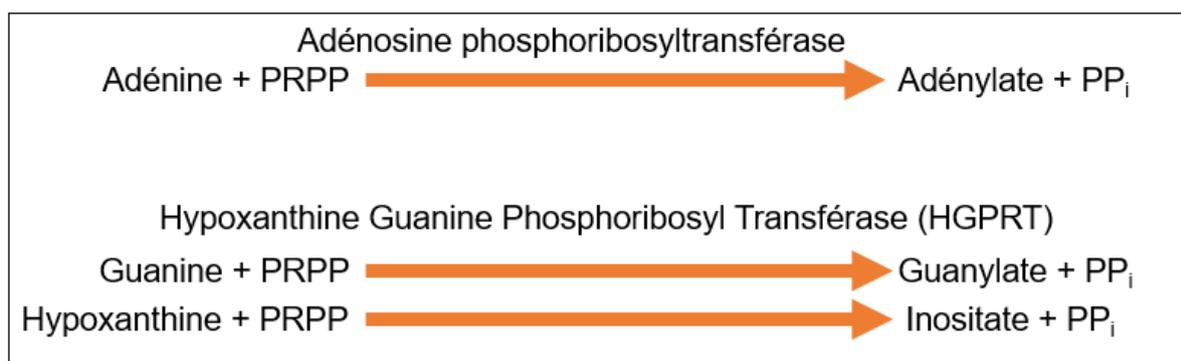


Figure 7 : Recyclage des bases puriques, d'après Weinman, Méhul, 2004.

c. Dégradation des purines

Le renouvellement des cellules s'accompagne de celui des nucléotides qui sont hydrolysés par des nucléotidases. Les purines non réutilisées par les voies de récupération sont transformées en composés ultérieurement excrétés. Chez l'homme, elles sont dégradées en hypoxanthine et en xanthine puis en acide urique sous l'action d'une flavoprotéine contenant du fer et du molybdène : la xanthine oxydase (XO) (figure 8). L'activité de cette enzyme peut être bloquée par un inhibiteur, l'allopurinol, largement utilisé en thérapeutique en cas d'hyperproduction d'acide urique, comme c'est le cas dans la goutte ou les syndromes myéloprolifératifs (Weinman, Méhul 2004).

L'acide urique est enfin métabolisé par l'urate oxydase en allantoïne, qui est excrétée par les reins. Les exceptions à cette voie métabolique des purines comprennent les êtres humains et d'autres primates supérieurs, les dalmatiens, les oiseaux, les reptiles et les mammifères du désert qui sont tous dépourvus de cette enzyme ; pour ces animaux le produit final du métabolisme des purines est l'acide urique. L'ensemble des réactions enzymatiques du métabolisme des purines est inconnu chez le dauphin.

Les concentrations de métabolites et les activités des principales enzymes du métabolisme des purines ont été examinées dans le plasma et les globules rouges des grands dauphins (*Tursiops truncatus*) et des êtres humains dans l'étude de López-Cruz (López-Cruz et al. 2016).

Lors d'épisodes d'ischémie ou d'hypoxie, les réserves d'adénosine triphosphate (ATP) sont épuisées, hydrolysées et dégradées en hypoxanthine (HX) ; l'accumulation de l'HX est associée à des lésions de reperfusion médiées par de l'oxygène ou des radicaux libres. Comme chez les autres mammifères, la XO produit de la xanthine et de l'acide urique à partir de HX. L'hyperuricémie et la goutte sont des affections courantes associées aux troubles du catabolisme des purines, l'augmentation de la synthèse et la diminution de l'excrétion d'acide urique sont les principales causes de ces affections chez l'homme. L'accumulation d'acide urique et la diminution de l'activité des enzymes impliquées dans la voie de récupération des purines, telles que la phosphorylase des nucléosides puriques (PNP) et l'hypoxanthine-guanine phosphoribosyl transférase (HGPRT), sont liées à des troubles métaboliques comprenant l'hyperuricémie, la goutte, des troubles immunologiques, des anomalies neurologiques et le syndrome de Lesch-Nyhan, dont certains sont connus pour

provoquer une mort précoce chez l'homme. Afin d'éviter la surproduction d'acide urique et de xanthine, il est recommandé d'inhiber l'activité de la xanthine oxydase avec de l'allopurinol.

Les mammifères marins sont exposés à des cycles d'ischémie/reperfusion et d'hypoxie/oxygénation pendant la plongée. En général, les tissus des mammifères marins ont de plus grandes capacités à produire des radicaux superoxydes dû aux cycles d'ischémie/reperfusion associés à la plongée. Toutefois, les dommages oxydatifs sont évités, en partie grâce à des capacités antioxydantes constitutives plus élevées dans les différents tissus et en particulier dans les érythrocytes (López-Cruz et al. 2016). L'activité des PNP dans les globules rouges des grands dauphins est inférieure à celle des humains (López-Cruz et al. 2016) ; par conséquent, la conversion plus faible de l'inosine en HX permettrait de supposer que les grands dauphins échappent aux lésions de reperfusion induit par le système HX-XO. Dans l'étude de López-Cruz, les concentrations plasmatiques de HX et d'IMP (c'est-à-dire le substrat et le produit de l'HGPRT, respectivement) sont significativement plus élevées chez les dauphins que chez les humains. Cela montre un mécanisme efficace pour prévenir deux processus nuisibles chez les dauphins, à savoir :

- l'accumulation de purines non recyclables (xanthine, acide urique), par une faible activité PNP couplée à une forte activité HGPRT ;
- et secondairement la surproduction de radicaux libres (médiée par une augmentation de l'activité de XO consécutive aux cycles d'ischémie/reperfusion et d'hypoxie/oxygénation associés à la plongée).

Compte tenu de l'activité HGPRT plasmatique, des concentrations en HX et en IMP, il semble que les dauphins recyclent les purines de façon plus intense que les humains. Les mammifères marins, notamment les dauphins produisent tous de l'allantoïne (López-Cruz et al. 2016). La divergence d'évolution dans l'élimination des composés azotés pourrait expliquer que la concentration d'acide urique diffère de celle du produit final du catabolisme des purines chez les primates (Del Castillo Velasco-Martínez et al. 2016 ; López-Cruz et al. 2016). Un schéma simplifié du métabolisme des purines chez le grand dauphin est disponible ci-après, sur la figure 8.

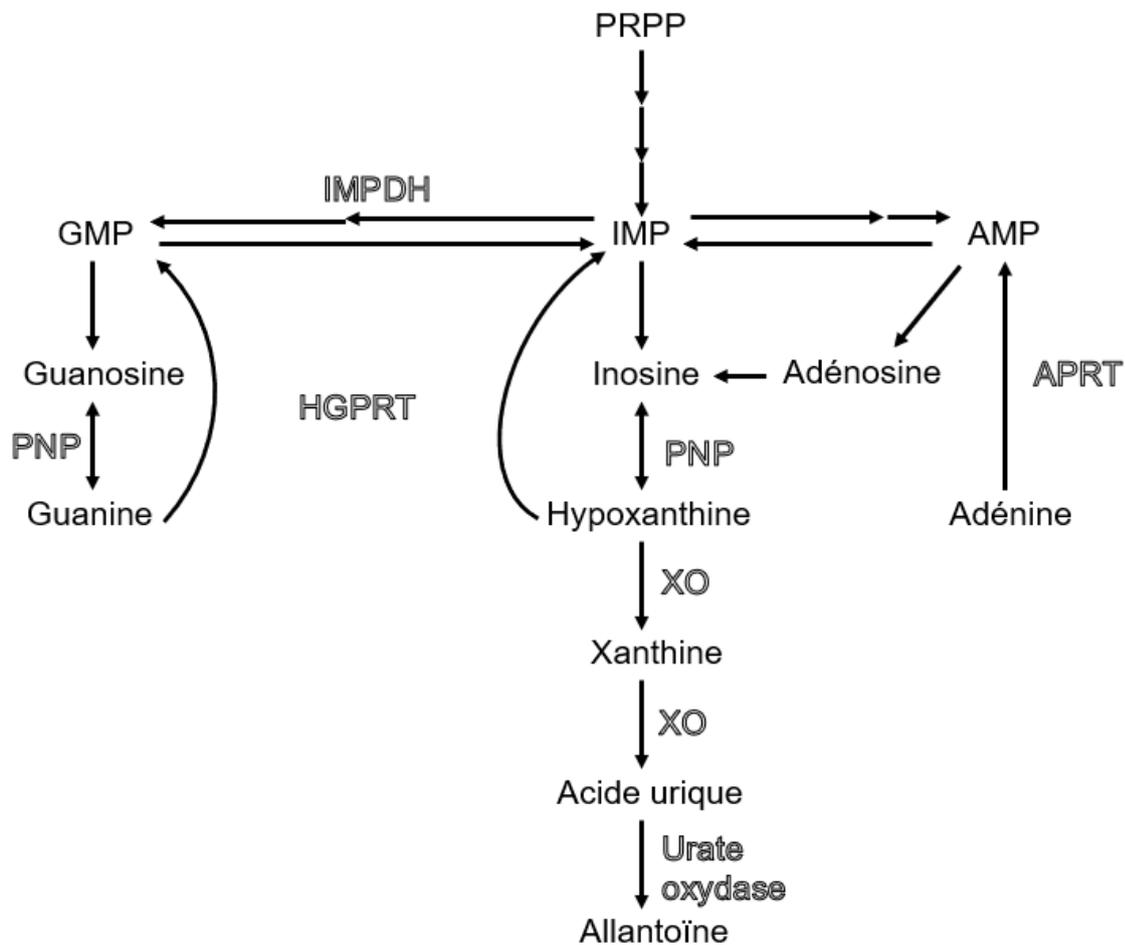


Figure 8 : Schéma simplifié du métabolisme des purines chez le grand dauphin, d'après López-Cruz *et al.*, 2016.

5-phosphoribosyl 1-pyrophosphate (PRPP)
 inosine monophosphate (IMP)
 guanosine monophosphate (GMP)
 adénosine monophosphate (AMP),
 purine nucléoside phosphorylase (PNP)
 hypoxanthine-guanine phosphorybosil transferase (HGPRT)
 adénine phosphorybosiltransferase (APRT)
 xanthine oxydase (XO)
 inosine monophosphate déshydrogénase (IMPDH)

Les grands dauphins communs excrètent dans l'urine de l'allantoïne dans des concentrations similaires à celles des chiens qui ont une urate oxydase fonctionnelle, mais dans des concentrations beaucoup plus importantes que celles des êtres humains qui sont déficitaires en enzyme fonctionnelle (Ardente 2016 ; Smith et al. 2014). Néanmoins, par rapport à l'urine des chiens, les dauphins ont des concentrations urinaires d'acide urique plus élevées que celles d'allantoïne, ce qui suggère que chez les dauphins, soit l'enzyme est saturée ou fonctionne à un rythme réduit, soit la capacité du rein à réabsorber l'acide urique peut être réduite. En outre, le rapport plus élevé entre l'acide urique et l'allantoïne dans l'urine des dauphins par rapport à celle des chiens peut expliquer pourquoi les dauphins qui consomment une alimentation à haute teneur en purine risquent de développer des néphrolithes urinaires dans certaines circonstances. La voie métabolique de conversion en allantoïne peut être dépassée par un apport important en purines consommées après un repas de poisson (Smith et al. 2014 ; Ardente 2016).

En somme, les dauphins métabolisent les purines comme les autres mammifères (hors primates). Cependant ils semblent avoir développé un mécanisme efficace de recyclage des purines et de synthèse de l'ATP à partir de l'IMP dans les tissus ischémiques, permettant d'éviter l'accumulation de purines non recyclables (xanthine et acide urique) et évitant l'apparition de radicaux libres pendant la plongée. Ce recyclage des purines et ces adaptations physiologiques peuvent maintenir les concentrations d'ATP chez les grands dauphins après la plongée et l'exercice physique. Il est possible que de telles apnées soient un critère préalable à une réduction de la teneur sanguine en métabolites puriques (Del Castillo Velasco-Martínez et al. 2016 ; López-Cruz et al. 2016).

2) Formation des calculs urinaires d'urate d'ammonium

Les calculs urinaires se forment lorsque les concentrations urinaires en urate d'ammonium dépassent la capacité de saturation correspondante. Les ions urate et ammonium sont les deux principaux solutés impliqués dans les calculs à urate d'ammonium. Leur solubilité va dépendre de leur concentration individuelle dans l'urine, mais aussi du pH urinaire et de la présence d'autres solutés. Le risque de formation de sels d'urate d'ammonium augmente au fur et à mesure que la concentration totale en solutés augmente. Cependant, si une suspension d'urate est déjà en place, la concentration d'ions ammonium nécessaire pour une précipitation passe de 150 mmol/L à 10 mmol/L (Bowyer et al. 1979 ; Argade et al. 2013).

a. Influence du pH

Concernant le pH, les solubilités des ions urate et ammonium diminuent lorsque le pH diminue (milieu acide). Le pKa du système urate monosodique/ acide urique est de 5,8 (Métais Pierre et al. 1980). Les calculs d'**acide urique** se forment en dessous d'un pH de 6,0 mais les calculs d'**urate** d'ammonium se forment au-dessus d'un pH de 6,0 (Klohn et al. 1986).

b. Formation de l'acide urique

Comme vu précédemment, l'urate est produit uniquement par le catabolisme des purines. Or le métabolisme des purines est fortement influencé par l'alimentation et l'alimentation des dauphins est riche en purines (Ardente et al. 2016). De plus, l'absorption des purines alimentaires par le tractus gastro-intestinal et la concentration des produits finaux métaboliques excrétés dans l'urine dépendent du type de purine absorbée (nucléoside ou libre) et des différences de transporteurs spécifiques à chaque espèce (Ardente 2016). La microflore intestinale et les mécanismes d'absorption cellulaire influencent probablement aussi le sort des purines alimentaires une fois qu'elles pénètrent dans l'intestin (Ardente et al. 2016).

Les études comparant les régimes alimentaires des dauphins en captivité notamment au *Marine Mammal Center* avec les individus sauvages montrent que les apports en purines alimentaires sont significativement plus élevés dans les régimes des dauphins en captivité.

On sait également que face à des charges alimentaires riches en purines, les capacités de l'urate oxydase hépatique pourraient être dépassées, augmentant la

concentration en acide urique excrétée dans les urines au lieu d'allantoïne. De plus, les dauphins sont sujets à d'autres maladies d'origine nutritionnelle comme le syndrome métabolique ou la lipidose hépatique. Ces éléments pourraient être à l'origine de dysfonctionnements métaboliques hépatiques, qui pourraient aussi entraîner des troubles dans la formation de l'urate oxydase, mais rien n'est démontré à l'heure actuelle.

L'acide urique est extrêmement diffusible et est présent dans tous les liquides extracellulaires. Deux tiers de l'acide urique sont excrétés dans l'urine, un tiers dans les fèces (Métais Pierre et al. 1980). Par voie rénale, la quasi-totalité de l'urate est filtrée par le glomérule et réabsorbée au niveau du tube proximal, l'élimination urinaire est d'origine distale par sécrétion tubulaire (Métais Pierre et al. 1980).

L'élimination urinaire des urates dépend du catabolisme des acides nucléiques (origine endogène) et de la composition alimentaire en purines (origine exogène). Les humains consommant des aliments à forte teneur en purines ont une accumulation d'acide urique dans le sang et les tissus. Le pH urinaire varie au cours de la journée et en fonction des repas. La solubilité de l'urate dans l'urine varie alors. En effet, si $pH_{urinaire} > pK_{a_{urate}}$, alors l'urate majoritaire est réabsorbé. Si $pH_{urinaire} < pK_{a_{urate}}$ alors l'acide urique est majoritaire et non réabsorbé ce qui potentialise le risque de cristallisation. En résumé, une urine alcaline favorise la réabsorption tubulaire de l'urate soluble alors qu'une urine acide favorise l'excrétion de l'acide urique insoluble (Métais Pierre et al. 1980 ; Klohn et al. 1986).

Chez les dauphins en captivité, les régimes riches en protéines et en purines pourraient prédisposer à la néphrolithiase à urate d'ammonium (Ardente et al. 2016).

c. Excrétion des ions ammonium

La cellule rénale fabrique de l'ammoniac (NH_3) essentiellement à partir de la glutamine, grâce à l'action de deux enzymes successives, la glutaminase et la glutamate déshydrogénase. Ces phénomènes ont lieu dans le tubule contourné proximal. L'ammoniac diffuse facilement et peut former, en raison de son caractère basique, des ions ammonium (NH_4^+) en captant les protons (H^+) de l'urine. Ces sels d'ammonium sont peu diffusibles. Le rein contribue à maintenir l'équilibre acido-basique en tamponnant l'urine acide grâce à l'ammoniogenèse et l'élimination consécutive urinaire des protons. Les ions ammonium peuvent également être

généérés à partir de l'urée par des bactéries productrices d'uréases en cas d'infection urinaire (Métais Pierre et al. 1980).

3) Influence des autres solutés apportés par l'alimentation

a. Saturation de l'urine

Le **sodium**, le **potassium**, le **calcium**, le **magnésium**, le **chlorure**, le **sulfate**, le **phosphate**, le **citrate** et l'oxalate participent à la saturation de l'urine. La solubilité des ions ammonium et urates varie en fonction des concentrations ioniques totales et peut donc être calculée à partir de ces solutés (Kok et al. 1993 ; Bowyer et al. 1979 ; Robertson et al. 2002).

L'étude de Le-Bert *et al.*, 2018, montre que chez les dauphins au *Marine Mammal Center*, il y a une abondance relative d'ammonium urinaire et une diminution de la teneur urinaire en sodium et en potassium. Ces éléments font passer l'équilibre des sels d'urate de sodium et de potassium relativement solubles à un sel d'urate d'ammonium peu soluble, ce qui entraîne une augmentation de l'index de saturation urinaire de l'urate d'ammonium. Un taux élevé d'ammonium urinaire et un faible taux de sodium et de potassium urinaire rendent l'environnement urinaire sursaturé par le sel d'urate d'ammonium peu soluble.

b. Apports en cendres acides par l'alimentation

Le régime alimentaire des dauphins est également riche en acides α -aminés soufrés (Ardente, Hill 2015 ; Ardente et al. 2016). Lors du métabolisme des protéines, le soufre sous forme de thiol est oxydé en sulfate. L'oxydation des acides aminés soufrés ainsi que l'hydrolyse des esters de phosphate présents dans les protéines animales augmentent l'excrétion nette d'acides endogènes dans l'urine (Lennon et al. 1962). L'oxydation des protéines forme aussi de l'urée qui est convertie en ammonium par action des bactéries et excrétée dans l'urine (Métais Pierre et al. 1980).

L'étude de Smith *et al.* 2014, montre une augmentation postprandiale du pH urinaire, alors qu'il y a une sécrétion importante d'acides dans l'urine. On note également une augmentation postprandiale significative de la concentration en ammonium urinaire, probablement due à cette charge en acides et en urée apportés par l'alimentation, comme en témoigne l'augmentation significative des concentrations

urinaires en sulfate en période postprandiale. En effet, le système tampon $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ possède un pKa de 9,2. Si le pH urinaire est inférieur à 9,2, alors la concentration en NH_4^+ est largement supérieure à la concentration en NH_3 . Les ions NH_4^+ représentent une réserve en protons. Un relargage de protons est possible dans le sang en présence d'alcalose et il y a une filtration glomérulaire de NH_3 par les urines. En conséquence, le pH urinaire augmente de manière transitoire s'il y a une excrétion d'acides d'origine alimentaire. C'est cette augmentation de l'ammoniogenèse qui permet aux dauphins de tamponner efficacement les protons et de maintenir l'équilibre acide-base (Klohn et al. 1986 ; Smith et al. 2014).

Une telle augmentation de l'excrétion urinaire nette d'acides accompagnée d'une hausse du pH urinaire attribuable à une forte filtration glomérulaire de NH_3 a également été décrite chez des hommes soumis à une charge chronique expérimentale de chlorure d'ammonium (Smith et al. 2014). La forte excrétion d'ammonium consécutive à la filtration glomérulaire, a été associée à une augmentation de la proportion de cations ammonium au sein des cations totaux, et à une augmentation significative de la saturation en urate d'ammonium.

Comme dit précédemment, lorsque le pH urinaire est élevé, des concentrations moindres en ammonium sont nécessaires pour la précipitation d'urate d'ammonium. L'étude de Smith *et al.* 2014, montre que les modifications postprandiales significatives des concentrations urinaires de NH_4^+ , d'acide urique et du pH urinaire (supérieur à 6) sont très probablement à l'origine de la formation accrue de calculs d'urate d'ammonium chez les dauphins (Smith et al. 2014).

Le développement de calculs d'urate d'ammonium est favorisé dans une urine sursaturée, présentant un pH entre 6,0 et 7,5. Le pH urinaire varie avec l'apport en protéines alimentaires et la teneur en minéraux (Buckley et al. 2011). Les protéines alimentaires provoquent une augmentation de l'excrétion nette d'acides par le rein sous forme de sulfates, et de phosphates (Smith et al. 2014 ; Métais Pierre et al. 1980). Les gros repas de poissons à teneur plus élevée en cendres acides (acides aminés soufrés, phosphate) entraînent probablement une amplification physiologique de l'ammoniogenèse rénale et une augmentation du pH urinaire proportionnelle à l'élévation de la concentration en acide urique urinaire (Smith et al. 2014 ; Le-Bert et al. 2018).

Un autre mécanisme potentiel de l'augmentation du pH urinaire en période postprandiale est le phénomène de marée alcaline, caractérisé par une augmentation simultanée du pH sanguin et urinaire à la suite de l'excrétion de HCl par l'estomac. La même étude montre que l'excrétion urinaire fractionnée de bicarbonate augmentait en période postprandiale chez les dauphins (Smith et al. 2014).

L'équilibre entre les inducteurs urinaires potentiels et les inhibiteurs de la formation de calculs peut jouer un rôle important dans la formation de calculs d'urate d'ammonium, et peut différer entre les dauphins cas et témoins. Cependant, bien que l'on prévoie l'existence de ces facteurs, la nature des inhibiteurs ou inducteurs de la précipitation de ces calculs demeure inconnue à ce jour chez le dauphin commun (Smith et al. 2014).

Enfin, la concentration de ces solutés dans l'urine dépend également de la quantité d'eau libre excrétée par le rein. L'eau excrétée dans l'urine provient soit de l'apport endogène (métabolisme des nutriments, notamment des lipides) soit d'un apport exogène (boisson, alimentation). Les régimes alimentaires riches en protéines entraînent une augmentation du flux sanguin rénal, une hyperfiltration glomérulaire, une augmentation de l'excrétion de la créatinine et de l'urée et une augmentation de l'excrétion nette en eau (Trinchieri 2013).

c. Effets des minéraux sur le pH urinaire

Il semblerait que les espèces de poissons composant l'alimentation des dauphins en captivité au *Marine Mammal Center* soient plus riches en eau et en graisses et que celles consommées par les dauphins sauvages d'une part, et que les espèces de poissons composant l'alimentation des dauphins sauvages en Floride soient en revanche moins énergétiques avec une augmentation de la composition en matière sèche en protéines et en minéraux. La plus grande quantité d'eau et la moindre teneur en protéines du régime alimentaire des dauphins au *Marine Mammal Center* permettraient, en théorie, d'obtenir une urine plus diluée et moins saturée que celle des dauphins dans la nature consommant un régime plus dense en énergie et à plus forte teneur en protéines. Cependant on sait que ce sont les populations en captivité qui sont les plus à risque de développer des calculs à urate d'ammonium.

Ce sont en fait les différences de teneur en électrolytes entre les espèces consommées par les dauphins en captivité et dans la nature qui pourraient expliquer le développement de calculs chez les dauphins en captivité.

En général, l'excrétion de protons est influencée par la proportion relative d'anions et cations alimentaires excrétés dans l'urine. L'excrétion de cations tels que les ions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et le Mg^{2+} rendent l'urine plus alcaline. A l'inverse, l'excrétion d'anions tels que les ions Cl^- , le phosphate (P) et le sulfate (S) rendent l'urine plus acide (Smith et al. 2014 ; Klohn et al. 1986 ; Ardente et al. 2017). Cette Différence Alimentaire Cations Anions (DACA) a été utilisée pour prédire les effets d'un changement alimentaire sur le pH sanguin et urinaire, sur l'excrétion d'ions ammonium et sur le risque de formation d'urolithes chez les vaches laitières, les chats, les chiens et les êtres humains (Ardente et al. 2017 ; Michaud et al. 2003 ; Frassetto et al. 1998 ; Apper-Bossard et al. 2004 ; Moreau 2007 ; Block 1994).

Dans l'étude de Ardente *et al.*, 2017, les auteurs comparent la DACA des régimes alimentaires de populations de dauphins sauvages et de populations de dauphins au *Marine Mammal Center* (voir figure 9). Les 4 équations de calcul de DACA utilisées dans l'article de Ardente *et al.*, 2017 sont présentées dans le tableau 1.

La $\text{DACA}_{\text{short}}$ n'inclut que les ions Na^+ , K^+ , Cl^- et sulfates alors que la $\text{DACA}_{\text{long}}$ inclut tous les minéraux mentionnés précédemment. Cependant ces deux équations ne tiennent pas compte des absorptions respectives de chaque minéral et de chaque protéine dans le tractus gastro-intestinal et supposent que chaque minéral a une influence égale sur le pH de l'urine. Une troisième équation notée $\text{DACA}_{\text{human}}$ est utilisée dans l'espèce humaine. Elle tient compte du coefficient d'absorption de chaque élément et est utilisée pour estimer la charge acide rénale potentielle chez les patients.

Les coefficients d'absorption par l'appareil digestif de chaque minéral influencent la prédiction de teneur en minéraux de l'alimentation et donc les effets sur le pH urinaire. Les humains n'étant pas des carnivores stricts, une quatrième équation a été élaborée chez le chat, DACA_{cat} , utilisant des valeurs d'absorption étudiées chez cet animal (Ardente et al. 2017).

$DACA_{short} = (Na + K) - (Cl + S)$
$DACA_{long} = (Na + K + Ca + Mg) - (Cl + S + P)$
$DACA_{human} = (0,95Na + 0,8K + 0,25Ca + 0,32Mg) - (0,95Cl + 0,63P + 0,91S)$
$DACA_{cat} = (0,95Na + 0,95K + 0,2Ca + 0,25Mg) - (0,95Cl + 0,35P + 0,91S)$

Tableau 1 : Présentation de 4 équations de Différence Alimentaire Cations Anions, utilisées dans l'article de Ardente *et al.*, 2017. Na, K, Ca, Mg, Cl, S, P sont en milléquivalents par mégacalorie.

Espèces de poissons et calmars		
Population captive : Marine Mammal Center ration 1	Population captive : Marine Mammal Center ration 2	Population sauvage : Baie de Sarasota (Floride, EU)
Capelan (<i>Mallotus villosus</i>)	Capelan (<i>Mallotus villosus</i>)	Sar Salème (<i>Lagodon rhomboides</i>)
Hareng du Pacifique (<i>Clupea pallasii</i>)	Hareng atlantique (<i>Clupea harengus</i>)	<i>Opsanus beta</i>
Maquereau Pacifique (<i>Scomber japonicus</i>)	Hareng du Pacifique (<i>Clupea pallasii</i>)	Rondeau mouton (<i>Archosargus probatocephalus</i>)
Encornet de Californie (<i>Loligo opalescens</i>)	Maquereau Pacifique (<i>Scomber japonicus</i>)	Tambour croca (<i>Leiostomus xanthurus</i>)
	Pilchard de Californie (<i>Sardinops sagax</i>)	Goret mule (<i>Orthopristis chrysoptera</i>)
		Mulet cabot (<i>Mugil cephalus</i>)
		Guinée-machète (<i>Elops saurus</i>)
		Acoupa pintade (<i>Cynoscion nebulosus</i>)
		Menhaden ¹
		Barbure ¹

¹ Données de genre et d'espèce non fournies

Figure 9 : Listes des espèces de poissons composant les régimes alimentaires des dauphins en captivité au Marine Mammal Center en Californie (EU) et des dauphins sauvages présents dans la baie de Sarasota en Floride (EU).

Les espèces de poissons composant la diète des dauphins au *Marine Mammal Center* (figure 9) sont plus riches en sodium et en chlorure en comparaison à l'énergie qu'elles apportent, que celles composant la diète des dauphins sauvages, qui elles contiennent davantage de calcium et phosphore. Ces différences sont en partie dues à l'entreposage en saumure avant le stockage à l'état congelé des poissons pêchés et au fait que les poissons sauvages ont une composition plus maigre et osseuse (Ardente 2016). Les proportions relatives des ions peuvent être influencées par les espèces de poissons, les proportions relatives de ces espèces et les méthodes de manipulation après la pêche. La conclusion de l'étude réalisée par Ardente *et al.*, 2017 est que les régimes alimentaires des dauphins au *Marine Mammal Center* présentent une DACA plus faible que ceux des dauphins sauvages. Comme vu précédemment, une différence cations anions faible montre une prépondérance des anions dans l'alimentation et donc un risque d'avoir une urine plus acide (Ardente et al. 2017).

L'équipe de Le-Bert et al. compare également les régimes alimentaires de la population du *Marine Mammal Center* à une population sauvage de Floride. Leurs conclusions montrent que la composition des régimes alimentaires des dauphins en captivité est légèrement plus élevée en protéines soufrées et beaucoup plus élevée en protéines riches en phosphate. Ils ont de plus la même conclusion sur la Différence Alimentaire Cations Anions, avec une DACA significativement abaissée pour les dauphins en captivité que chez les dauphins sauvages. La production nette d'acides endogènes est donc plus élevée chez les dauphins en captivité et la composition alimentaire de la ration distribuée tend à acidifier le pH urinaire (Le-Bert et al. 2018).

d. Citrate urinaire

Chez l'être humain, les facteurs de risque de néphrolithiase incluent un pH urinaire faible et une hypocitraturie. En effet le citrate urinaire permet d'alcaliniser les urines en capturant les protons et de chélater les ions calcium. Lorsque la concentration en citrate urinaire diminue, le pH urinaire diminue également, et la concentration en ions calcium libres augmente. Ces paramètres peuvent mener à la formation de calculs d'acide urique ou d'oxalate de calcium. Par conséquent, une faible concentration en citrate urinaire est associée à la formation de ces calculs chez l'homme. Chez les patients atteints de néphrolithiase, c'est parfois la seule anomalie biochimique retrouvée (Association française d'urologie 2016 ; Venn-Watson et al. 2010b).

Une étude réalisée entre 2006 et 2009 par Venn-Watson *et al.* a permis l'analyse d'échantillons d'urines de 94 dauphins, dont 62 individus sauvages et 32 individus au *Marine Mammal Center*. Les résultats indiquent que les dauphins de cette institution sont plus susceptibles d'avoir des concentrations indétectables de citrate urinaire par rapport aux dauphins sauvages (21,0% contre 81,3%) (Venn-Watson et al. 2010b).

L'étude de Smith *et al.* montre également qu'il n'y a pas d'augmentation de la concentration en citrate urinaire après le repas chez les dauphins au *Marine Mammal Center*. Les dauphins en captivité étaient nourris sous forme de bolus. Ils recevaient de grandes quantités de poissons en une courte période de temps, plusieurs fois par jour. Ces repas riches en purines et en protéines forment une charge acide importante que l'individu doit métaboliser et excréter. Une acidose métabolique globale peut s'installer. Le rein va alors réabsorber le citrate urinaire afin de tamponner le pH sanguin, et compenser cette acidose (Smith et al., 2014).

Le faible taux de citrate urinaire observé chez les dauphins en captivité reflète probablement l'adaptation à une charge chronique en acides et à une réabsorption tubulaire accrue du citrate (Smith et al. 2014 ; Le-Bert et al. 2018). Cependant, on sait que le pH urinaire des dauphins augmente effectivement après le repas. Si l'urine ne peut pas être tamponnée par le citrate urinaire, l'organisme pourrait moduler le pH grâce à d'autres éléments, notamment par les ions ammoniums. Comme évoqué précédemment, les dauphins en captivité pourraient donc avoir une ammoniogenèse amplifiée, ce qui leur permettrait de tamponner efficacement les urines.

Chez l'être humain, de nombreuses études ont été réalisées pour examiner les effets physiques, chimiques et physiologiques d'une alimentation riche en protéines seule, et d'une alimentation riche en protéines et pauvre en glucides. Le métabolisme des protéines animales soufrées peut apporter, par oxydation des thiols en sulfates, une charge importante en acides endogènes, sous forme de protons. De tels régimes alimentaires augmentent le risque de formation de calculs rénaux à partir d'une hypercalciurie, hyperuricosurie, hypocitraturie et une forte acidité urinaire. Tous ces facteurs augmentent la prédisposition à la cristallisation de l'oxalate de calcium et de l'acide urique (Smith et al. 2014).

L'incidence, la prévalence et la composition des calculs rénaux présents chez les populations de dauphins sauvages est inconnue. Parmi les 39 dauphins sauvages prélevés dans la baie de Sarasota en Floride, aucun n'a présenté de lithiase (Smith et al. 2014). Cependant ces dauphins étaient significativement plus jeunes que les dauphins en captivité étudiés au *Marine Mammal Center* de la Navy en Californie, qui eux présentaient des calculs.

Les repas donnés aux dauphins au *Marine Mammal Center* sont souvent conséquents et peuvent fournir une charge transitoire élevée en purines et en acides. Une charge élevée en acides en période post prandiale entraîne une augmentation de l'excrétion d'ammonium à rôle tampon. Une charge élevée en purines entraîne à la fois une augmentation de l'excrétion urinaire en acide urique et une sursaturation urinaire en urate d'ammonium. Il y a donc une augmentation des risques de formation des calculs dans les voies urinaires (Le-Bert et al. 2018). Les individus des populations sauvages se nourrissent plus fréquemment chassent une plus grande variété d'espèces marines. La composition des nutriments est susceptible de différer entre les deux régimes, notamment en ce qui concerne les teneurs en eau, lipides, protéines, minéraux et purines.

Les facteurs de risque d'apparition de calculs d'urate d'ammonium chez les grands dauphins communs en captivité reposent principalement sur l'alimentation. Les nutriments clés étant l'apport en eau, en protéines, en macronutriments et en purines. Les protéines (acides aminés soufrés notamment) acidifient les urines et apportent des ions ammoniums. Les purines ont un pouvoir uricogène (production d'acide urique). La figure 10 résume l'ensemble de ces facteurs favorisants.

4) Bilan

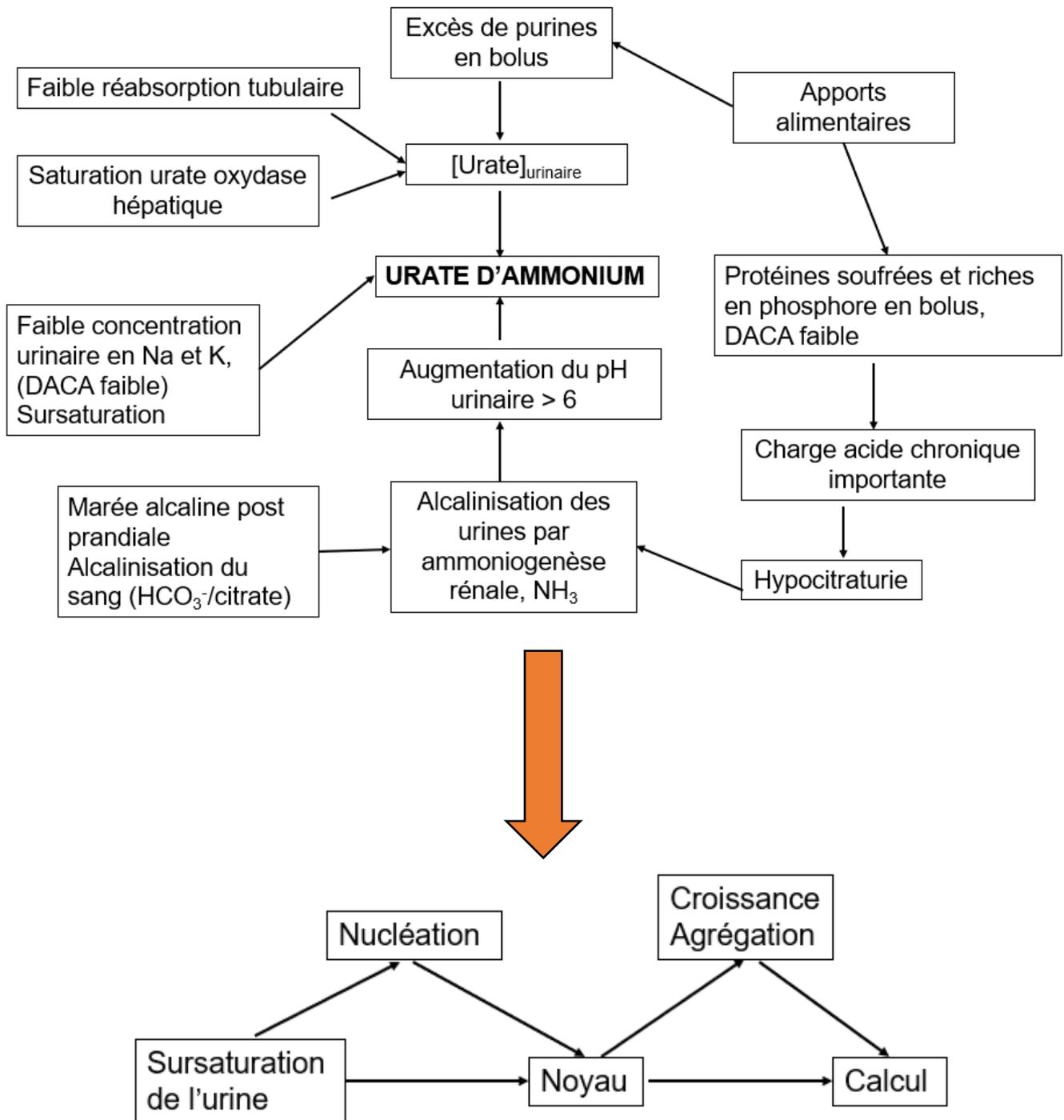


Figure 10 : Facteurs favorisant la formation des cristaux d'urate d'ammonium dans les urines des dauphins.

D. LESIONS MACROSCOPIQUES

Les grands dauphins en captivité qui présentent des néphrolithiases d'urate d'ammonium restent asymptomatiques pendant une grande période, voire toute leur vie. Puis parfois ils peuvent présenter des signes cliniques tels qu'une léthargie, une perte d'appétit, une hématurie, une azotémie, une strangurie (miction douloureuse avec ténesme de la vessie) et une obstruction urétérale ou urétrale (Smith et al. 2013 ; Venn-Watson et al. 2010 ; Schmitt, Sur 2012).

Le nombre, la taille des calculs, la dilatation des canaux collecteurs, l'hydronéphrose et l'hydro-uretère associés varient d'un individu à l'autre. De manière générale, les calculs se retrouvent dans les reins, et plus rarement dans le reste du tractus urinaire ; les néphrolithes sont généralement observés dans les deux reins (Smith et al. 2013 ; Venn-Watson et al. 2010b ; Schmitt, Sur 2012). En 2010, l'équipe de Venn-Watson *et al.* grade la maladie comme bénigne si les individus présentent 1 à 19 calculs et comme avancée s'ils présentent plus de 20 calculs, dans l'ensemble du tractus urinaire (Venn-Watson et al. 2010). La présence de calculs rénaux peut conduire à une hypertrophie urétérale, une obstruction, une hydronéphrose, des lésions histologiques rénales et une insuffisance rénale fonctionnelle.

E. METHODES DIAGNOSTIQUES

Les méthodes diagnostiques effectuées sur les dauphins présentant des calculs rénaux comprennent les analyses de sang et d'urine ainsi que des méthodes d'imagerie en particulier le scanner (Tomographie assistée par ordinateur) qui peut être utilisé pour une évaluation plus complète et précise des anomalies, et pour la localisation des calculs.

1) Analyse sanguine

L'étude réalisée par Venn-Watson et al. en 2010 compare les valeurs biochimiques de trois groupes de dauphins : un groupe témoin (n = 6), un groupe présentant une lithiase bénigne (n = 8) et un groupe présentant une lithiase avancée (n = 6). Les résultats indiquent que les individus malades sont plus susceptibles de développer une anémie (hématocrite < 38%) que les individus du groupe témoin. L'anémie, et plus spécifiquement si elle est normochrome microcytaire, est une anomalie courante chez les mammifères domestiques présentant une maladie rénale chronique. En effet, l'érythropoïétine est une hormone qui agit comme facteur de croissance hématopoïétique et stimule la synthèse des globules rouges par la moëlle osseuse. Cette hormone est synthétisée par le rein, et sa production devient déficiente chez les patients en insuffisance rénale chronique, ce qui conduit à une anémie (Bartges 2012 ; Venn-Watson et al. 2010). Cependant dans cette étude, les caractéristiques des anémies diffèrent en fonction du groupe bénin et du groupe avancé. Le groupe bénin avait tendance à avoir un hématocrite plus bas et une concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (CCMH) plus élevée que les deux autres groupes. Le groupe avancé avait tendance à avoir un volume globulaire moyen (VGM), une concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine (CCMH) et un taux hémoglobine plus faibles que les deux autres groupes. Ces différences peuvent être attribuées à des causes supplémentaires, comme la diminution de la sécrétion d'érythropoïétine et une perte de sang, une hématurie étant présente dans les cas avancés au cours de cette étude.

L'urée est produite par le foie et excrétée par le rein comme produit de dégradation des protéines. Le régime alimentaire des dauphins étant très riche en protéines, le *Blood Urea Nitrogen* (BUN) est plus élevé que chez les humains ou les autres animaux omnivores (figure 11).

Valeurs de références		<i>Tursiops truncatus</i>	Homme (adulte)
BUN	mg/dL	36 - 59	7 - 21
Urée plasmatique	mg/dL	77,14 – 126,43	15 - 45

Figure 11 : Comparaison des valeurs de référence d'urée plasmatique/ BUN chez le grand dauphin (*Tursiops truncatus*) et chez l'Homme. D'après Venn-Watson *et al.*, 2010.

Dans cette même étude, les dauphins atteints de lithiase avaient tendance à avoir une augmentation de l'urémie par rapport au groupe témoin. Ces résultats peuvent être en accord avec le développement d'une maladie rénale chez les sujets atteints. Cependant, une augmentation de l'urée plasmatique chez les autres mammifères peut être la conséquence d'une origine autre comme une insuffisance cardiaque ou une déshydratation.

La concentration sanguine moyenne d'acide urique restait faible dans les trois groupes d'étude (0,15 – 0,27 mg/dL). Bien que l'uricémie apparût plus élevée chez les individus du groupe bénin que chez les témoins. Les causes et significations de ces résultats sont inconnues. Une des hypothèses serait que l'élévation de l'uricémie dans le groupe bénin reflèterait la formation de calculs d'urates aux premiers stades de la maladie (Venn-Watson *et al.* 2010).

Chez les autres mammifères, les paramètres permettant d'établir un diagnostic de maladie rénale ou une évolution sont la concentration en créatinine sérique et le débit de filtration glomérulaire (DFG).

La créatinine est un produit de dégradation musculaire, éliminée par les reins et non réabsorbée. La concentration sérique en créatinine ainsi que ses variations

permettent d'établir un diagnostic de la capacité de filtration du rein et donc de la santé rénale. Pour se faire, le débit de filtration glomérulaire est estimé à partir de la créatininémie à l'aide de la détermination de la clairance. L'estimation le DFG chez le dauphin a été établie à partir des données chez l'être humain (Venn-Watson et al. 2008). Dans l'étude de 2010, les cas bénins et avancés étaient plus susceptibles d'avoir une créatininémie élevée ($>1,9$ mg/dL) et un faible DFG (<150 mL/min/2,78m²). Il a donc été conclu que la présence de néphrolithes à un impact négatif sur la fonction rénale des dauphins souffleurs.

Cependant, l'étude réalisée par Smith *et al.* en 2014 sur les phénomènes physiopathologiques et physicochimiques de la formation de calculs à urate d'ammonium chez le grand dauphin remet en cause les résultats de l'étude précédente. En effet, ils ont comparé les valeurs biochimiques sanguine et urinaire chez deux populations de dauphins : une population saine (n = 4) et une population atteinte de lithiase (n = 4). Or ils n'ont trouvé aucune différence significative des concentrations sanguines en électrolytes, urate, créatinine, insuline et urée entre les deux populations. Si l'absence de différences entre les dauphins cas et témoins peut impliquer que les cas et les témoins sont tous deux à risque de néphrolithiases, elle pourrait également être attribuable à la petite taille de l'échantillon (Smith et al. 2014).

Il semble donc que la néphrolithiase d'urate d'ammonium ait des conséquences cliniques chez le grand dauphin. L'analyse sanguine des individus atteints pourrait mettre en évidence, comme chez les chiens et les chats, une diminution de la fonction rénale avec une créatininémie augmentée et une diminution du débit de filtration glomérulaire, une augmentation de l'urémie, une augmentation de l'uricémie chez les individus en stade précoce de la maladie et une anémie avec une diminution de l'hématocrite. La présence de néphrolithiase accompagnée d'une hyperuricémie peut également indiquer la présence d'un syndrome métabolique.

Il est cependant important de garder à l'esprit que l'absence de variation des paramètres biochimiques sanguins n'implique pas que l'individu est sain.

2) Analyse d'urine

L'analyse d'urine est un examen complémentaire non invasif utile pour appréhender la fonction rénale. La mise en place de *medical training* ou « soins coopératifs » est une méthode efficace, non invasive et non stressante permettant l'obtention d'un échantillon d'urine propre. Jiménez-Zucchet *et al.*, 2019, indiquent leur méthode de prélèvement d'urine par coopération et miction volontaire, chez des dauphins en captivité. Les étapes décrites consistent à faire venir l'animal à une localisation habituelle du bassin, lui demander de rouler sur le côté pour qu'il maintienne son ventre émergé, sécher la fente génitale avec des compresses, donner un signal pour que l'animal émette ses urines par un massage au-dessus de la zone du pubis et prélever l'échantillon d'urine avec un récipient stérile adapté (Jiménez-Zucchet *et al.* 2019). Comme on peut l'imaginer, toutes ces étapes nécessitent un travail préalable important de la part des soigneurs, ainsi que des animaux.

a. Chez l'individu sain

A l'examen macroscopique, les urines normales doivent être translucides, jaunes ou vertes claires. L'intensité de la couleur dépend du volume prélevé mais également de l'alimentation ou de la présence d'une maladie. Une couleur vert foncé peut être physiologique du fait de la présence de pigments de biliverdine dans les urines. En effet ce pigment se retrouve dans de nombreuses espèces de poissons, dont ceux composant l'alimentation des dauphins. Les urines peuvent dégager une odeur de poisson plus ou moins fruitée. Cette odeur forte est directement corrélée avec le régime alimentaire (triméthylaminuria) et l'ingestion de compléments alimentaires. Cependant des infections bactériennes peuvent créer des odeurs fortes lors de pyurie ou lors de formation d'ammoniac par les uréases bactériennes. La densité urinaire ne dépend pas de la salinité du milieu de vie. Elle est influencée par la consommation d'eau et la balance en électrolytes, mais aussi par la quantité et la source de protéines ingérées. Les dauphins ont la capacité de concentrer fortement les urines grâce à leurs reins lobés. La densité urinaire normale est égale à $1,035 \pm 0,008$ (Jiménez-Zucchet *et al.* 2019).

A la bandelette urinaire une protéinurie est présente dans 28.9% des cas sans signes cliniques de maladie aboutissant à une protéinurie (glomérulonéphrite, diabète sucré, infection urinaire, insuffisance cardiaque congestive) (Jiménez-Zucchet *et al.* 2019).

b. Chez l'individu atteint de lithiase

L'analyse d'urine réalisée chez des dauphins atteints de lithiase urinaire peut montrer une hématurie, un pH urinaire proche de 6, une hypocitraturie et des cristaux urinaires si la maladie est avancée (Venn-Watson et al. 2010b ; 2010). Il ne semble pas y avoir de différence de densité urinaire entre un dauphin sain et un dauphin atteint de néphrolithiase (Ortiz 2001). Il n'y a pas non plus de différence de pH urinaire, puisque le pH physiologique des dauphins est de $5,88 \pm 0,58$ (Jiménez-Zucchet et al. 2019).

L'étude de Venn-Watson *et al.* en 2010 indique une concentration en acide urique urinaire plus élevée chez les individus du groupe bénin (272 mg/g de créatinine) que chez les individus du groupe témoin (127 mg/g de créatinine). Les individus du groupe avancé avaient cependant une concentration plus faible (40 mg/g de créatinine).

Néanmoins l'étude de Smith *et al.* 2014, qui a comparé les valeurs biochimiques de quatre individus sains et de quatre individus atteints de lithiase, n'a trouvé aucune différence entre les concentrations urinaires en ammonium et en urate. Il n'y avait pas non plus de différences de pH, d'excrétion nette d'acides ou d'indice de sursaturation d'urate d'ammonium dans les urines. L'échantillon d'individus étudiés étant faible, il serait nécessaire de réaliser une étude à grande échelle pour appréhender les variations paramètres urinaires chez les dauphins atteints de néphrolithiase à urate d'ammonium (Smith et al. 2014 ; Le-Bert et al. 2018).

Comme en médecine canine et féline, les analyses sanguines et urinaires ne permettent parfois pas de conclure à un phénomène pathologique. D'autres examens sont donc nécessaires pour diagnostiquer une lithiase à urate d'ammonium.

3) Imagerie médicale

Les examens d'imagerie sont fréquemment utilisés chez les mammifères marins, qu'ils soient en captivité ou en milieu naturel. Ils permettent de diagnostiquer des maladies, de suivre leur évolution, d'établir des bilans de santé et parfois lorsqu'ils sont réalisés *post-mortem*, de déterminer la cause de la mort.

Les modalités d'imagerie utilisées chez les mammifères marins comprennent l'échographie, la radiographie avec ou sans contraste, la tomodensitométrie (CT), l'imagerie par résonance magnétique (IRM), la spectrographie IRM, l'IRM fonctionnelle (IRMf), la tomographie par émission de positrons (TEP), la scintigraphie nucléaire et la tomographie par émission monophotonique (TEMP). À l'heure actuelle, l'IRMf, la spectrographie IRM et la médecine nucléaire sont plus fréquemment utilisées dans la recherche clinique et physiologique que comme outil de diagnostic.

Il est nécessaire d'avoir une connaissance et une compréhension de l'anatomie normale pour établir un diagnostic fiable.

a. Examen radiographique

Il existe aujourd'hui des appareils radiographiques portables, qui permettent une acquisition d'images plus sûre au bord du bassin aquatique. Cependant, une protection adéquate des appareils de radiologie pour éviter le contact avec l'eau au moment de l'utilisation est nécessaire. L'utilisation d'appareils à rayons X présente des limites pratiques. La taille du patient est un facteur limitant, tout comme le pouvoir de pénétration du tube à rayons X (kVp) et la quantité (mA) de photons de rayons X qu'il peut produire. A cause de la taille des dauphins communs, il est impossible de réaliser une radiographie de l'intégralité de l'appareil urinaire en un seul cliché.

Les calculs d'urate d'ammonium sont peu radio-opaques et ce n'est pas l'examen complémentaire de choix pour diagnostiquer la présence de calculs.

De plus, les dauphins présentent très peu de graisse intra-abdominale et une épaisse couche de graisse intra-dermique. Ceci implique que les contrastes seront de mauvaise qualité lors d'une radiographie abdominale. Il est donc difficile d'observer des modifications de la taille des reins par radiographie.

Pour toutes ces raisons, ce n'est pas un examen complémentaire de choix pour le diagnostic de lithiase urinaire (Gulland et al. 2018).

b. L'échographie

L'examen échographique joue un rôle clé dans la médecine des mammifères marins. Son utilisation est essentielle tant pour le diagnostic des maladies que pour la médecine préventive. Une connaissance approfondie des structures anatomiques et de leur état physiologique ou pathologique est essentielle pour le clinicien, ainsi que

la connaissance des bases de l'échographie et des nombreuses fonctions disponibles sur les systèmes d'échographie actuels. Le caractère non-invasif de cette procédure ainsi que la sécurité pour le patient et l'opérateur rendent possible son utilisation en routine. Elle est particulièrement intéressante comme outil de diagnostic chez les animaux entraînés à se présenter pour un examen volontaire. L'échographie fournit des données morphologiques et morphométriques fondamentales des organes examinés avec une grande précision, et toutes les données enregistrées peuvent ensuite être stockées afin de les normaliser ou lors du suivi au cours du traitement d'une maladie spécifique.

Les limites les plus évidentes de l'utilisation de l'ultrasonographie chez les mammifères marins sont liées à la taille des patients.

Réaliser un examen échographique chez un mammifère marin peut être très utile pour le diagnostic, le suivi et la prise en charge de la maladie lithiasique. Mais l'affection en elle-même peut être un facteur limitant voir empêchant la bonne coopération de l'animal au cours de l'examen. Il peut être plus confortable de retenir l'animal dans des eaux peu profondes plutôt que de le sortir de l'eau. Le maintien de l'animal dans l'eau présente l'avantage supplémentaire d'annuler le besoin de gel acoustique et l'effet du poids de l'animal sur l'observation des organes internes. Parmi les limitations techniques à prendre en compte, on peut citer le léger mouvement de l'animal à la surface de l'eau qui peut interférer avec les résultats des fonctions Doppler. De plus, l'examen échographique peut être difficile sur certains patients en raison de l'épaisseur et de la composition de leur couche de graisse.

Les néphrolithes étant assez communs chez les dauphins en captivité, la réalisation d'examens échographiques de routine est conseillée. Cependant la quantification précise des urolithes nécessite un examen par tomodensitométrie (Smith et al. 2013). Le diagnostic est réalisé en mode B (brillance) « temps réel », et il est nécessaire d'observer les structures rénales en coupe dorsale et transverse. Les néphrolithes sont définis comme des foyers hyperéchogènes dans le parenchyme rénal, avec des cônes d'ombres acoustiques postérieurs distinctes (Mouelhi, Taguet 2019). La figure 12 montre une comparaison d'images échographiques rénales entre un dauphin sain et un dauphin malade, atteint de néphrolithiases.

L'échographie présente aussi l'avantage de permettre un suivi des patients. La lithotritie est un traitement des calculs urinaires qui consiste à les fragmenter grâce à des ondes de chocs générées par des ultrasons, ou des ondes transmises par l'eau. Lors de lithotrities, l'ombre acoustique des urolithes diminue en même temps que leur dissolution. L'examen échographique permet également de diagnostiquer les modifications pathologiques de l'appareil urinaire, lors d'insuffisance rénale consécutive à une lithiase. L'hydronéphrose ainsi que la présence d'urolithiase ou d'hydro-uretère est possible. La vessie, avec sa paroi régulière et son contenu anéchoïque, est facile à identifier (Gulland et al. 2018).

c. Le scanner

La tomographie assistée par ordinateur est accessible aux mammifères marins dans les hôpitaux vétérinaires ou dans les installations d'imagerie humaine. Un avantage énorme de la tomodensitométrie par rapport à l'IRM est qu'un seul balayage est nécessaire avant et après l'administration du produit de contraste, car les données brutes acquises peuvent être reconstruites à plusieurs reprises à l'aide de différents algorithmes de reconstruction aussi longtemps que l'étude en cours reste sur la console de tomodensitométrie. La taille et le poids des patients sont des facteurs importants à prendre en compte lors de l'utilisation de la tomodensitométrie chez les mammifères marins. Comme le patient doit passer par le portique supporté par la table du scanner, il est essentiel de connaître les dimensions du portique interne, sans parler des limites de poids de la table d'examen. Lorsque la nageoire dorsale ne peut pas passer à travers le portique, la moitié du patient est imagée, puis le patient est physiquement tourné à 180° pour scanner l'autre moitié du corps. Malheureusement, cela devient problématique lors de l'évaluation des reins de dauphins, car ils sont situés au niveau de la nageoire dorsale et l'évaluation de cette région peut être limitée. L'un des plus grands avantages du scanner par rapport à la radiographie est que les études optimisées produisent des images sans superposition de structures.

Le scanner est l'examen complémentaire de choix pour diagnostiquer des calculs rénaux chez l'homme. Malheureusement la faisabilité d'un tel examen sur des dauphins sauvages est impossible. En revanche, il est possible de le réaliser chez des dauphins en captivité, qui sont habitués à l'homme et au transport (Smith et al. 2013).

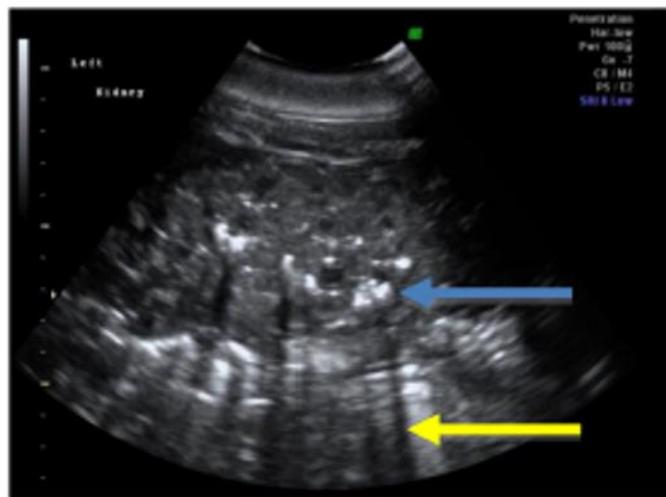
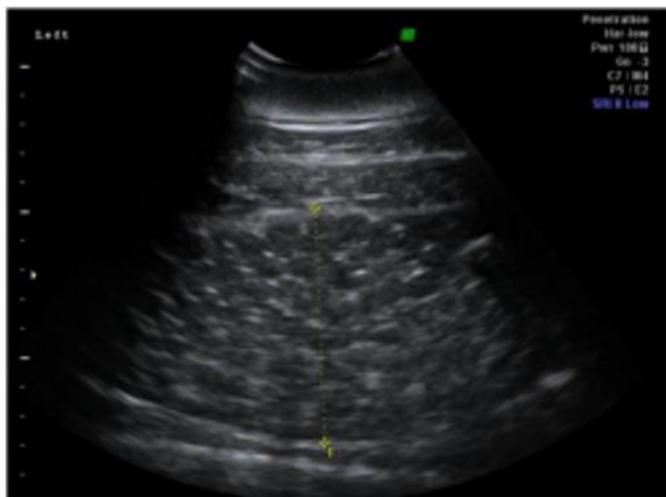


Figure 12 : Image échographique du rein gauche (face dorsale).

A gauche : animal ne présentant pas de calcul. A droite : animal présentant de nombreux calculs. Foyers hyperéchogènes présents dans le parenchyme rénal (flèche bleue) avec des ombres acoustiques distinctes (flèche jaune), d'après Smith *et al.*, 2014.

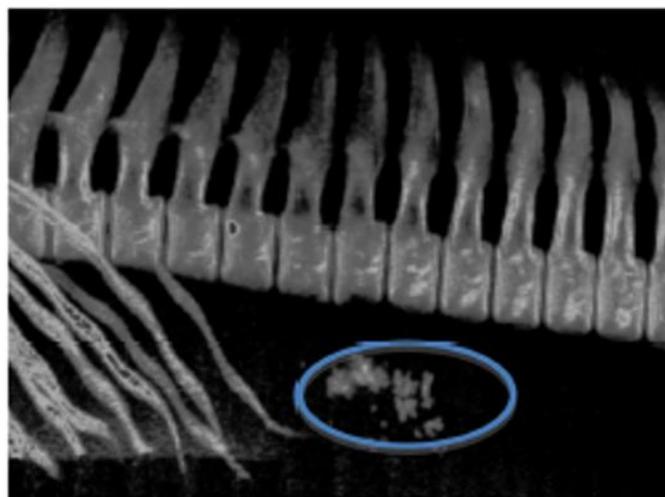
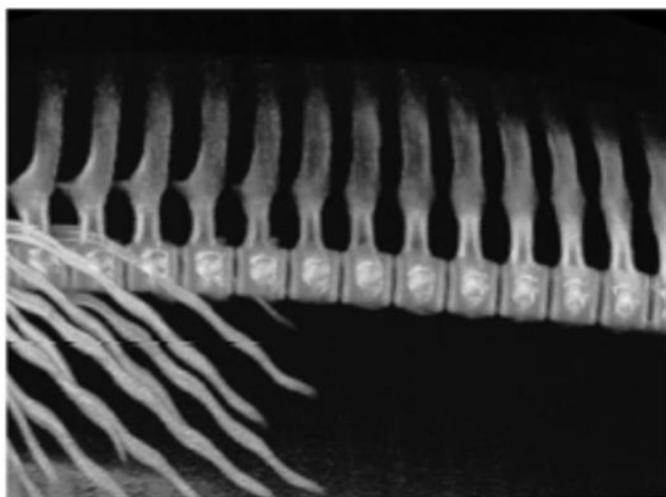


Figure 13 : Reconstruction en trois dimensions d'un scanner incluant les côtes caudales et les corps vertébraux lombaires.

A gauche : patient ne présentant pas de calculs, aucune densité minérale n'est détectée. A droite : patient atteint de lithiase, de nombreuses densités minérales sont présentes à l'intérieur du rein (ovale), d'après Smith *et al.*, 2014.

F. PLANS THERAPEUTIQUES RAPPORTES CHEZ LES DAUPHINS

Plusieurs traitements peuvent être utilisés pour préserver la fonction rénale, tenter de limiter l'apparition de nouveaux calculs et dissoudre les calculs déjà existants. Chez les chats et les chiens présentant une lithiase urinaire à calculs d'urate, les recommandations impliquent de diminuer la concentration urinaire en urate en diluant l'urine, de favoriser une urine alcaline et de diminuer la prise alimentaire en purines (Lulich et al. 2016).

1) Adaptation de l'alimentation

Il est nécessaire de diminuer la prise alimentaire en purines et d'adapter l'alimentation de sorte à diminuer la charge acide à chaque repas. Il est également recommandé d'augmenter le nombre de repas et d'en diminuer les quantités.

2) Fluidothérapie

Chez l'humain, l'augmentation de la prise de boisson dans le but d'augmenter le volume urinaire a montré une diminution significative des risques de récurrence de calcul rénal. En effet, la dilution de l'urine permet de réduire la sursaturation et réduit le risque de formation de cristaux et donc de calculs (Goldfarb 2019).

Elle peut être administrée par voie sous-cutanée, intraveineuse ou orale. Par voie orale, il est possible d'utiliser une sonde oro-gastrique. Les liquides à administrer peuvent être de l'eau douce ou une solution saline plus ou moins enrichie en électrolytes. Le débit varie de 1 à 4 litres par jour.

3) Augmenter le pH urinaire

La solubilité des cristaux d'urate augmente en même temps que le pH. Chez le chat et le chien, bien que l'on pense que la solubilité des cristaux d'urate d'ammonium présente un plateau à un pH de 7,2, *in vitro* elle n'est obtenue qu'au-delà d'un pH égal à 8 (Lulich et al. 2016). Dans une étude *in vitro*, les cristaux d'urate d'ammonium sont plus solubles dans une solution tampon de sodium avec une plage pH de 9-10.8 que dans une solution tampon de citrate-phosphate dans une plage de pH de 6-8.

Dissoudre des néphrolithes d'urate d'ammonium à un pH optimal *in vivo* est donc impossible. De plus, une urine trop alcaline augmente le risque de développer des calculs de phosphate de calcium chez les humains (Argade et al. 2013).

Comme vu précédemment, l'hypocitraturie est connue chez les dauphins et représente un facteur de risque de lithiase à urate d'ammonium, car elle est associée à une amplification de l'ammoniogenèse urinaire. Chez les humains présentant des calculs d'urate et une hypocitraturie, le traitement de choix pour alcaliniser les urines est une supplémentation en citrate à 40-70 mEq/jour. Cependant les études montrent que ce traitement n'a aucun effet sur le volume urinaire, ni sur les concentrations urinaires en citrate, en acide urique, en magnésium, phosphore et potassium (Shen, Zhang 2018). Des essais non publiés chez le dauphin montrent qu'un traitement à 30-100 mEq/j de citrate par voie orale n'entraîne pas d'évolution marquante du pH urinaire ou de la formation des calculs.

Il est nécessaire de poursuivre la recherche quant à l'absorption du citrate de potassium par l'intestin du dauphin et d'évaluer les effets que peut avoir le citrate de potassium sur la composition urinaire chez le dauphin (Argade et al. 2013 ; Venn-Watson et al. 2010).

D'autres traitements chez l'homme permettent d'alcaliniser le pH urinaire et donc de réduire les risques de récurrence de lithiase d'urate : le bicarbonate de potassium et le citrate de sodium. Chez le dauphin, quelques essais ont été effectués avec un traitement à base de bicarbonate de sodium (2600 à 3250 mg 3 à 4 fois par jour) pendant 2 ans. Cependant les résultats ne sont pas concluants quant à la répercussion de ce traitement sur le pH urinaire au cours du temps (Venn-Watson et al. 2010).

Ces agents alcalinisant de l'urine, aux doses précédemment administrées, ne sont pas aujourd'hui considérés comme des thérapies efficaces pour la gestion ou la prévention de lithiase à urate d'ammonium chez les dauphins en captivité.

4) Diminuer la concentration en acide urique

L'allopurinol est un médicament utilisé en médecine humaine et en médecine vétérinaire chez les chiens et les chats pour prévenir la formation de calculs d'urate d'ammonium. Cette molécule inhibe l'enzyme xanthine oxydase qui transforme la xanthine en acide urique. La dissolution des urolithes d'urate chez le chien se fait en 4 semaines par un traitement consistant en une alimentation restreinte en purine, alcalinisante et diurétique, et une administration d'un inhibiteur de la xanthine oxydase, l'allopurinol à 15 mg/kg par voie orale deux fois par jour (Lulich et al. 2016). La dissolution est impossible chez les animaux atteints de maladies hépatiques. Cependant, l'utilisation de l'allopurinol peut conduire à la formation de calculs de xanthine si l'apport en purine associé n'est pas diminué. En effet la xanthine est moins soluble dans l'urine que l'acide urique (Lulich et al. 2016).

Si l'allopurinol est utilisé chez le dauphin, il faut limiter l'apport en purines. Tout comme les agents alcalinisant, ce n'est pas une thérapie aujourd'hui considérée comme efficace pour le traitement ou la prévention des néphrolithiases d'urate d'ammonium chez le grand dauphin en captivité (Venn-Watson et al. 2010b ; 2010).

5) Traitement chirurgical

Plusieurs méthodes chirurgicales pour le traitement de lithiase urinaire à urate d'ammonium chez le grand dauphin ont déjà été réalisées comme la cystoscopie, l'urétéroscopie avec lithotripsie au laser et la pose d'un stent urétral (petite prothèse tubulaire interne permettant de maintenir l'urètre en cas de sténose) sous sédation ou anesthésie générale.

La cystoscopie permet de visualiser l'urètre et la vessie alors que l'urétéroscopie permet d'examiner les uretères et bassinets. La lithotripsie ou lithotritie extracorporelle est une technique qui consiste à fragmenter des calculs par le biais d'ondes de choc ultrasonores.

Une étude réalisée en 2018 par Sur *at al.*, a fait appel à des médecins spécialistes en urologie humaine. Comme pour les calculs rénaux chez l'homme, le traitement chirurgical dépend de la taille du calcul, de leur nombre, de leur localisation et de l'anatomie du patient. Cette étude montre qu'une approche endoscopique

rétrograde est possible chez les dauphins femelles, ce qui constitue l'approche chirurgicale idéale (Sur et al. 2018). Un rapport de cas réalisé en 2012 par Schmitt et Sur, avait déjà décrit l'utilisation de cystoscopie flexible. Ici, l'utilisation d'une urétéroscopie semi-rigide avec lithotripsie au laser holmium des calculs a été effectuée avec succès. Le cystoscope utilisé était de 12F. L'utilisation d'un diamètre plus élevé paraît impossible car le méat urétral est trop étroit. Enfin la présence du pédoncule caudal et des nageoires caudales peut entraver la mobilité d'un cystoscope rigide, d'où l'utilisation d'une fibre optique flexible (Schmitt, Sur 2012).

Les tentatives d'urétéroscopie rétrograde ont échoué chez les dauphins mâles, en partie à cause de leur anatomie urétrale. En effet ils présentent une forte courbure de l'urètre (inflexion sigmoïde) sur une longueur de 50 à 70 cm. Le cystoscope flexible et l'urétéroscopie peuvent s'adapter à la courbure mais la longueur ne leur permet pas d'atteindre et de visualiser la vessie. Une technique de laparoscopie a donc été réalisée sur le patient mâle. Cependant, c'est une technique chirurgicale plus difficile et invasive. Des progrès en termes de matériel chirurgical seraient nécessaires.

L'utilisation de stents urétéraux, c'est-à-dire d'une endoprothèse urétérale par cystoscopie a été publiée dans le rapport de cas de 2012 (Schmitt, Sur 2012). En effet en médecine humaine, la pose d'un stent temporaire est possible pour palier à l'inflammation du conduit urétéral après le retrait du calcul. Un stent de 26 cm avait été posé par urétéroscopie semi-rigide chez un dauphin femelle. Cependant celui-ci a ensuite migré vers l'uretère proximal. Les recommandations sont d'utiliser un stent d'au moins 28 cm (Schmitt, Sur 2012 ; Sur et al. 2018 ; Association française d'urologie 2018a).

Cependant il faut garder à l'esprit que malgré un traitement chirurgical optimal des individus, les causes sous-jacentes de développement de lithiase restent présentes et donc une récurrence est toujours possible.

III. EVALUATION DES FACTEURS DE RISQUE DE LITHIASE URINAIRE, CHEZ LES DAUPHINS DU PARC MARINELAND

A. INTRODUCTION

Les dauphins souffleurs (*Tursiops truncatus*) en captivité semblent être prédisposés à l'apparition de lithiases d'urate d'ammonium. Or ces maladies lithiasiques sont rares chez les dauphins sauvages. Les recherches réalisées sur les populations en captivité du *United States Navy Marine Mammal Program* (NMMP), à San Diego en Californie, mettent en évidence une origine vraisemblablement alimentaire (Le-Bert et al. 2018). Les repas donnés peuvent fournir une charge transitoire élevée en acides ainsi qu'en purines. Il se produit une augmentation de la concentration en ammonium urinaire par adaptation à cette charge acide, et l'apport en purines entraîne une augmentation de la concentration urinaire en acide urique. Conjointement, ces deux paramètres amènent à une augmentation de la sursaturation en sels d'urate d'ammonium dans les urines, et au final, à la formation de calculs d'urates d'ammonium (Smith et al. 2014).

Les poissons sont la base de l'alimentation des grands dauphins communs. Ils sont naturellement riches en purines, et leur métabolisme entraîne la formation d'acide urique (Choi et al. 2004). La charge acide amenée par la consommation de poissons peut être déduite par la composition en acides aminés soufrés ou encore la Différence Alimentaire Cations Anions (DACA). Les acides aminés soufrés apportés par l'alimentation sont la méthionine et la cystéine (Parcell, Cand 2002). Les cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) alcalinisent l'urine alors que les anions (Cl^- , S et P) acidifient l'urine. Une alimentation présentant une DACA négative amènera alors à une urine plus acide (Ardente et al. 2017 ; Michaud et al. 2003).

L'objectif principal de notre étude est de déterminer si les rations alimentaires des dauphins du parc Marineland peuvent prédisposer à l'apparition de lithiases urinaires. Pour cela, plusieurs rations théoriques sont étudiées. Les apports nutritionnels de chaque ration en protéines totales, en acides aminés soufrés, en eau, en cations et en anions, sont déterminés à l'aide de tableaux de composition nutritionnelle. Les apports en purines et en citrate ne seront pas évalués, en l'absence de données suffisantes. Notre démarche vise de plus à comparer les tendances

nutritionnelles de ces rations alimentaires pouvant être proposées en parcs zoologiques par rapport aux régimes alimentaires des dauphins sauvages. Les rations des dauphins sauvages sont établies d'après la bibliographie.

Les tables nutritionnelles dans lesquelles sont piochées les données nutritionnelles sont destinées à la consommation humaine. Les données disponibles ne concernent donc que les filets de poissons. Nous savons déjà qu'un biais est présent dans l'analyse des données.

Les hypothèses formulées sont que les rations « captivité », utilisées depuis 2018, étudiées dans cette partie, ainsi qu'une ration considérée comme « historique », composée de harengs atlantiques (*Clupea harengus*) et de capelans (*Mallotus villosus*), pourraient présenter des valeurs nutritionnelles pouvant prédisposer à la formation de lithiases à urate d'ammonium, par comparaison avec des rations des grands dauphins communs sauvages. Les différents facteurs nutritionnels prédisposants étudiés sont : la valeur de DACA, la valeur des protéines totales, la valeur d'acides α -aminés soufrés et la composition en eau.

B. MATERIELS ET METHODES

1) Choix des espèces de poissons et rations alimentaires

a. Dauphins du parc Marineland

Les espèces de poissons composant l'alimentation du parc Marineland d'Antibes ont été partagées par celui-ci. La liste des poissons actuellement disponibles auprès des fournisseurs pouvant être utilisés dans les rations alimentaires des animaux est donnée dans le tableau 2.

NOM COMMUN	NOM LATIN	NOM ANGLAIS
Bogue	<i>Boops boops</i>	Bogue
Maquereau espagnol/ blanc	<i>Scomber colias</i>	Atlantic chub mackerel
Merlan	<i>Merlangius merlangus</i>	Whiting
Merlan bleu	<i>Micromesistius poutassou</i>	Blue whiting
Merlu commun	<i>Merluccius merluccius</i>	European hake
Mulet cabot	<i>Mugil cephalus</i>	Striped mullet
Rouget-barbet	<i>Mullus</i> spp (<i>M. surmuletus</i> ou <i>M. barbatus</i>)	Goatfish
Sardine	<i>Sardina pilchardus</i>	Sardine
Sprat	<i>Sprattus sprattus</i>	Sprat

Tableau 2 : Liste des poissons pouvant composer les régimes alimentaires des dauphins souffleurs présents au parc Marineland d'Antibes.

Les poissons sont livrés lors des diminutions de stock par des fournisseurs. Les poissons arrivent congelés et sont stockés au parc pendant une durée moyenne de 45 jours. Les intervalles de temps entre les livraisons varient donc entre 1 et 2 mois. L'intégralité des poissons disponibles présentent le label MSC (Marine Stewardship Council) ou pêche écoresponsable, et sont destinés à la consommation humaine. Avant chaque livraison, les lots de poissons sont analysés pour contrôler les valeurs qualitatives et nutritionnelles, et microbiologiques. En général, les quantités distribuées quotidiennement aux animaux sont déterminées en fonction de l'appétit de chaque

animal, du poids et de l'état corporel. En pratique, les animaux sont nourris quasiment à volonté avec un objectif d'état corporel d'embonpoint. Les soigneurs proposent chaque jour une masse précise de poissons de différentes espèces dont les proportions sont connues. Le nombre de repas par jour n'est pas fixe ; les repas sont nombreux tout au long de la journée, et ont lieu plusieurs fois par heure entre 9h et 12h30, et entre 14h et 18h. Chaque jour, la quantité de poissons ingérée par dauphin est donc connue, et le nombre de kilocalories ingérées est calculé pour chaque individu.

Différents régimes alimentaires sont étudiés ici, dénommés par la suite rations « captivité » ; chacune de ces rations est composée d'espèces de poissons susceptibles d'être proposées aux dauphins au parc Marineland, et chaque ration prévoit une diversité d'au moins 5 espèces de poissons différentes. Les espèces de poissons choisies depuis 2018 au parc Marineland, correspondent à des proies potentielles des dauphins *Tursiops truncatus* dans la nature, décrites dans la littérature ; le capelan (*Mallotus villosus*) et le hareng atlantique (*Clupea harengus*) n'y figurent donc pas. En tout, cinq modèles de régimes alimentaires différents sont étudiés. Une sixième ration, dite ration « historique », n'est composée seulement que de deux espèces, le hareng atlantique et le capelan, qui correspond à une ration donnée historiquement aux dauphins, et encore proposée de nos jours dans de nombreux parcs zoologiques à travers le monde. La consommation standard utilisée est de 8,5 kg de poissons par jour pour un poids corporel moyen de 190 kg.

Espèces de poissons	Ration 1	Ration 2	Ration 3	Ration 4	Ration 5
Bogue <i>Boops boops</i>	30	30	30	20	30
Rouget barbet <i>Mullus barbatus</i>	20	20	20	20	15
Merlan bleu <i>Micromesistius poutassou</i>	20	10	10	15	25
Maquereau espagnol <i>Scomber colias</i>	0	20	0	0	10
Sprat <i>Sprattus sprattus</i>	0	0	20	0	2,5
Mulet <i>Mugil cephalus</i>	0	0	0	20	7
Merlu commun <i>Merluccius merluccius</i>	0	0	0	20	3
Merlan <i>Merlangius merlangus</i>	10	10	10	5	5
Sardine <i>Sardina pilchardus</i>	20	10	10	0	2,5
Total %	100	100	100	100	100

Tableau 3 : Composition de cinq rations « captivité », pourcentage de poissons par rapport au poids de la ration.

Composition	Proportions par rapport au poids
Hareng Atlantique (<i>Clupea harengus</i>)	50
Capelan (<i>Mallotus villosus</i>)	50
TOTAL	100

Tableau 4 : Composition de la ration « historique ».

Le parc Marineland possède également d'autres espèces de poissons et mollusques disponibles sur le parc. La liste de ces espèces est disponible ci-après :

NOM COMMUN	NOM LATIN	NOM ANGLAIS
Anchois	<i>Engraulis encrasicolus</i>	Anchovy
Athérine (ou Joëls)	<i>Atherina presbyter</i>	Sand smelt
Bar commun	<i>Dicentrarchus labrax</i>	European bass
Calmar	<i>Loligo spp.</i>	Squid
Capelan	<i>Mallotus villosus</i>	Capelin
Chinchard	<i>Trachurus trachurus</i>	Horse mackerel
Eperlan d'Europe	<i>Osmerus eperlanus</i>	European smelt
Hareng Atlantique	<i>Clupea harengus</i>	Atlantic herring
Hareng Baltique	<i>Clupea harengus membras</i>	Baltic sea herring
Maquereau Atlantique	<i>Scomber scombrus</i>	Atlantic mackerel
Pagre commun/ rouge	<i>Pagrus pagrus</i>	Red porgy/ Common seabream
Poulpe/ pieuvre	<i>Octopus vulgaris</i>	Octopus
Tacaud commun	<i>Trisopterus luscus</i>	Pout
Truite	<i>Salmo trutta</i>	Trout

Tableau 5 : Liste des autres espèces de poissons disponibles au parc Marineland.

b. Populations sauvages

Les études faites sur l'alimentation des dauphins sauvages mettent en avant des régimes différents en fonction des localisations de populations. Deux rations différentes ont été déterminées à partir de la bibliographie et avec l'aide du parc Marineland, concernant les populations sauvages de la Mer Méditerranée et de l'océan Atlantique (tableau 6).

Ration « Méditerranée »

Composition	Proportions par rapport au poids
Merlu commun (<i>Merluccius merluccius</i>)	20
Chinchard (<i>Trachurus trachurus</i>)	20
Congre européen (<i>Conger conger</i>)	20
Pageot (<i>Pagellus</i> spp.)	20
Merlan (<i>Merlangius merlangus</i>)	15
Anchois (<i>Engraulis encrasicolus</i>)	2,5
Sardine (<i>Sardina pilchardus</i>)	2,5
TOTAL	100

Sources : (Bearzi et al. 2009 ; Pauly 1998)

Ration « Atlantique »

Composition	Proportions par rapport au poids
Merlu commun (<i>Merluccius merluccius</i>)	25
Morue Atlantique (<i>Gadus morhua</i>)	25
Congre européen (<i>Conger conger</i>)	20
Merlan bleu (<i>Micromesistius poutassou</i>)	20
Tacaud (<i>Trisopterus luscus</i>)	5
Cephalopodes (<i>Octopus vulgaris</i> , <i>Loligo vulgaris</i>)	5
TOTAL	100

Sources : (Santos et al. 2007 ; 2001 ; Bussy 2014 ; Pauly 1998)

Tableau 6 : Composition des deux rations « sauvage ».

2) Compositions nutritionnelles des poissons

a. *Nutriments choisis pour l'étude*

Pour étudier les risques d'origine nutritionnelle d'apparition de lithiase à urates d'ammonium, plusieurs nutriments nous intéressent.

Tout d'abord, les apports en protéines totales, en lipides totaux, en eau, en cendres brutes et en énergie de chaque poisson ont été évalués. Les poissons contiennent une quantité négligeable de glucides (ANSES 2010). Ces informations permettent de comparer les poissons entre eux, ainsi que de mesurer les apports fournis par un régime alimentaire spécifique.

Les risques de formation de calculs d'urate d'ammonium augmentent lorsque l'alimentation fournit une charge acide. En effet une charge acide chronique peut entraîner une augmentation de la concentration en ammonium urinaire et du pH. Une charge élevée en purines peut provoquer une augmentation de l'excrétion urinaire d'acide urique. Ces deux événements peuvent mener à une sursaturation en urates d'ammonium ainsi qu'à leur précipitation et donc à la formation de calculs (Le-Bert et al. 2018). L'apport en purines de chaque poisson a donc été recherchée, mais un nombre insuffisant de données a été trouvé : l'influence de l'apport en purines n'a donc pas pu être étudié.

Le métabolisme des protéines animales riches en soufre peut conférer une charge acide endogène notable par l'oxydation du soufre en sulfate, générant un excès de protons (Smith et al. 2014). L'apport en acides α -aminés soufrés de chaque poisson a de ce fait été recherché. Les acides α -aminés soufrés apportés par l'alimentation sont la méthionine (MET) et la cystéine (CYS). La cystine est un acide aminé composé de deux monomères de cystéine (Parcell, Cand 2002). Les structures moléculaires de ces acides aminés sont données dans la figure 14.

Enfin, une consommation augmentée d'anions (chlorure, phosphate et sulfate) par rapport aux cations (calcium, magnésium, potassium et sodium) augmente l'excrétion de protons et d'ions ammonium dans l'urine. La Différence Alimentaire Cations Anions (DACA) peut donc également affecter le risque de formation de calculs à urate d'ammonium. La composition minérale en anions et cations précédemment cités a également été recherchée (Ardente et al. 2017 ; Apper-Bossard et al. 2004).

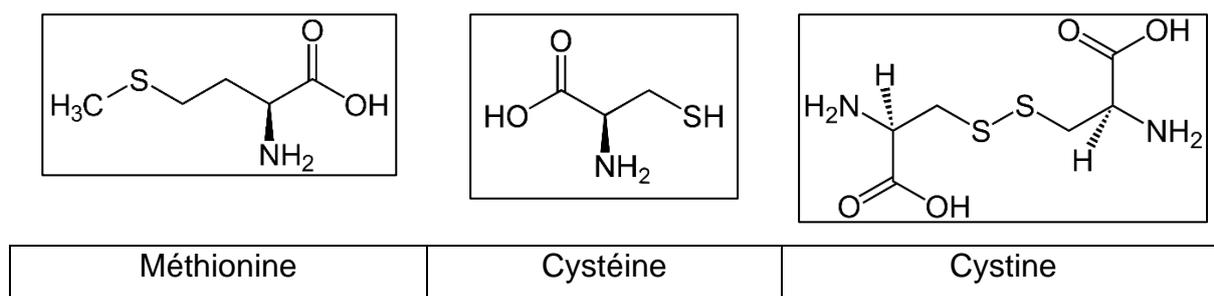


Figure 14 : Structures moléculaires des acides α -aminés soufrés apportés par l'alimentation.

b. Sources de données

Les compositions nutritionnelles de chaque poisson ont été élaborées principalement à partir de tables nutritionnelles nationales, de livres ou encore d'articles scientifiques. Toutes les données se rapportent à la partie comestible de l'aliment sous sa forme commerciale ou usuelle. Les analyses réalisées sur les poissons sont donc faites principalement sur les filets.

Les 3 tables nationales utilisées sont :

- La table Ciqual, de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Elle renseigne sur la composition nutritionnelle moyenne des aliments les plus consommés en France (Agence nationale de sécurité de l'alimentation, de l'environnement et du travail 2020).
- La table FoodData Central, de l'Agricultural Research Service's Beltsville Human Nutrition Research Center. Elle est réalisée par le U.S. Department of Agriculture (USDA) et renseigne sur les compositions nutritionnelles des aliments consommés aux Etats-Unis (U.S. Department of Agriculture 2018).
- La table Food Databanks National Capability (FDNC) du Quadram Institute Bioscience qui renseigne sur les compositions nutritionnelles des aliments les plus consommés en Grande-Bretagne (Public Health England 2019).

Pour chaque aliment les données les plus représentatives et les plus récentes du marché sont sélectionnées. Elles sont ensuite agrégées pour estimer une teneur moyenne, et des tests de cohérence du profil sont effectués ce qui peut donner lieu à des ajustements mathématiques des valeurs. La table portugaise quant-à-elle est le résultat d'une étude nationale réalisée en 2005 et n'a donc pas de mise à jour.

Lorsque les nutriments recherchés n'étaient pas disponibles sur ces sites, d'autres outils bibliographiques étaient utilisés :

- Le livre « La composition des aliments, Tableaux des valeurs nutritives », est un livre largement employé comme référence dans les services de nutrition canine et féline à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie Garching bei München 2008).
- La Table de « Composição e valor nutricional dos produtos da pesca mais consumidos em Portugal » réalisée en partenariat avec l'INSA (Centre de Segurança Alimentar et Nutrição do Instituto Nacional de Saúde). Elle renseigne sur les compositions nutritionnelles des produits de la pêches consommés au Portugal (Bandarra et al. 2005).

Enfin, si les compositions nutritionnelles recherchées n'étaient pas disponibles dans les tables précédentes, ceux-ci étaient piochés dans des articles scientifiques.

L'ordre de priorité de recherche des valeurs nutritionnelles étaient le suivant :

- 1) Les informations étaient d'abord recherchées dans les tables nationales car celles-ci sont fréquemment mises à jour et regroupent un échantillon conséquent de données. La table française était prioritaire car les poissons achetés par le parc proviennent du marché français.
- 2) Si les analyses étaient absentes ou incomplètes, les valeurs étaient recherchées dans le livre « La composition des aliments, Tableaux des valeurs nutritives » et dans la table portugaise.
- 3) Enfin, lorsque les données n'étaient toujours pas communiquées, celles-ci étaient relevées à partir d'articles scientifiques. Ce cas de figure s'est fréquemment présenté pour connaître la composition nutritionnelle en acides aminés soufrés des poissons.

Les valeurs nutritionnelles de chaque poisson sont disponibles en annexes, accompagnées des sources depuis lesquelles elles proviennent.

c. *Construction des tableaux des valeurs nutritionnelles des poissons*

Pour chaque poisson, un tableau a été réalisé avec les valeurs nutritionnelles spécifiques correspondantes trouvées à partir des sources mentionnées précédemment. Les tableaux détaillés de chaque poisson sont disponibles en annexe.

L'énergie métabolisable (EM) de chaque poisson est calculée selon les facteurs Atwater, c'est-à-dire que les protéines représentent 4 kcal EM/g de protéines brutes, les lipides représentent 9 kcal EM/g de matière grasse brute et les glucides représentent 4 kcal EM/g d'extrait non azoté. Cela suppose une digestibilité de 91% pour les protéines et de 96% pour les lipides et les glucides. La digestibilité et la quantité d'énergie retenue par les dauphins n'est pas connue aujourd'hui. En revanche, les dauphins ont une physiologie gastro-intestinale similaire à celle des pinnipèdes (le Lion de mer de Californie, *Zalophus californianus*). Les pinnipèdes digèrent les protéines et les lipides avec une efficacité similaire à celle des chiens domestiques, c'est-à-dire correspondant aux valeurs précédemment citées. Il semble donc approprié d'estimer l'EM des poissons en utilisant les facteurs Atwater (Ardente, Hill 2015).

Les apports en soufre de chaque poisson ont été calculés comme suit :

$$S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystine}(g) * 2}{240,3} \right]$$

ou encore,

$$S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystéine}(g)}{121,16} \right]$$

Où (32,06), (149,21), (240,3) et (121,16) sont les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine, de la cystine et de la cystéine respectivement, et (2) est le nombre d'atomes de soufre dans chaque molécule de cystine (Magee et al. 2004). Dans de nombreuses publications s'intéressant à l'apport en soufre, les acides aminés soufrés sont considérés comme la source principale de cet élément dans le régime alimentaire

(Parcell, Cand 2002). Dans cette étude, les acides aminés soufrés sont donc considérés comme seule source d'apport en soufre.

Lorsque les valeurs en ions chlorures étaient introuvables, celles-ci ont également été calculées à partir de l'apport en sel de chlorure de sodium que fournissait le poisson. La formule utilisée est la suivante :

$$Cl(g) = 35,453 \left(\frac{NaCl(g)}{35,453 + 22,989} \right)$$

Où (35,453) et (22,989) représentent les masses molaires en g/mol du chlorure et du sodium, respectivement. Le calcul de la teneur en chlorure ne concerne que quatre poissons : l'anchois (*Engraulis encrasicolus*), le tacaud (*Trisopterus luscus*), le merlan bleu (*Micromesistius poutassou*) et le capelan (*Mallotus villosus*). Les tables des valeurs nutritionnelles pour chaque poisson inclut dans les différents régimes alimentaires sont fournis en annexes.

3) Analyse des différents poissons et régimes alimentaires

a. Comparaison des poissons

Les valeurs nutritionnelles de chaque poisson sont données en gramme pour 100 grammes (g/100g) de poisson. Les teneurs en protéines, lipides et cendres brutes ont donc été converties en gramme par mégacalorie d'énergie métabolisable (g/Mcal). En effet, il semble que comme les teneurs en eau, en cendres brutes et en graisses varient considérablement d'un poisson à l'autre (pour une même espèce), il est préférable de comparer les nutriments par rapport à l'EM, et non pas par rapport à la matière sèche (Ardente, Hill 2015).

L'apport total en eau (TE) de chaque poisson est constitué de l'apport d'eau en nature présent dans le poisson mais aussi de l'eau métabolique que celui-ci peut fournir. La production d'eau métabolique est calculée à partir des quantités de protéines et de lipides fournies par le poisson. Il a été estimé chez le chat que 100 g de protéines et de lipides produisent respectivement 39,6 mL et 107,1 mL d'eau

(Garcia et al. 2020). Le chat étant un carnivore strict comme le dauphin, les mêmes valeurs de production d'eau métabolique ont été choisies dans cette étude. De plus 1 gramme d'eau est égal à 1 mL d'eau. On a alors pour chaque poisson :

$$\text{Apport total en eau (mL/100g)} = \text{apport en eau (mL/100g)} + \text{eau métabolique (mL/100g)}$$

$$\text{Eau métabolique (mL)} = \text{protéines (g)} * 0,396 + \text{lipides (g)} * 1,071$$

La Différence Alimentaire Cations Anions de chaque filet de poisson est définie par la formule suivante :

$$DACAsimple = (Na + K) - (Cl + S)$$

Où les valeurs de Na, K, Ca, Mg, Cl, P et S sont données en mEq /Mcal, calculées avec la formule suivante (Apper-Bossard et al. 2004 ; Remer, Manz 1995):

$$mEq = \left[\frac{\text{masse mg}}{\text{masse molaire } \left(\frac{g}{mol} \right)} \right] * \text{valence}$$

Les valeurs des masses molaires et des valences de chaque ion sont disponibles ci-après :

Minéral	Masse molaire (g/mol)	Valence
Na	22,990	1 +
K	39,098	1 +
Ca	40,078	2 +
Mg	24,305	2 +
Cl	35,450	1 -
S	32,060	2 -
P	30,974	1,8 -

Tableau 7 : Masse molaire et valence correspondante pour chaque ion.

Cette formule a été largement utilisée chez des espèces animales comme la vache laitière ou encore le poulet pour déterminer les variations de pH sérique ainsi que les conséquences sur la croissance ou la performance zootechnique de l'animal (Moreau 2007). L'absorption des cations (Na^+ , K^+) se fait en échange de protons et celle des anions (Cl^- , SO_4^{2-}) se fait en échange de bicarbonates (HCO_3^-). Or les bicarbonates sont les ions tampons principaux permettant de réguler le pH sanguin (Apper-Bossard et al. 2004). Lorsque la DACA diminue, cela traduit une augmentation de la concentration protons [H^+] sanguins, une diminution de la concentration en ions bicarbonates [HCO_3^-] sanguins et ainsi une diminution du pH. Ces changements s'accompagnent d'une réduction de l'excrétion urinaire en HCO_3^- , et de l'élimination d'ions hydrogènes sous forme de sels d'ammonium (Block 1994). Ces mécanismes favorisent l'apparition de calculs d'urates d'ammonium c'est pourquoi le calcul de la $\text{DACA}_{\text{simple}}$ permet d'évaluer l'influence de l'alimentation sur les risques d'apparition de néphrolithiase chez le grand dauphin.

D'autres équations de DACA existent, prenant en compte l'intégralité des ions forts (Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ , Cl^- , S, P) ainsi que les coefficients d'absorption de chacun de ces ions (cf. *supra*) (Ardente et al. 2017). Cependant les valeurs nutritionnelles des poissons trouvées dans la littérature ne représentent que les filets. Or les dauphins se nourrissent de l'intégralité de la carcasse et les variations des teneurs en calcium, phosphore et magnésium sont significativement différentes entre les filets et les carcasses entières (Martinez-Valverde 2000 ; Toppe et al. 2007). C'est pourquoi ici, seule la formule de $\text{DACA}_{\text{simple}}$ a été utilisée. Nous reviendrons sur ces choix dans la discussion.

b. Comparaison des régimes alimentaires complets

Chaque ration est constituée d'un poids total de 8,5 kg de poisson par jour. La part de poids de chaque espèce dans ces 8,5 kg totaux est déterminée à partir des pourcentages initiaux de chaque espèce composant la ration. L'EM que fournit chaque poisson est ensuite calculée en multipliant le pourcentage de poids de l'espèce dans la ration, par l'EM moyenne du poisson. Enfin, l'EM totale apportée par la ration est obtenue en sommant les proportions d'EM apportées pour chaque poisson. La même méthodologie est réalisée pour l'apport en protéines totales, en eau totale, en minéraux, ainsi que pour le calcul de $\text{DACA}_{\text{simple}}$ de la ration complète.

Dans chaque ration de 8,5kg, le total des anions, des cations, et le ratio cations/anions ont également été calculés.

C. RESULTATS

1) Apports nutritionnels des poissons du Parc Marineland

a. *Les apports énergétiques et en macronutriments des filets de poissons*

Les apports en macronutriments des poissons disponibles pour la constitution des rations alimentaires au parc sont présentés dans le tableau 8. Les poissons sont classés de la teneur en énergie la plus riche à la plus faible.

Les compositions en macronutriments révèlent des différences de teneurs en énergie, protéines, lipides et eau totale par mégacalorie. Le coefficient de variation est un indicateur de dispersion autour de la moyenne. Les coefficients de variation de chaque macronutriment sont d'environ 30%, à l'exception des lipides pour lesquels il est de 60%. Il y a donc une forte dispersion des différentes compositions en macronutriment des poissons, spécialement pour la composition en lipides.

L'énergie métabolisable disponible pour 100 g de poissons est en moyenne de 128 ± 44 kcal. Le maquereau espagnol, le sprat et la sardine sont les poissons apportant le plus d'énergie par rapport au poids. L'apport en énergie du maquereau espagnol est plus de 2 fois celui du merlan, du merlan bleu, du merlu commun ou encore du bogue.

Les poissons les moins caloriques sont les plus riches en protéines ainsi qu'en eau totale. La teneur moyenne des protéines est de 166 ± 49 g/Mcal d'EM. Le merlan, qui est le poisson le plus riche en protéines par rapport à l'EM, apporte plus de 2 fois la valeur en protéines par rapport à l'EM du rouget, de la sardine, du sprat ou du maquereau par rapport à l'énergie. A l'inverse, le maquereau espagnol est le poisson le plus riche en lipides par rapport à l'énergie (66,4 g/Mcal) et apporte plus de 10 fois plus de lipides que le merlan.

<i>Espèces de poisson</i>	<i>EM¹ kcal/100g</i>	<i>Protéines g/Mcal (EM)</i>	<i>Lipides g/Mcal (EM)</i>	<i>TE² mL/Mcal (EM)</i>
<i>Maquereau espagnol</i>	201,8	101	66,4	430
<i>Sprat</i>	186	106	64,0	469
<i>Sardine</i>	163	120	58,2	502
<i>Rouget-barbet</i>	158	116	59,3	556
<i>Mulet</i>	113	178	32,0	773
<i>Bogue</i>	90	199	22,6	975
<i>Merlu commun</i>	82,6	213	16,3	1070
<i>Merlan bleu</i>	79,6	227	10,1	1112
<i>Merlan</i>	79,3	237	5,9	1100
<i>Effectif = 9</i>				
<i>Moyenne ± écart-type</i>	128 ± 44	166 ± 49	37 ± 22	776 ± 256
<i>Coefficient de variation en % (ratio écart-type/moyenne)</i>	34	30	60	33

¹ EM : Energie métabolisable.

² TE : Eau totale.

Tableau 8 : Energie métabolisable et macronutriments des poissons disponibles au parc Marineland.

<i>Espèces de poisson</i>	<i>EM¹ kcal/100g</i>	<i>Protéines g/Mcal (EM)</i>	<i>Lipides g/Mcal (EM)</i>	<i>TE² mL/Mcal (EM)</i>
<i>Hareng atlantique</i>	176	101	66,5	517
<i>Capelan</i>	90	208	19	976

¹ EM : Energie métabolisable.

² TE : Eau totale.

Tableau 9 : Energie métabolisable et macronutriments des poissons composant la ration « historique », le hareng atlantique et le capelan.

La figure 15 permet de comparer graphiquement les apports en énergie (kcal/g), protéines et lipides (g/Mcal) des poissons du lot « captivité ». En séparant les poissons par rapport à la moyenne de chaque macronutriment, deux groupes de poissons se dégagent :

- Un premier groupe composé des poissons les plus riches en énergie et en lipides (> 128 kcal/100g et 37 g/Mcal, respectivement) et les plus pauvres en protéines (< 166 g/Mcal), que sont le maquereau espagnol, le sprat, la sardine et le rouget-barbet.
- Un second groupe composé des poissons les plus riches en protéines (> 166 g/Mcal) et les plus pauvres en énergie et en lipides (< 128 kcal/100g et 37 g/Mcal, respectivement), que sont le merlan, le merlan bleu, le merlu commun et le bogue.
- Le mullet est un poisson intermédiaire à cheval entre ces deux groupes.

Les valeurs nutritionnelles des poissons composant la ration « historique » sont données dans le tableau 9. Le hareng atlantique est un poisson fournissant une forte quantité d'énergie (176 kcal/100g) et de lipides (66,5 g/Mcal). Il apporte deux fois plus d'énergie que le capelan (90 kcal/100g). Le capelan, à l'inverse, apporte deux fois plus de protéines par rapport à l'EM que le hareng atlantique (208 g/Mcal contre 101 g/Mcal, respectivement).

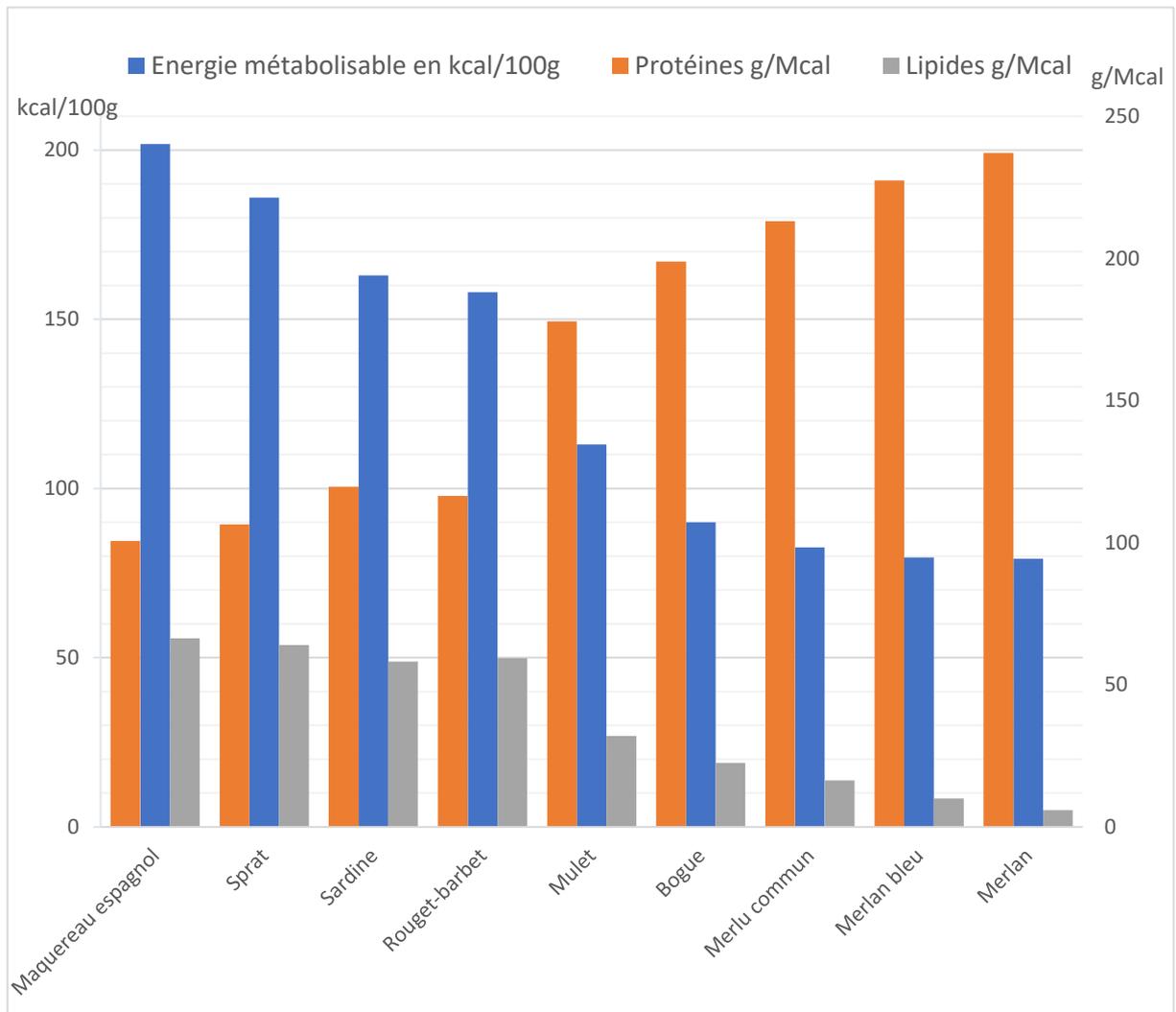


Figure 15 : Comparaisons des apports en énergie, protéines et lipides des poissons disponibles au parc Marineland.

b. Apports en micronutriments des filets de poissons des lots « captivité » et « historique »

Les apports en micronutriments de chaque poisson ainsi que la $DACA_{simple}$ associée sont disponibles dans les tableaux 10 et 11. Les poissons sont classés de la $DACA_{simple}$ la plus haute à la plus basse.

Concernant le lot « captivité », l'analyse des filets de poissons montre une hétérogénéité des teneurs en minéraux parmi les poissons. Pour chaque minéral, on observe une dispersion autour de la moyenne comprise entre 27 et 49%. Un classement des valeurs moyennes en minéraux de la teneur la plus riche à la plus faible en g/Mcal montre que $K > P > S > Cl > Na > Ca > Mg$. Le merlan est le poisson le plus riche en soufre (2,43 g/Mcal), donc en acides aminés soufrés, mais suivi de près par le merlan bleu (2,40 g/Mcal). Le rouget barbet est le poisson le moins riche en acide aminés soufrés, et est plus de 3 fois moins riche en soufre que le merlan (0,72 g/Mcal).

Il apparaît que les valeurs de $DACA_{simple}$ du lot « captivité » sont comprises entre -34,6 mEq/Mcal pour le mullet à 27,8 pour le merlan bleu, et présentent une étendue de 62,4 mEq/Mcal. Le sprat, le merlan et le mullet présentent tous les trois une valeur de $DACA_{simple}$ négative, alors que le reste des poissons ont une valeur positive. Les trois poissons présentant la $DACA_{simple}$ la plus élevée sont le merlan bleu, le bogue et la sardine.

Les poissons composant le lot « historique », le capelan et le hareng atlantique, présentent les concentrations les plus élevées en chlorure de tous les poissons étudiés ici. Les moyennes des teneurs en soufre des poissons actuellement utilisés et des poissons anciennement utilisés sont similaires (1,436 g/Mcal pour le lot « captivité » et 1,491 g/Mcal pour le lot « historique »). Les concentrations en Na et K du capelan et du hareng atlantique appartiennent à l'intervalle des valeurs de Na et K des poissons du lot « captivité ».

Concernant les calculs de $DACA_{simple}$, le capelan et le hareng atlantique présentent tous les deux des valeurs négatives. De plus, les valeurs calculées de $DACA_{simple}$ sont les plus négatives parmi les poissons présentés ici. Il y a un écart de 18,4 meq/Mcal entre le capelan et le mullet, qui est le poisson possédant la $DACA_{simple}$ la plus faible du lot « captivité ».

Minéraux /Mcal	Ca (mg)	P (g)	Mg (mg)	K (g)	Na (g)	Cl (g)	S (g)	DACA _{simple} (mEq/Mcal) ¹
Merlan bleu	222	7,588	461	4,874	1,709	0,762	2,399	27,8
Bogue	583	2,556	250	3,433	1,222	1,333	1,233	26,4
Sardine	353	1,755	221	3,583	0,620	0,798	1,202	21,1
Merlu commun	306	1,937	277	4,019	1,194	1,005	1,768	16,1
Maquereau espagnol	193	1,397	183	1,784	0,387	0,421	0,728	5,1
Rouget-barbet	144	1,380	194	2,171	0,420	0,886	0,722	3,8
Sprat	522	1,290	199	1,720	1,075	1,452	0,866	-4,2
Merlan	227	2,472	400	5,256	0,802	1,375	2,434	-21,2
Mulet	120	1,513	236	2,699	0,623	1,150	1,575	-34,6
Moyenne	297	2,432	269	3,283	0,895	1,020	1,436	4,5
écart-type	128	1,182	74	1,057	0,360	0,273	0,540	20,3
Coefficient de variation en % (ratio écart-type/moyenne)	43	49	27	32	40	27	38	

¹ La formule de DACA_{simple} est la suivante : $DACA = (Na + K) - (Cl + S)$ où Na, K, Cl et S sont en milliéquivalents par mégacalorie.

Tableau 10 : Compositions minérales des différents poissons du lot « captivité », en mg/Mcal, et DACA_{simple} associée, en mEq/Mcal.

Minéraux /Mcal	Ca (mg)	P (g)	Mg (mg)	K (g)	Na (mg)	Cl (g)	S (g)	DACA _{simple} (mEq/Mcal) ¹
Capelan	667	2,556	333	3,222	667	1,822	1,811	-53,0
Hareng Atlantique	350	1,335	153	1,943	507	1,881	1,170	-54,3
Moyenne	508	1,945	243	2,583	587	1,851	1,491	-53,6

¹ La formule de DACA_{simple} est la suivante : $DACA = (Na + K) - (Cl + S)$ où Na, K, Cl et S sont en milliéquivalents par mégacalorie.

Tableau 11 : Compositions minérales des différents poissons du lot « historique », en mg/Mcal, et DACA_{simple} associée, en mEq/Mcal.

Nous avons choisi de classer ces poissons en trois groupes, par rapport aux données du lot « captivité » ; le groupe 1 contient les poissons avec une DACA faible, le groupe 2 contient les poissons présentant une DACA intermédiaire et le groupe 3, les poissons fournissant une DACA élevée. L'étendue de la $DACA_{simple}$ du lot « captivité » est divisée par trois (62,4 mEq/Mcal), et chaque poisson est réparti dans le groupe correspondant à sa valeur.

	Groupe faible	Groupe intermédiaire	Groupe fort
<i>Intervalle $DACA_{simple}$¹ (mEq/Mcal)</i>	$\leq -13,8$	$[-13,8 ; 7]$	$7 \leq$
<i>Espèce</i>	Mulet Merlan Capelan Hareng Atlantique	Sprat Rouget barbet Maquereau espagnol	Merlu commun Sardine Bogue Merlan bleu

¹ La formule de $DACA_{simple}$ est la suivante : $DACA = (Na + K) - (Cl + S)$ où Na, K, Cl et S sont en milliéquivalents par mégacalorie.

Tableau 12 : Répartition des espèces de poissons en trois groupes par rapport à la valeur de la $DACA_{simple}$ individuelle (mEq/Mcal).

Bien que les acides α -aminés soufrés ont pour conséquence une acidification du pH sanguin, la comparaison seule de la teneur en soufre ne permet pas de conclure de l'effet d'un poisson sur l'organisme. En effet le merlan bleu est trois fois plus riche en soufre que le rouget barbet (2,40 contre 0,72 g/Mcal respectivement) et pourtant présente une $DACA_{simple}$ environ 4 fois plus élevée que le rouget. Le merlan bleu est également deux fois plus riche en soufre que le capelan (2,40 contre 1,17 g/Mcal) mais présente une $DACA_{simple}$ positive, et le capelan une $DACA_{simple}$ négative, avec une étendue entre les deux valeurs de $DACA_{simple}$ de 82,1 meq/Mcal.

c. *Apports totaux des différentes rations « captivité » à partir des filets de poisson*

Les compositions détaillées de chaque ration sont disponibles dans les tableaux 13 et 14. Les valeurs sont données pour la ration complète, c'est-à-dire pour 8,5 kg de poissons.

pour une ration de 8,5 kg	Ration 1	Ration 2	Ration 3	Ration 4	Ration 5	Moyenne	Coefficient de variation en %
EM¹ Mcal	9,779	11,148	10,879	8,893	9,678	10,075	7,4
Protéines g	1568	1594	1149	1569	1576	1491	9,2
Lipides g	390	530	505	290	375	418	19
TE² L	7,37	7,40	7,41	7,47	7,45	7,42	0,46
Cendres g	113,6	108,5	102,9	98,3	99,7	105	4,93
Ca, g	3,16	3,18	4,17	2,24	2,89	3	14
P, g	26,37	23,60	22,88	21,78	27,25	24	8
Mg, g	2,60	2,61	2,61	2,35	2,57	3	3
K, g	33,78	31,64	30,96	28,63	29,91	31	4
Na, g	8,50	7,81	9,89	7,87	8,78	9	7
Cl, g	9,61	9,43	12,58	9,28	9,15	10	10
S, g	12,99	12,20	12,44	12,59	12,60	13	2
Cations totaux	48,04	45,24	47,62	41,10	44,15	45	4,61
Anions totaux	48,96	45,23	47,89	43,64	49,01	47	4,28
Cations/ Anions	0,98	1,00	0,99	0,94	0,90	0,96	3,52
DACA_{simple}³	152,50	122,04	91,30	27,81	102,69	99,27	31,8

¹ EM : Energie métabolisable.

² TE : Eau totale.

³ La formule de DACA_{simple} est la suivante : $DACA = (Na + K) - (Cl + S)$ où Na, K, Cl et S sont en milliéquivalents par mégacalorie.

Tableau 13 : Comparaison des apports nutritionnels des rations « captivité ».

Nutriments	Ration « historique »
EM ¹ Mcal	11,305
Protéines g	1547
Lipides g	570
TE ² L	7,60
Cendres g	119
Ca, g	5,17
P, g	19,76
Mg, g	2,42
K, g	26,86
Na, g	6,34
Cl, g	21,04
S, g	15,68
Cations totaux	40,79
Anions totaux	56,48
Cations/Anions	0,72
DACA _{simple} ³	-608,96

¹ EM : Energie métabolisable.

² TE : Eau totale.

³ La formule de DACA_{simple} est la suivante : $DACA = (Na + K) - (Cl + S)$ où Na, K, Cl et S sont en milliéquivalents par mégacalorie.

Tableau 14 : Apports totaux de la ration « historique » 50/50 harengs atlantiques/ capelans.

Les compositions en macronutriments des rations « captivité » sont relativement similaires. En effet la dispersion autour de la moyenne pour les teneurs en énergie, protéines, eau totale et cendres brutes est inférieure à 10%. Les teneurs en eau de chaque ration ne varient que de 1%, et elles apportent toutes un volume d'eau total supérieur à 7 L. La ration offrant le plus d'énergie est la ration 2 (11,2 Mcal), suivie par la ration 3 (10,9 Mcal), les rations 1 et 5 (9,8 Mcal) et la ration 4 (8,9 Mcal).

La ration « historique » composée à 50% de capelans et 50% de harengs atlantiques est celle qui apporte le plus d'énergie de toutes les rations étudiées précédemment (11,305 Mcal), et qui présente également l'apport en lipides le plus important (570 g contre une moyenne de 418 g pour les rations « captivité »). Les teneurs totales en lipides des rations « captivité » sont plus dispersées (19,05%) que les autres apports en macronutriments.

Les apports protéiques sont compris entre 1,2 et 1,6 kg pour toutes les rations « captivité » ou « historique ». Comme le montre le tableau 15, la ration 4 fournit le plus de protéines par rapport aux lipides (ratio de 5,4) et la ration 3 a le ratio le plus faible (2,3). La ration « historique » présente un ratio protéines/lipides de 2,7.

	Ration 1	Ration 2	Ration 3	Ration 4	Ration 5	moyenne
<i><u>protéines</u></i>	4,0	3,0	2,3	5,4	4,2	4
<i><u>lipides</u></i>						

Tableau 15 : Ratio des apports en protéines/apports en lipides pour chaque ration du lot « captivité ».

Les apports totaux de chacun des minéraux des rations « captivité » sont disponibles dans le tableau 13. La dispersion des valeurs concernant la teneur en calcium est de 14%. Pour chacun des autres minéraux, les coefficients de dispersion sont inférieurs ou égaux à 10%. Les rations semblent avoir des apports similaires en minéraux. Cependant, bien que le ratio cations/anions soit proche de 1 pour les rations 1, 2 et 3 (0,98 ; 1 ; 0,99 respectivement), il diminue concernant la ration 4 et la ration 5 (0,94 et 0,90 respectivement). Il y a proportionnellement légèrement plus d'anions que de cations dans ces deux dernières rations.

Dans notre étude, la ration « captivité » présentant la $DACA_{simple}$ la plus basse est la ration 4 ($DACA_{simple} = 27,81 \text{ mEq}/8,5\text{kg}$). La valeur la plus haute concerne la ration 1 ($DACA_{simple} = 152,50 \text{ mEq}/8,5\text{kg}$). La dispersion des valeurs est de 30% entre toutes les rations. Cependant, il est important de noter que l'ensemble des rations « captivité » présente une $DACA_{simple}$ positive.

Avec le tableau de classement des poissons par rapport à la $DACA_{simple}$ individuelle (tableau 12), on peut déterminer la part de poisson appartenant aux groupes « faible », « intermédiaire », ou « fort », de chacune des rations « captivité » (tableau 3). Les rations sont classées par ordre de $DACA_{simple}$ totale décroissant, ci-dessous (tableau 16).

Proportions de chaque type de poisson	$DACA_{simple}$ mEq/ration 8,5kg	Groupe « faible »	Groupe « intermédiaire »	Groupe « fort »
Ration 1	152,50	10 %	20 %	70 %
Ration 2	122,04	10 %	40 %	50 %
Ration 5	102,69	12 %	27,5 %	60,5 %
Ration 3	91,30	10 %	40 %	50 %
Ration 4	27,81	25 %	20 %	55 %
Ration « historique »	-608,96	100%	0%	0%

Tableau 16 : Classement des rations par rapport aux $DACA_{simple}$ et proportions de poissons appartenant au groupe $DACA$ « faible », « intermédiaire » ou « fort », dans chaque ration.

La ration 4, possédant la $DACA_{simple}$ la plus faible contient le plus de poissons appartenant au groupe « faible ». La ration 1, possédant la $DACA$ la plus forte, contient le plus de poissons appartenant au groupe « fort ». Enfin bien que les rations 2 et 3 aient les mêmes proportions de poissons de chaque groupe, les valeurs de $DACA_{simple}$ sont différentes. Ces deux sont composées des mêmes poissons en mêmes proportions pour 5 poissons sur 6. La seule variation de composition est que la ration 2 est composée de 20% de maquereaux espagnols (5,1 mEq/Mcal) contre 20% de sprats (-4,2 mEq/Mcal) pour la ration 3. Or les $DACA_{simple}$ individuelles de ces poissons sont différentes de 9,3 mEq/Mcal, le maquereau espagnol possédant la valeur la plus

haute. De plus la $DACA_{simple}$ du sprat est négative. Ces différences expliquent pourquoi la ration 2 et 3 n'ont pas une $DACA_{simple}$ similaire.

Concernant la ration « historique », les apports en K (26,86 g) et Na (6,34 g) sont moins élevés que les apports en K (31 g) et Na (9 g) moyens des rations « captivité ». A l'inverse, les apports en Cl et S sont plus élevés pour la ration « historique » (21,04 g et 15,68 g, respectivement) que pour les rations « captivité » (moyennes égales à 10 et 13 g respectivement). Cette ration « historique » possède un ratio cations/anions nettement plus bas (0,72) que les autres rations « captivité » (moyenne égale à 0,96). Enfin, cette ration possède la $DACA_{simple}$ la plus basse de toutes les rations « captivité » étudiées précédemment.

2) Apports nutritionnels à l'état sauvage, à partir des filets de poisson et comparaison avec les apports en captivité

a. Apports énergétiques et en macronutriments des filets de poissons

Espèces de poisson	EM ¹ kcal/100g	Protéines g/Mcal (EM)	Lipides g/Mcal (EM)	TE ² mL/Mcal (EM)
Sardine	163	119,6	58,2	502
Anchois	129	144,2	47,1	664
Congre	115	159,1	40,0	742
Mulet	113	177,9	32,0	773
Pageot	99,5	188,9	27,1	876
Chinchard	87	213,8	16,1	985
Merlu commun	82,6	213,1	16,3	1070
Tacaud	81,6	241,4	4,0	1067
Merlan bleu	79,6	227,4	10,1	1112
Merlan	79,3	237,1	5,9	1100
Morue	77,6	233,2	7,3	1129
Poulpe	73,2	213,1	16,4	1237
Calmar	71,3	221,6	12,6	1243
Effectif = 14				
Moyenne ± écart-type	96 ± 21	199 ± 32	23 ± 14	962 ± 192
Coefficient de variation en % (ratio écart-type moyenne)	22	16	62	20

¹ EM : Energie métabolisable.

² TE : Eau totale.

Tableau 17 : Energie métabolisable et macronutriments des principales espèces de poissons consommées par les dauphins sauvages.

De même que pour les poissons de l'échantillon « captivité », les poissons du lot « sauvage » ont des différences interindividuelles dans les compositions en énergie et macronutriments. Les coefficients de variation de l'EM, des protéines et de la TE sont compris entre 16 et 22%. De même la dispersion la plus importante concerne les teneurs en lipides, et elle est de 62%. Cependant, les dispersions en macronutriments des poissons des dauphins sauvages (tableau 17) sont inférieures à celles des poissons des dauphins en captivité (tableau 8), comme le montre le tableau s.

Coefficient de variation %	EM kcal/100g	protéines g/Mcal	Lipides g/Mcal	TE mL/Mcal
Poissons lot « captivité »	34	30	59	33
Poissons lot « sauvage »	22	16	62	20

Tableau 18 : Comparaison des coefficients de variation entre le lot de poisson « captivité » et le lot de poisson « sauvage ».

Il semble que dans cette étude, les poissons consommés par les dauphins sauvages ont des compositions interindividuelles plus similaires que les poissons donnés aux dauphins en captivité, car la dispersion des données autour de la moyenne est moindre.

Le lot « sauvage » a une EM moyenne de 96 ± 21 kcal/100g de poisson contre 128 ± 44 kcal/100g du lot « captivité ». Le lot « captivité » fournit en moyenne 33% d'énergie en plus que le lot « sauvage ». De même, le lot « captivité » fournit en moyenne 60% de lipides en plus que le lot « sauvage » (37 g/Mcal contre 23 g/Mcal respectivement). En revanche les teneurs en protéines et en eau du lot « sauvage » sont environ 20% supérieures aux teneurs du lot « captivité » (199 contre 166 g/Mcal et 962 contre 776 mL/Mcal, respectivement).

La figure 16 compare graphiquement les apports en énergie (kcal/ 100g), protéines et lipides (g/Mcal), les valeurs des axes sont les mêmes que pour la figure 15. Si on sépare en deux groupes comme pour le lot « captivité » par rapport aux moyennes on s'aperçoit :

- Que le groupe des poissons relativement riches en EM et lipides (valeurs respectivement supérieures à 96 kcal/100g et 23 g/Mcal) et relativement pauvres en protéines (valeurs inférieures à 199 g/Mcal) ne contient que 5 poissons sur 13 : la sardine, l'anchois, le congre, le mullet et le pageot.
- L'ensemble des autres poissons et mollusques appartiennent au groupe relativement riche en protéines (valeurs supérieures à 199 g/Mcal) et pauvre en EM et lipides (valeurs respectivement inférieures à 96 kcal/100g et 23 g/Mcal).

Visuellement, on observe aisément que le lot « sauvage » présente plus de poissons maigres et riches en protéines que le lot « captivité ».

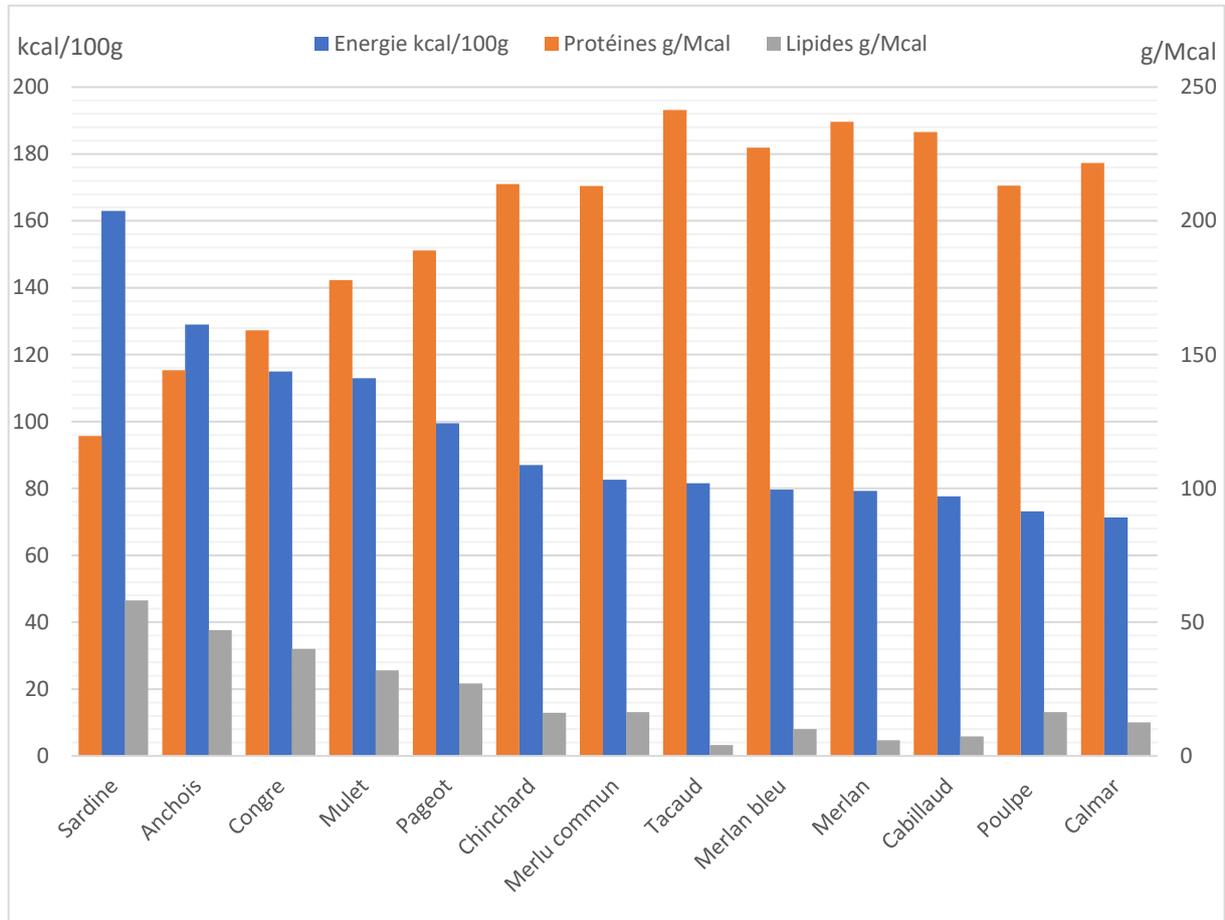


Figure 16 : Comparaisons des apports en énergie, protéines et lipides des principales espèces de poissons consommées par les dauphins sauvages.

b. Apports en micronutriments des filets de poissons du lot « sauvage »

Minéraux /Mcal	Ca (mg)	P (g)	Mg (mg)	K (g)	Na (g)	Cl (g)	S (g)	DACA _{simple} ¹ (mEq/Mcal)
Merlan bleu	222	7,588	461	4,874	1,709	0,762	2,399	27,8
Sardine	353	1,755	221	3,583	0,620	0,798	1,202	21,1
Merlu	306	1,937	277	4,019	1,194	1,005	1,768	16,1
Pageot	73	2,573	322	3,709	1,045	1,196	1,980	-16,9
Morue	57	2,101	330	4,601	0,840	1,418	2,113	-17,6
Merlan	227	2,472	400	5,259	0,802	1,375	2,434	-21,2
Chinchard	793	3,023	379	4,632	0,920	1,506	2,207	-21,7
Congre	617	2,348	174	2,087	0,435	0,870	1,252	-30,4
Anchois	671	1,256	173	2,279	0,566	0,847	1,457	-31,9
Mulet	120	1,513	236	2,699	0,623	1,150	1,575	-34,6
Poulpe	178	2,254	587	3,224	3,497	5,984	1,694	-39,9
Tacaud	327	1,814	325	3,750	0,999	1,471	2,230	-41,3
Calmar	252	3,661	687	3,156	2,749	4,404	2,482	-78,8
moyenne	323	2,638	352	3,682	1,231	1,753	1,907	-20,7
écart-type	176	0,978	116	0,779	0,656	1,059	0,384	20,6
Coefficient de variation en % (ratio écart-type/moyenne)	55	37	33	21	53	60	20	

¹ La formule de DACA_{simple} est la suivante : $DACA = (Na + K) - (Cl + S)$ où Na, K, Cl et S sont en milliéquivalents par mégacalorie.

Tableau 19 : Compositions minérales des différents poissons du lot « sauvage » en mg/Mcal, et DACA_{simple} associée en mEq/Mcal.

Concernant les teneurs moyennes de chaque minéral, les coefficients de variation varient entre 20 et 60% contre 27 à 49 % pour le lot « captivité ». Les dispersions des teneurs minérales sont plus importantes pour le lot « sauvage », cependant l'effectif est également supérieur (N = 13 contre 9 pour le lot « captivité »). Le classement des concentrations moyennes en minéraux (g/Mcal) montre que $K > P > S > Cl > Na > Mg > Ca$. On obtient les mêmes proportions relatives que dans le lot « captivité », excepté pour les concentrations en Ca et Mg pour lesquelles la teneur en calcium est supérieure à la teneur en magnésium. Le calmar est la proie la plus riche en acides α -aminés soufrés, mais suivie de près par le Merlan et le Merlan bleu (environ 2,5 g/Mcal pour le calmar et 2,4 g/Mcal pour les merlans). La sardine est le poisson le moins riche en acides aminés soufrés (1,202 g/Mcal) et est 2 fois moins riche en soufre que le calmar (2,482 g/Mcal).

Pour l'intégralité des minéraux, les teneurs moyennes du lot « sauvage » sont supérieures à celles du lot « captivité ».

Les valeurs de $DACA_{simple}$ sont comprises entre -78,8 mEq/Mcal pour le calmar et 27,8 mEq/Mcal pour le merlan bleu et ont une étendue de 106,6 mEq/Mcal (contre [-34,6 ; 27,8] pour une étendue de 62,4 mEq/Mcal concernant le lot « captivité »). La moyenne des $DACA_{simple}$ est négative (-20,7 mEq/Mcal) contre 4,5 mEq/Mcal pour le lot « captivité ». En revanche, les valeurs de dispersion des $DACA_{simple}$ pour les 2 lots sont proches ; 20,3 mEq/Mcal pour le lot « captivité » et 20,6 mEq/Mcal pour le lot « sauvage ». Les variations relatives des $DACA_{simple}$ sont similaires dans les deux échantillons.

Dans le lot « captivité », 3 poissons sur 9 présentaient une $DACA_{simple}$ négative, c'est-à-dire 33% du lot. Dans le lot « sauvage », 10 poissons sur 13 présentent une $DACA_{simple}$ négative, donc 77% du lot. Si on classe les poissons du lot « sauvage » dans les groupes de $DACA_{simple}$ faible, intermédiaire ou forte, on remarque que l'ensemble des poissons présentant des $DACA_{simple}$ négatives appartiennent au groupe « faible », et l'ensemble des poissons fournissant une $DACA_{simple}$ positive appartiennent au groupe « fort ».

c. *Apports totaux des rations sauvages, à partir des filets de poisson*

Les valeurs nutritionnelles apportées par les rations « sauvage » sont disponibles ci-dessous :

pour une ration de 8,5 kg	Ration « Méditerranée »	Ration « Atlantique »	Moyenne
EM¹ Mcal	8,161	7,366	7,764
Protéines g	1567	1528	1547
Lipides g	210	138	174
TE² L	7,36	7,45	7,40
Cendres g	106,1	94,5	100
Ca, g	3,47	2,32	3
P, g	19,58	23,26	21
Mg, g	2,36	2,30	2
K, g	30,03	27,60	29
Na, g	6,83	7,95	7
Cl, g	9,26	8,94	9
S, g	14,82	13,70	14
Cations totaux	42,70	40,17	41
Anions totaux	43,66	45,89	45
Cations/Anions	0,98	0,88	0,93
DACA_{simple}³	-120,31	-54,94	-87,6

¹ EM : Energie métabolisable.

² TE : Eau totale.

³ La formule de DACA_{simple} est la suivante : $DACA = (Na + K) - (Cl + S)$ où Na, K, Cl et S sont en milliéquivalents par mégacalorie.

Tableau 20 : Comparaison des apports nutritionnels des rations « Méditerranée » et « Atlantique ».

Pour une ration journalière de 8,5 kg de poisson, les deux rations sauvages fournissent en moyenne 7,8 Mcal d'EM contre 10 Mcal d'EM pour les 5 rations « captivité » étudiées. La ration « Méditerranée » fournit le plus d'énergie (8,161 Mcal d'EM) par rapport à la ration « Atlantique ». En revanche, sa teneur en énergie reste inférieure à la ration 4 qui fournit le moins d'énergie des rations « captivité » (8,893 Mcal d'EM).

Les rations sauvages fournissent un apport protéique moyen égal à 1547 g pour une ration de 8,5 kg. Ces valeurs sont similaires à celles retrouvées pour les 5 rations « captivité » étudiées, car elles appartiennent à l'intervalle de distribution des rations « captivité » [1354 g ; 1628 g]. En revanche, les rations sauvages apportent en moyenne 174 g de lipides contre 418 g pour les rations « captivité » étudiées. Les rations sauvages fournissent autant de protéines que les rations « captivité » étudiées, pour des quantités moindres en lipides. Le ratio protéines/lipides de la ration « Méditerranée » est égal à 7, et celui de la ration « Atlantique » est égal à 11, pour une moyenne des deux rations égale à 9. La moyenne du ratio des apports protéines/lipides est égal à 4 pour les rations « captivité » étudiées. Les rations sauvages apportent en moyenne deux fois plus de protéines par rapport aux lipides que les rations « captivité » étudiées.

Concernant les apports en minéraux, les apports sont similaires pour le calcium, le phosphore, le sodium et le chlore. Des légères variations sont présentes ([moyenne \pm écart-type] ne se recoupant pas), pour les teneurs en magnésium, potassium et soufre. Les teneurs moyennes en soufre sont supérieures pour les rations « sauvage » (14 g contre 13 g), et les teneurs moyennes en magnésium et potassium sont supérieures pour les rations « captivité » étudiées. (3 contre 2 g et 31 contre 29 g respectivement). Les apports moyens en anions sont similaires entre les rations sauvages et « captivité » ([43,88 ; 46,12] g et [44,99 ; 49,01] g, respectivement). Les apports moyens en cations sont cependant plus importants pour les rations « captivité » étudiées ([42,91 ; 47,09] g), que pour les rations sauvages ([39,74 ; 42,26] g). Ces éléments sont traduits par le rapport cations/anions, qui est alors plus élevé pour les rations « captivité » étudiées que pour les rations sauvages (0,96 et 0,93 respectivement).

Enfin la $DACA_{simple}$ moyenne des rations « Atlantique » et « Méditerranée » est égale à -87,6 mEq/8,5kg. La ration « Atlantique » possède la $DACA_{simple}$ la plus basse

avec une valeur de -120,31 mEq pour une ration de 8,5kg, et toutes les rations sauvages possèdent une $DACA_{simple}$ négative. La $DACA_{simple}$ moyenne des rations « captivité » étudiées est égale à 99 mEq/8,5 kg, avec comme valeur minimale 27,81 mEq/8,5 kg atteinte par la ration 4.

Les valeurs de $DACA_{simple}$ sont donc faibles pour les rations sauvages par rapport aux rations « captivité » étudiées.

En reprenant les groupes de DACA « faible », « intermédiaire » et « fort » définis précédemment, la ration « Méditerranée » contient 37,5% de poissons appartenant au groupe « fort » et 62,5% de poissons appartenant au groupe « faible ». Le ration « Atlantique » est constituée de 45% de poissons du groupe « fort » et 55% de poissons du groupe « faible ».

Dans les deux cas, la majorité des poissons appartient au groupe « faible » ce qui explique les valeurs négatives de $DACA_{simple}$ (mEq/8,5 kg).

Concernant la $DACA_{simple}$, la ration « historique » (harengs Atlantiques et capelans) possède la valeur la plus faible de toutes les rations « captivité » et « sauvage » étudiées précédemment. Il y a une différence de 488,65 mEq/8,5 kg entre cette ration et la ration « Méditerranée » ($DACA_{simple} = -120,31$ mEq/8,5 kg), et une différence de 636,77 mEq/8,5 kg avec la ration 4 ($DACA_{simple} = 27,81$ mEq/8,5 kg). De plus, cette ration « historique » possède un ratio cations/anions nettement plus bas, et fournit un apport en soufre nettement plus élevé que les rations « sauvage ».

D. DISCUSSION

1) Différences des teneurs entre les poissons disponibles en captivité et les poissons consommés dans la nature, à partir des analyses des filets

Les résultats de cette étude sur les compositions en énergie métabolisable (EM), lipides, protéines et eau totale (TE) des poissons composant les rations « captivité » étudiées, montrent qu'une combinaison de ces poissons permet de fournir de l'eau, des protéines et des graisses en quantité équilibrée. Le classement des poissons par EM kcal/100 g de la plus riche à la moins riche, montre un classement par famille de poisson, avec : Scombridés > Clupéidés > Mullidés > Mugilidés > Sparidés > Gadidés.

Les rations « Atlantique » et « Méditerranée » fournissent moins d'EM et de lipides que les rations « captivité » et « historique » étudiées. En effet, les poissons composant les rations « sauvage » sont en moyenne moins énergétiques et relativement plus riches en protéines.

Il ne semble pas y avoir de différences majeures, entre l'apport en protéines totales ni en eau, de chacune des rations.

Les compositions en minéraux ainsi que les $DACA_{simple}$ associées ont été calculées pour chaque poisson mais également pour chaque ration. La propension de lithiases à urate d'ammonium est déterminée par les concentrations relatives d'ammonium et d'urate dans les urines, et également par le pH urinaire. L'acide urique est un produit du métabolisme des purines, or les poissons sont riches en purines, et représentent naturellement l'intégralité de l'alimentation des dauphins souffleurs. Les ions ammonium sont produits par l'action de la glutaminase sur la glutamine. Durant une acidose, les reins excrètent une plus grande concentration de protons et d'ions ammonium à rôle tampon. Or l'excrétion des protons est influencée par la Différence Alimentaire Cations Anions (DACA). L'absorption et l'excrétion de cations (Ca, K, Mg, Na), rendent l'urine plus alcaline, alors que l'excrétion d'anions (Cl, S, P) rendent l'urine plus acide. La DACA du régime alimentaire a été utilisée pour prédire les conséquences d'un changement alimentaire sur le pH sanguin et urinaire, et pour

connaître entre autres l'excrétion urinaire d'ammonium et le risque de formation d'urolithiases chez la vache laitière, le chat, le chien et l'homme.

Les comparaisons des proportions de minéraux dans chacune des rations montrent que le minéral présent en plus grande proportion est le potassium, suivi du phosphore, du soufre, du chlore et du sodium. Le calcium et le magnésium sont les deux minéraux présents en plus petites proportions dans les deux types de rations. Les analyses ayant été faites sur des filets et non sur des poissons entiers, les apports du squelette, particulièrement riche en calcium et phosphore, n'ont pas été pris en considération.

Il semble que les rations « captivité » et « sauvage » aient des profils de concentrations minérales similaires en Ca, P, Na, et Cl. Les rations « sauvage » présentent une concentration totale en soufre légèrement supérieure aux rations « captivité » mais inférieure à celle de la ration « historique ».

Les $DACA_{simple}$ des cinq rations « captivité » étudiées sont positives, la ration avec la valeur la plus basse étant la ration 4 (152,50 mEq/8,5 kg de poissons), et la ration avec la valeur la plus haute étant la ration 1.

Les $DACA_{simple}$ des deux rations « sauvage » sont négatives, la ration « Méditerranée » présentant la valeur la plus négative (-120,31 mEq/8,5 kg). La $DACA_{simple}$ de la ration « historique » est largement la plus basse de toutes les autres rations « sauvage » et « captivité ».

Au vu de tous ces résultats, il apparaît des différences entre les groupes de rations « captivité », « sauvage » et « historique ». Parmi les facteurs prédisposant aux lithiases urinaires présentés plus hauts, ceux présentant des différences notables entre les groupes sont une faible $DACA_{simple}$, un ratio cations/anions bas, et un apport élevé en soufre. Nous rappelons ici que nous n'avons pas étudié l'effet des purines alimentaires, par manque de données disponibles dans la littérature.

Si on considère les valeurs de ces paramètres des rations « sauvage » comme des valeurs de référence, il semble que les 5 rations « captivité » établies au parc Marineland sont adéquates, et apparaissent même plus « protectrices » que les rations « sauvage ». En revanche, la ration « historique » apparaît comme largement prédisposante au risque de lithiases urinaires, puisqu'elle est plus riche en soufre et

présente une $DACA_{simple}$ très négative. Cette ration « historique » composée de harengs atlantiques et de capelans, était la ration au *Marine Mammal Center* de la Navy en Californie, où les cas de lithiases ont été fréquemment rapportés dans la littérature et avec une prévalence élevée dans la population de grands dauphins de cette institution.

2) Limites de cette étude

a. *L'absence d'étude statistique*

Les valeurs nutritionnelles de chaque poisson (voir annexe) ont été relevées à partir de la bibliographie. Les tables nutritionnelles nationales ont été privilégiées, les valeurs obtenues étant déjà des moyennes d'échantillon conséquent. Cependant, toutes les valeurs nutritionnelles, inter ou intra-individuelle, ne proviennent pas des mêmes sources. Il y a donc un biais important entre ces valeurs, inhérent aux méthodologies initiales d'analyse, aux différents manipulateurs ou encore aux études mathématiques choisies par chaque auteur.

De plus, pour chaque nutriment de chaque poisson, une seule valeur est disponible. Ces données ne peuvent donc pas faire l'objet d'études statistiques, ce qui aurait permis de faire état de différences significatives ou non entre deux poissons ou entre deux rations.

b. *Variations des teneurs en macro- et micronutriments des poissons au cours des saisons*

Concernant les proportions d'énergie métabolisable, de lipides, de protéines totales et d'eau, la littérature fait état de variations importantes inter-espèces mais aussi intra-individuelles, c'est-à-dire au sein de la même espèce.

En effet, la composition en macronutriments d'un poisson dépend de la disponibilité en nourriture, de la température de l'eau, de la saison, du cycle de reproduction et du lieu de vie (Leu et al. 1981). Les principaux éléments qui varient en fonction des cycles saisonniers sont la teneur en lipides et en eau. La teneur en lipides est inversement proportionnelle à la teneur en eau. Chez le maquereau atlantique (*Scomber scombrus*), la teneur en lipides est minimale entre les mois de mars et d'avril, mais augmente progressivement par la suite avec une concentration maximale

pendant les mois de septembre, octobre et novembre. Le capelan (*Mallotus villosus*) subit une augmentation de la teneur en graisse et une diminution de la teneur en eau avant le frai (rapprochement sexuel). Il présente la plus grande densité énergétique lors de cette période de reproduction en mars et avril (Montevecchi, Piatt 1984 ; Leu et al. 1981).

Dans cette étude, les variations intra-individuelles de chaque poisson ne peuvent pas être analysées, car une seule valeur moyenne est retenue pour chaque nutriment.

Van Pelt *et al.* ont étudié en 1997 la composition de plusieurs poissons pélagiques (vivant en pleine mer et à proximité de la surface) du Pacifique Nord. Leurs résultats montrent que la densité énergétique des poissons est positivement corrélée à la teneur en lipides, et négativement corrélée à la teneur en eau, en protéines et en cendres brutes. La teneur en eau varie de 71 à 86%, la teneur en lipides varie de 6% de matière sèche à 53%. La teneur en protéines de 40% de matière sèche à 80% et la teneur en cendres brutes de 7% de matière sèche à 22%. La densité énergétique sur une base de matière sèche varie de 16 kJ/g à 28 kJ/g et sur base humide de 2,4 à 8,1 kJ/g. Les jeunes poissons semblent avoir une teneur en lipides moindre que les poissons plus âgés (Van Pelt et al. 1997).

Le *Nutrition Advisory Group Handbook* sur l'alimentation des espèces piscivores indique que les poissons entiers apportent entre 40 et 80% de protéines (sur une base de matière sèche), selon les espèces. Les apports en lipides varient également de 2 à 50% de matière sèche, selon les espèces de poissons. L'anchois, le hareng atlantique et le maquereau présentent une densité énergétique élevée. L'apport en sodium varie de 0,2 à 5,5% de matière sèche (Bernard et al. 2002). Des variations inter-spécifiques ont également été observées dans cette étude.

D'après l'AZA (*Association of Zoos and Aquariums*) dans le *Manual Care of Penguin (Spheniscidae)*, la concentration en calcium dans les poissons varie de 0.9 à 6.4% de matière sèche. La concentration en sodium varie de 0,2 à 5,5% de matière sèche (Schneider et al. 2014).

Pour les teneurs minérales de chaque poisson, les mêmes variations sont visibles. La chair des poissons est riche en protéines digestibles mais également en minéraux. Les concentrations en K, Na, Cl, Mg, P et Ca sont en général supérieures à

1 mg/100g alors que celles en Fe, Zn, Cu et I sont en général inférieures à 1 mg/100g (Stoyanova 2018). Cependant, ces valeurs dépendent de l'espèce, du sexe, du cycle biologique et de la portion de poisson analysée. A cela s'ajoute encore une fois les facteurs écologiques comme la saison, la température, la salinité de l'eau ou encore la disponibilité des ressources alimentaires des poissons.

Les données prises dans les tables nutritionnelles nationales regroupent des valeurs analysées sur un échantillon conséquent de poissons. Cependant, les poissons sont en général pêchés pendant la période de frai, car les individus se regroupent et forment des bancs concentrés plus faciles à pêcher (SeaWeb Europe 2016). Pour chaque espèce, les moyennes des valeurs nutritionnelles obtenues sont en fait calculées sur un échantillon d'individus pendant la saison de reproduction. Comme indiqué précédemment, les poissons sont à cette période plus riches en lipides et moins riches en eau. Puisque ce sont ces poissons qui sont également consommés par les dauphins en parc, les données nutritionnelles prises dans les tables nationales sont représentatives des proies consommées par ces animaux. Cependant, les dauphins sauvages consomment des poissons tout au long de l'année. Même s'il semble qu'ils privilégient les espèces et individus à forte valeur énergétique, les proies ne sont pas forcément consommées en période de frai (Spitz 2010). Les données nutritionnelles prises dans les tables pour l'analyse des rations sauvages sont alors probablement majorées en ce qui concernent les teneurs en lipides des poissons.

c. Variations des teneurs minérales entre les filets et les carcasses entières

Dans cette étude, les compositions des poissons correspondent à celles des filets de poissons, alors que les dauphins consomment des poissons entiers, c'est-à-dire avec la peau, les viscères et le squelette.

L'étude de Martinez-Valverde *et al.*, 2000, compare les contenus en minéraux de trois espèces commerciales (merlan bleu, merlu et sole), entre les filets et les carcasses entières. Les résultats montrent que les teneurs en sodium et potassium ne sont pas affectées par la présence ou l'absence d'os, alors que la teneur en magnésium augmente légèrement lorsque les os ou les écailles sont pris en compte dans l'analyse nutritionnelle (Martinez-Valverde 2000).

Le tissu osseux est composé d'hydroxyapatite, qui présente un ratio calcium/phosphore de 2,15/1. La concentration moyenne en Ca et en P augmente de

manière significative dans les analyses ajoutant le squelette du poisson. Dans cette étude, les ratios Ca/P calculés pour les filets appartiennent à l'intervalle [0,03 - 0,7]. Ces valeurs obtenues sont proches de la limite minimale pour les analyses sans tissu osseux et de la limite maximale pour les analyses avec tissu osseux (Martinez-Valverde 2000).

Aucune étude à ce jour ne fait état des variations d'ions chlorures entre l'analyse des filets seuls et l'analyse des poissons entiers.

L'étude de Njaa et Utne réalisée en 1982 compare la composition en acides aminés de plusieurs espèces de poissons, sur poissons entiers et sur poissons éviscérés et lyophilisés. Leurs résultats indiquent que les compositions en cystine et méthionine des poissons d'une même famille sont similaires. De plus les proportions relatives de ces acides aminés restent les mêmes après éviscération (Njaa, Utne 1982).

Enfin Toppe J. *et al.*, 2006, compare les compositions chimiques, minérales et en acides aminés des os de huit espèces de poissons. Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différences significatives des teneurs en acides aminés entre les huit espèces de poissons analysées. Les compositions des os en calcium et phosphore de ces espèces n'étaient que faiblement différentes. Enfin, les teneurs osseuses en lipides sont plus importantes chez les poissons gras que chez les poissons maigres (Toppe et al. 2007).

Dans cette étude, nous avons utilisé la formule $DACA_{simple}$ suivante : $DACA_{simple} = (Na+K) - (Cl+S)$, et non une formule de $DACA_{totale}$ (cf. *supra*) pour comparer les poissons. Seules les données nutritionnelles des filets étaient disponibles dans la littérature pour l'ensemble des espèces de poissons de cette étude, alors que les données des poissons entiers n'étaient pas disponibles pour toutes les espèces. Dans la mesure où la différence entre la $DACA_{totale}$ et la $DACA_{simple}$ est principalement le Ca et le P, nous avons choisi d'utiliser la $DACA_{simple}$ afin de limiter les biais de calculs. Nous n'avons donc pas évalué l'influence du calcium et du phosphore dans les calculs de la DACA, ce qui peut avoir un effet sur les résultats de cette étude. Mais comme expliqué précédemment dans ce chapitre, les concentrations en sodium, potassium et soufre ne semblent pas varier entre les filets et les poissons entiers. Enfin les compositions des os en Ca et P sembleraient assez proches entre

les espèces de poissons, ce qui limite le biais lié à l'utilisation de la $DACA_{simple}$ au lieu de la $DACA_{totale}$.

d. Variations des teneurs minérales des poissons entre les poissons vivants et les poissons stockés

Du bateau au parc Marineland : préparation, analyses, stockage

Le calendrier d'une saison de pêche commerciale est généralement fixé pour une période spécifique de l'année en fonction du lieu et des espèces capturées. Comme évoqué précédemment, il existe des variations intra-individuelles des compositions nutritionnelles en fonction du lieu de vie de l'animal. Le lieu de pêche des poissons a donc également une influence sur la composition nutritionnelle finale.

Dès la capture des poissons sur le bateau, plusieurs traitements doivent être mis en place pour permettre leur conservation et éviter l'altération des poissons. Ces altérations peuvent être d'origine enzymatique ou bactérienne. L'histamine, la putrescine, la tyramine, la cadavérine et l'agmatine peuvent être produites par décarboxylation bactérienne lors de processus d'altération des carcasses. Or ces amines biogènes peuvent potentialiser la toxicité de l'histamine lors de la consommation du produit. La détection de ces amines biogènes chez certaines espèces de poissons est utilisée pour évaluer la sécurité alimentaire des poissons (Prester et al. 2009).

Comme pour les autres denrées alimentaires destinées à la consommation humaine, les poissons commercialisés font l'objet d'une réglementation communautaire pour contrôler la sécurité chimique et biologique des produits. La législation vise à réduire la présence de contaminants tels que les métaux lourds et métalloïdes, les contaminants organiques (Dioxines, PCB, Hydrocarbures ...), les mycotoxines, les phycotoxines, et l'histamine (cf. *supra*). La législation, pour garantir la santé des consommateurs, s'appuie sur le concept d'analyse des risques et sur la faisabilité des contrôles (ANSES 2010). Au parc Marineland, les poissons sont livrés lors de diminutions de stock par des fournisseurs de poissons. Ils arrivent congelés et sont stockés dans le parc à une température de -20°C pendant une durée de 4 à 6 mois maximum depuis la date de pêche. Les poissons possèdent le label MSC (Marine Stewardship Council), ils sont issus d'une pêche durable et sont propres à la consommation humaine. La décongélation s'effectue en quelques heures en cellule

de décongélation, comme dans l'industrie alimentaire humaine. Tous les poissons ont été congelés entiers (sans éviscération) en blocs ou individuellement à bord des bateaux de pêche, donc rapidement après la capture, sans aucun traitement de conservation.

Les dauphins du parc Marineland bénéficient donc d'une alimentation de qualité, et chaque lot de chaque espèce de poissons est analysé, permettant une sécurité alimentaire pérenne.

Effets du stockage et de la congélation sur les profils nutritionnels

La congélation des poissons a une influence sur le profil de composition nutritionnelle. La formation de cristaux de glace dans l'intégralité des tissus entraîne une augmentation de la concentration des solutés restants ; les protéines, les lipides, les glucides et les vitamines. L'eau s'écoule ensuite des tissus à des vitesses qui dépendent de la durée de stockage à l'état congelé, et des fluctuations de température, ce qui entraîne une déshydratation des poissons au fil du temps. Plus le processus de congélation est rapide, plus les cristaux de glace sont petits et en conséquence, le poisson subit moins de dommages tissulaires et de pertes d'eau lors de la décongélation.

L'oxydation des lipides se produit pendant la congélation (Parkin K. 2008). Les poissons à plus forte teneur en graisses avec un fort pourcentage de lipides polyinsaturés subissent une oxydation rapide et intense. Cette oxydation accélère la dégradation des vitamines liposolubles et les détériore. Il semble que le stockage à l'état congelé a également un effet sur la dégradation des métabolites de la purine. Les concentrations en IMP semblent diminuer et les concentrations en hypoxanthine et inosine semblent augmenter au cours du temps (Ardente 2016).

Il apparaît alors que le stockage sous forme congelée des poissons a un effet sur leur profil nutritionnel. C'est la raison pour laquelle, les poissons sont distribués aux animaux de Marineland 4 à 6 mois maximum depuis la date de pêche, selon les espèces, afin que les détériorations nutritionnelles liées au stockage à l'état congelé, restent négligeables.

3) Améliorations et perspectives

Au vu de ces nombreuses limites, il serait alors intéressant de réaliser des analyses directement sur les poissons du parc, après stockage. Avoir plusieurs données nutritionnelles réelles d'un même poisson permet de réaliser une étude statistique mettant en évidence ou non des variations significatives dans les profils nutritionnels de chaque poisson mais aussi de chaque régime alimentaire.

De plus les profils nutritionnels des poissons entiers permettent d'utiliser une équation de DACA plus complète, qui prend en compte tous les minéraux mais également leurs absorptions relatives par le système digestif de l'animal. Ardente *et al.* 2017, comparent également les profils nutritionnels de deux rations données aux dauphins en captivité, et d'une ration sauvage des dauphins de la baie de Sarasota en Floride. Dans leur étude, une autre équation de DACA a été utilisée, attribuant des coefficients d'absorption connus d'un animal domestique carnivore strict, le chat. L'absorption du sodium, potassium et chlorure est supposée être de 95%. Le soufre provient des protéines. Comme celles-ci sont correctement digérées par les mammifères marins, l'énergie a pu être calculée à partir des facteurs Atwater. La digestibilité des protéines étant de 91%, c'est pourquoi l'absorption du soufre est supposée être la même. Enfin l'absorption du calcium, du potassium et du magnésium sont respectivement de 25%, 35% et 25% (The european pet food industry federation 2016 ; Ardente *et al.* 2017). La formule utilisée devient alors :

$$DACA_{cat} \text{ (mEq/Mcal)} = (0,95Na + 0,95K + 0,25Ca + 0,25Mg) - (0,95Cl + 0,35P + 0,91S)$$

Cependant, en comparant les résultats de $DACA_{cat}$ et $DACA_{simple}$ (nommée $DACA_{short}$ dans l'étude de Ardente *et al.* 2017) de chaque ration, on s'aperçoit que les classements des rations par rapport à la $DACA_{cat}$ et la $DACA_{simple}$ sont similaires (Ardente *et al.* 2017). Il serait nécessaire de continuer la recherche pour déterminer si la formule utilisée $DACA_{cat}$ a effectivement une meilleure sensibilité et une fiabilité supérieure à la $DACA_{simple}$.

E. BILAN

Cette étude permet de comparer les valeurs nutritionnelles des différentes rations de poissons pouvant être proposées aux dauphins souffleurs du parc Marineland d'Antibes. Les comparaisons sont faites à partir des valeurs nutritionnelles des filets de poisson, trouvées dans la bibliographie. Les rations du parc Marineland semblent équilibrées les unes avec les autres. Les valeurs en protéines et énergie métabolisable varient légèrement, et peuvent alors être utilisées pour déterminer quelle ration doit être préférée en fonction des besoins du parc.

La comparaison des poissons par rapport à la valeur de la $DACA_{simple}$ individuelle montre que celles-ci peuvent être séparées en trois groupes : le groupe $DACA_{simple}$ « faible », « intermédiaire » ou « élevé ». L'appartenance d'un poisson à un groupe et sa proportion dans une ration a un effet sur la $DACA_{simple}$ totale de la ration. La création de ces groupes en fonction des $DACA$ a pour objectif de classer les poissons du parc entre eux pour aider à l'élaboration d'une ration ne prédisposant pas aux lithiases, mais cette classification n'a pas pour objectif de classer les poissons d'une plus grande population.

Plus la valeur de la $DACA$ est faible, plus le régime alimentaire dont elle est issue peut contribuer à la formation d'urolithiases. Les paramètres qui ont été identifiés comme facteurs prédisposant aux lithiases urinaires sont une $DACA_{simple}$ faible, un ratio cations/anions élevé et un apport important en soufre. Il ne semble pas y avoir de différence majeure entre l'apport en protéines totales ni en eau. Les valeurs de ces paramètres pour les rations « sauvage » sont considérées comme des valeurs de référence. Les 5 rations « captivité » établies au parc Marineland ont des paramètres adaptés, et apparaissent même plus « protectrices » que les rations « sauvage » envers un risque d'urolithiase. En revanche, la ration « historique » composée de harengs atlantiques et de capelans apparaît prédisposant largement à un risque de lithiases urinaires, puisqu'elle est plus riche en soufre et présente une $DACA_{simple}$ très négative. L'association de ces deux espèces de poissons sont par conséquent à éviter dans l'élaboration d'une ration.

Ces résultats sont donc encourageants et semblent indiquer que les régimes alimentaires « captivité » du parc Marineland n'auraient que peu d'influence sur les risques de formation de lithiases urinaires. Cette étude confirme aussi que les

nouvelles espèces de poissons introduites en 2018 sont adaptées aux besoins des animaux.

Cependant, les valeurs utilisées sont celles des filets de poissons et non des poissons entiers, ce qui pourrait éventuellement apporter des changements significatifs sur les profils nutritionnels des poissons. De plus, le manque de données multiples pour chaque nutriment de poisson empêche la faisabilité d'une étude statistique qui aiderait à l'analyse plus poussée de nos résultats. Enfin, les données en purines ainsi qu'en citrate n'ont également pas pu être évaluées par manque d'information dans la littérature.

Il serait intéressant de développer une étude analysant directement plusieurs poissons du parc, et plusieurs individus, au moment où ils sont donnés aux animaux (après décongélation). De plus, l'analyse de poissons frais composant les rations des dauphins sauvages ainsi que des analyses statistiques permettrait de déterminer si de réelles différences existent entre les valeurs nutritionnelles des différentes rations.

Des calculs de DACA plus adaptés, prenant en compte l'intégralité des minéraux ainsi que leurs absorptions relatives devraient être réalisées, permettant de réellement affirmer ou infirmer les résultats présentés. Enfin l'influence des purines alimentaires devraient être analysée.

CONCLUSION

Les dauphins souffleurs semblent développer en captivité des maladies d'origine nutritionnelle, comme le diabète de type 2, l'hémochromatose ou encore les lithiases à urates d'ammonium. D'après la littérature, cette dernière est due à un apport élevé en purines ainsi qu'en acides. Les poissons, qui sont naturellement riches en purines, sont la base de l'alimentation des dauphins. Le catabolisme des purines forme de l'acide urique. La charge acide amenée par la consommation de poissons peut être déduite de la composition en acides aminés soufrés ou encore la Différence Alimentaire Cations Anions (DACA).

Les articles comparant les rations entre les dauphins sauvages de la baie de Sarasota en Floride, et les dauphins en captivité au *Marine Mammal Center* de Californie, concluent que la composition des rations données à leur dauphins en captivité n'est pas adaptée et augmente les risques de formation d'urates d'ammonium. Le *Marine Mammal Center* compose les rations principalement à partir de harengs atlantiques ou de capelans, ou de poissons similaires.

Dans notre étude nous comparons différentes rations alimentaires du parc Marineland entre elles. Nous comparons également ces rations à deux rations composant les régimes des dauphins sauvages, et à une ration « historique » composée exclusivement de harengs atlantiques et de capelans.

Nos résultats indiquent que les rations distribuées au parc Marineland ne semblent pas augmenter les risques de formation de calculs d'urate d'ammonium. Cependant les analyses de la ration « historique » expliquent les rations données en captivité au *Marine Mammal Center* augmentent les risques d'apparition de lithiases à urates d'ammonium.

Ces résultats sont donc encourageants et semblent indiquer que les régimes alimentaires « captivité » du parc Marineland auraient tendance à réduire les risques de formation de lithiases urinaires. Cette étude confirme aussi que les nouvelles espèces de poissons introduites en 2018 semblent adaptées aux besoins des animaux.

Cependant, les valeurs utilisées sont celles des filets de poissons et non des poissons entiers, et les données en purines ainsi qu'en citrate n'ont pas pu être évaluées, par manque d'information dans la littérature. Il serait intéressant de développer une étude analysant directement plusieurs poissons du parc, et plusieurs individus, au moment où ils sont donnés aux animaux (après décongélation).

BIBLIOGRAPHIE

AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ DE L'ALIMENTATION, DE L'ENVIRONNEMENT ET DU TRAVAIL, 2020. Ciqual Table de composition nutritionnelle des aliments. In : [en ligne]. 2020. [Consulté le 14 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://ciqual.anses.fr/>.

ANSES, 2010. *Consommation des poissons, mollusques et crustacés: aspects nutritionnels et sanitaires pour l'Homme* [en ligne]. édition scientifique. S.l. [Consulté le 1 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2006sa0035Ra.pdf>.

APPER-BOSSARD, E, PEYRAUD, J L, MESCHY, F et FAVERDIN, P, 2004. Effets du Bilan Alimentaire en Cations et en Anions sur les performances zootechniques des vaches laitières selon les teneurs en énergie rapidement dégradable et en protéines des rations. In : . 2004. pp. 4.

ARDENTE, A. J., WELLS, R. S., SMITH, C. R., WALSH, M. T., JENSEN, E. D., SCHMITT, T. L., COLEE, J., VAGT, B. J. et HILL, R. C., 2017. Dietary cation–anion difference may explain why ammonium urate nephrolithiasis occurs more frequently in common bottlenose dolphins () under human care than in free-ranging common bottlenose dolphins. In : *Journal of Animal Science*. 2017. Vol. 95, n° 3, pp. 1396. DOI 10.2527/jas2016.1113.

ARDENTE, AJ, GARRETT, TJ, WELLS, RS, WALSH, M, SMITH, CR, COLEE, J et HILL, RC, 2016. A Targeted Metabolomics Assay to Measure Eight Purines in the Diet of Common Bottlenose Dolphins, *Tursiops truncatus*. In : *Journal of chromatography & separation techniques* [en ligne]. octobre 2016. Vol. 7, n° 5. [Consulté le 12 mars 2020]. DOI 10.4172/2157-7064.1000334. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5125776/>.

ARDENTE, Amanda J., 2016. *INVESTIGATION OF THE ROLE NUTRITION PLAYS IN THE DEVELOPMENT OF AMMONIUM URATE NEPHROLITHIASIS IN COMMON BOTTLENOSE DOLPHINS, TURSIOPS TRUNCATUS*. S.l. : University of Florida.

ARDENTE, Amanda J. et HILL, Richard C., 2015. The nutrient composition of the diet of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) is better assessed relative to metabolizable energy than dry matter. In : *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. juin 2015. Vol. 46, n° 2, pp. 198-204. DOI 10.1638/2014-0064R1.1.

ARGADE, Sulabha, SMITH, Cynthia R., SHAW, Timothy, ZUPKAS, Paul, SCHMITT, Todd L., VENN-WATSON, Stephanie et SUR, Roger L., 2013. Solubility of ammonium acid urate nephroliths from bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). In : *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 31 décembre 2013. Vol. 44, n° 4, pp. 853-858. DOI 10.1638/2012-0148R.1.

ASSOCIATION FRANÇAISE D'UROLOGIE, 2016. Chapitre 15 - Lithiase urinaire. In : [en ligne]. 15 septembre 2016. [Consulté le 28 septembre 2020]. Disponible à

l'adresse : <https://www.urofrance.org/congres-et-formations/formation-initiale/referentiel-du-college/lithiase-urinaire.html>.

ASSOCIATION FRANÇAISE D'UROLOGIE, 2018a. Etude prospective de traitement des sténoses urétérales localisées par endoprothèse grillagée métallique. In : [en ligne]. 17 décembre 2018. [Consulté le 7 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.urofrance.org/base-bibliographique/etude-prospective-de-traitement-des-stenoses-ureterales-localiseespar>.

ASSOCIATION FRANÇAISE D'UROLOGIE, 2018b. Syndrome métabolique et lithiase urinaire. Une notion nouvelle pour l'urologue. In : [en ligne]. 17 décembre 2018. [Consulté le 19 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.urofrance.org/base-bibliographique/syndrome-metabolique-et-lithiase-urinaire-une-notion-nouvelle-pour-lurologue>.

BANDARRA, NM, CALHAU, MA, OLIVEIRA, L, RAMOS, M, DIAS, MG, BARTOLO, H, FARIA, MR, FONSECA, MC, GONÇALVES, J, BATISTA, I et NUNES, ML, 2005. Composição e valor nutricional dos produtos da pesca mais consumidos em Portugal, INIAP/IPIMAR, INSA, FCT. In : [en ligne]. 2005. [Consulté le 21 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.ipma.pt/recursos.www/docs/publicacoes.site/pescado/inicio.htm>.

BARTGES, Joseph W., 2012. Chronic Kidney Disease in Dogs and Cats. In : *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. juillet 2012. Vol. 42, n° 4, pp. 669-692. DOI 10.1016/j.cvsm.2012.04.008.

BEARZI, Giovanni, FORTUNA, Caterina Maria et REEVES, Randall R., 2009. Ecology and conservation of common bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the Mediterranean Sea. In : *Mammal Review*. avril 2009. Vol. 39, n° 2, pp. 92-123. DOI 10.1111/j.1365-2907.2008.00133.x.

BERNARD, Joni B, ALLEN, Mary E, BAER, David J, CRISSEY, Susan D et ULLREY, Duane E, 2002. Feeding captive piscivorous animals: nutritional aspects of fish as food. In : *Nutrition advisory group handbook*. 2002. pp. 12.

BILGIN, Özlem, ÇARLI, Uğur, ERDOĞAN, Selahattin, MAVIŞ, Murat Emrah, GÖKSU GÜRSU, Gökçe et YILMAZ, Muhitdin, 2019. Determination of Amino Acids Composition in Different Tissues of Whiting, *Merlangus merlangus* euxinus (Nordmann, 1840) from the Black Sea, Turkey. In : *Alinteri Zirai Bilimler Dergisi*. 31 décembre 2019. pp. 142-147. DOI 10.28955/alinterizbd.665228.

BLOCK, Elliot, 1994. Manipulation of Dietary Cation-Anion Difference on Nutritionally Related Production Diseases, Productivity, and Metabolic Responses of Dairy Cows. In : *Journal of Dairy Science*. mai 1994. Vol. 77, n° 5, pp. 1437-1450. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(94)77082-X.

BOWYER, R.C., MCCULLOCH, R.K., BROCKIS, J.G. et RYAN, G.D., 1979. Factors affecting the solubility of ammonium acid urate. In : *Clinica Chimica Acta*. juillet 1979. Vol. 95, n° 1, pp. 17-22. DOI 10.1016/0009-8981(79)90331-0.

BUCKLEY, Catherine M. F., HAWTHORNE, Amanda, COLYER, Alison et STEVENSON, Abigail E., 2011. Effect of dietary water intake on urinary output, specific gravity and relative supersaturation for calcium oxalate and struvite in the cat. In : *British Journal of Nutrition*. 12 octobre 2011. Vol. 106, n° S1, pp. S128-S130. DOI 10.1017/S0007114511001875.

BUSSY, Jessica, 2014. *Etude de l'écologie trophique de la population de grands dauphins (Tursiops truncatus) du golfe normand breton*. S.I. : Bretagne Occidentale (UBO) Brest.

CAVE, A. J. E. et AUMONIER, F. J., 1967. The reniculus of *Tursiops truncatus*, *Stenella longirostris* and other cetaceans. In : *Journal of the Royal Microscopical Society*. avril 1967. Vol. 86, n° 4, pp. 323-342. DOI 10.1111/j.1365-2818.1967.tb01027.x.

CHOI, Hyon K., ATKINSON, Karen, KARLSON, Elizabeth W., WILLETT, Walter et CURHAN, Gary, 2004. Purine-Rich Foods, Dairy and Protein Intake, and the Risk of Gout in Men. In : *New England Journal of Medicine*. 11 mars 2004. Vol. 350, n° 11, pp. 1093-1103. DOI 10.1056/NEJMoa035700.

COCKCROFT, V. G., DE KOCK, A. C., LORD, D. A. et ROSS, G. J. B., 1989. Organochlorines in bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* from the east coast of South Africa. In : *South African Journal of Marine Science*. juin 1989. Vol. 8, n° 1, pp. 207-217. DOI 10.2989/02577618909504562.

COZZI, Bruno, HUGGENBERGER, Stefan et OELSCHL?GER, Helmut A., 2016. *Anatomy of Dolphins : Insights into Body Structure and Function* [en ligne]. S.I. : Elsevier Science. [Consulté le 28 avril 2020]. ISBN 978-0-12-407229-9. Disponible à l'adresse : <http://univ-toulouse-scholarvox.com.gorgone.univ-toulouse.fr/catalog/book/88835265>.

DAGBJARTSSON, Björn, 1975. Utilization of Blue Whiting, (*Micromesistius poutassou*), for Human Consumption. In : *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 1 juin 1975. Vol. 32, n° 6, pp. 747-751. DOI 10.1139/f75-097.

DEL CASTILLO VELASCO-MARTÍNEZ, Iris, HERNÁNDEZ-CAMACHO, Claudia J., MÉNDEZ-RODRÍGUEZ, Lía C. et ZENTENO-SAVÍN, Tania, 2016. Purine metabolism in response to hypoxic conditions associated with breath-hold diving and exercise in erythrocytes and plasma from bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). In : *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology*. janvier 2016. Vol. 191, pp. 196-201. DOI 10.1016/j.cbpa.2015.10.021.

DEUTSCHE FORSCHUNGSANSTALT FÜR LEBENSMITTELCHEMIE GARCHING BEI MÜNCHEN, Allemagne, 2008. *Food composition and nutrition tables = Die Zusammensetzung des Lebensmittel La composition des aliments: Nährwert-Tabellen : tableaux des valeurs nutritives*. 7., revidierte und ergänzte Auflage. Stuttgart Boca Raton : Medpharm Scientific Publishers CRC Press. ISBN 978-3-8047-5038-8. Y.01.00-SOU-F, 613.2 SOU

ERKAN, Nuray, ÖZDEN, Özkan et SELÇUK, Arif, 2010. Effect of Frying, Grilling, and Steaming on Amino Acid Composition of Marine Fishes. In : *Journal of Medicinal Food*. décembre 2010. Vol. 13, n° 6, pp. 1524-1531. DOI 10.1089/jmf.2009.0203.

FLEWELLING, Leanne J., NAAR, Jerome P., ABBOTT, Jay P., BADEN, Daniel G., BARROS, Nélio B., BOSSART, Gregory D., BOTTEIN, Marie-Yasmine D., HAMMOND, Daniel G., HAUBOLD, Elsa M., HEIL, Cynthia A., HENRY, Michael S., JACOBS, Henry M., LEIGHFIELD, Tod A., PIERCE, Richard H., PITCHFORD, Thomas D., ROMMEL, Sentiel A., SCOTT, Paula S., STEIDINGER, Karen A., TRUBY, Earnest W., VAN DOLAH, Frances M. et LANDSBERG, Jan H., 2005. Red tides and marine mammal mortalities. In : *Nature*. juin 2005. Vol. 435, n° 7043, pp. 755-756. DOI 10.1038/nature435755a.

FRASSETTO, L A, TODD, K M, MORRIS, R C et SEBASTIAN, A, 1998. Estimation of net endogenous noncarbonic acid production in humans from diet potassium and protein contents. In : *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1 septembre 1998. Vol. 68, n° 3, pp. 576-583. DOI 10.1093/ajcn/68.3.576.

GARCIA, Caroline A., LOUREIRO, Bruna A., PERES, Francine M., GOLONI, Camila, DI SANTO, Ludmilla G., MENDONÇA, Fernanda S. et CARCIOFI, Aulus C., 2020. Effects of crude protein and sodium intake on water turnover in cats fed extruded diets. In : *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* [en ligne]. 17 juin 2020. [Consulté le 26 novembre 2020]. DOI 10.1111/jpn.13374. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jpn.13374>.

GOLDFARB, David S., 2019. Empiric therapy for kidney stones. In : *Urolithiasis*. février 2019. Vol. 47, n° 1, pp. 107-113. DOI 10.1007/s00240-018-1090-6.

GOUSSET, J., TIXERANT, Gérard et ROBLOT, M., 2001. *Les produits de la pêche: poissons, crustacés, mollusques : identification des principales espèces ; qualité des produits*. Paris : ITSVF. ISBN 978-2-910237-02-8. Y.05.11-GOU-P

GULLAND, Frances M. D., DIERAUF, Leslie A. et WHITMAN, Karyl L. (éd.), 2018. *CRC handbook of marine mammal medicine*. Third edition. Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-4987-9687-3. SF997.5.M35 C73 2018

HEU, Min-Soo, LEE, Take-Sang, KIM, Hye-Suk, JEE, Seung-Joon, LEE, Jae-Hyoung, KIM, Hyung-Jun, YOON, Min-Seok, PARK, Shin-Ho et KIM, Jin-Soo, 2008. Food Component Characteristics of Tang from Conger Eel By-products. In : *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 30 avril 2008. Vol. 37, n° 4, pp. 477-484. DOI 10.3746/jkfn.2008.37.4.477.

IFREMER, 2012. Sennes. In : *Pour une pêche durable* [en ligne]. 2012. [Consulté le 30 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://wwz.ifremer.fr/peche/Le-monde-de-la-peche/La-peche/comment/Les-engins/Sennes>.

IUCN, 2009. *Tursiops truncatus (Mediterranean subpopulation): Bearzi, G., Fortuna, C. & Reeves, R.: The IUCN Red List of Threatened Species 2012: e.T16369383A16369386* [en ligne]. 18 novembre 2009. S.I. : International Union for

Conservation of Nature. [Consulté le 9 décembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.iucnredlist.org/details/16369383/0>.

IUCN, 2018. *Tursiops truncatus*: Wells, R.S., Natoli, A. & Braulik, G.: *The IUCN Red List of Threatened Species 2019*: e.T22563A156932432 [en ligne]. 13 mai 2018. S.I. : International Union for Conservation of Nature. [Consulté le 9 décembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.iucnredlist.org/species/22563/156932432>.

JIMÉNEZ-ZUCCHET, Natalia, ALEJANDRO-ZAYAS, Tamara, ALVARADO-MACEDO, Christian A., ARREOLA-ILLESCAS, María Renée, BENÍTEZ-ARAIZA, Lissette, BUSTAMANTE-TELLO, Lilian, CRUZ-MARTÍNES, Danilo, FALCÓN-ROBLES, Nayeli, GARDUÑO-GONZÁLEZ, Luz, LÓPEZ-ROMAHN, María Concepción, MARTÍNEZ-TAYLOR, Ana Michelle, MINGRAMM-MURILLO, Adriana, ORTÍZ, Carlos, RIVERA-GUZMÁN, Antonio L., SABATER-DURÁN, Rocío, SÁNCHEZ-JIMÉNEZ, Angélica, SÁNCHEZ-OKRUCKY, Roberto, STAGGS, Lydia, TORRES-SALCEDO, Raúl, VENCES-FERNÁNDEZ, María, RIVERA-MARCHAND, Bert et MIGNUCCI-GIANNONI, Antonio A., 2019. Baseline urinalysis values in common bottlenose dolphins under human care in the Caribbean. In : *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. mai 2019. Vol. 31, n° 3, pp. 426-433. DOI 10.1177/1040638719839110.

JOHNSTON, Patricia A., MASTROCINQUE, Attilio et PAPAIOANNOU, Sophia, 2016. *Animals in Greek and Roman Religion and Myth*. S.I. : Cambridge Scholars Publishing. ISBN 978-1-4438-9821-8.

KING, Christopher, LANASPA, Miguel A., JENSEN, Thomas, TOLAN, Dean R., SÁNCHEZ-LOZADA, L. Gabriela et JOHNSON, Richard J., 2018. Uric Acid as a Cause of the Metabolic Syndrome. In : TREVIÑO-BECERRA, A. et ISEKI, K. (éd.), *Contributions to Nephrology* [en ligne]. S.I. : S. Karger AG. pp. 88-102. [Consulté le 10 novembre 2020]. ISBN 978-3-318-06250-2. Disponible à l'adresse : <https://www.karger.com/Article/FullText/484283>.

KLOHN, M., BOLLE, J.F., REVERDIN, N.P., SUSINI, A., BAUD, C.-A. et GRABER, P., 1986. Ammonium urate urinary stones. In : *Urological Research* [en ligne]. décembre 1986. Vol. 14, n° 6. [Consulté le 9 octobre 2020]. DOI 10.1007/BF00262382. Disponible à l'adresse : <http://link.springer.com/10.1007/BF00262382>.

KOK, Dirk J., POINDEXTER, John et PAK, Charles Y.C., 1993. Calculation of titratable acidity from urinary stone risk factors. In : *Kidney International*. juillet 1993. Vol. 44, n° 1, pp. 120-126. DOI 10.1038/ki.1993.221.

LE-BERT, Carolina R., SMITH, Cynthia R., POINDEXTER, John, ARDENTE, Amanda, MEEGAN, Jenny, WELLS, Randall S., VENN-WATSON, Stephanie, JENSEN, Eric D. et SAKHAEI, Khashayar, 2018. Comparison of potential dietary and urinary risk factors for ammonium urate nephrolithiasis in two bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) populations. In : *American Journal of Physiology-Renal Physiology*. 1 août 2018. Vol. 315, n° 2, pp. F231-F237. DOI 10.1152/ajprenal.00606.2017.

LENNON, Edward J., LEMANN, Jacob et RELMAN, Arnold S., 1962. THE EFFECTS OF PHOSPHOPROTEINS ON ACID BALANCE IN NORMAL SUBJECTS*. In : *Journal of Clinical Investigation*. mars 1962. Vol. 41, n° 3, pp. 637-645.

LEU, Shing-Shen, JHAVERI, Sudip N., KARAKOLTSIDIS, Pavlos A. et CONSTANTINIDES, Spiros M., 1981. Atlantic Mackerel (*Scomber scombrus*, L): Seasonal Variation in Proximate Composition and Distribution of Chemical Nutrients. In : *Journal of Food Science*. novembre 1981. Vol. 46, n° 6, pp. 1635-1638. DOI 10.1111/j.1365-2621.1981.tb04449.x.

LÓPEZ-CRUZ, Roberto I., CROCKER, Daniel E., GAXIOLA-ROBLES, Ramón, BERNAL, Jaime A., REAL-VALLE, Roberto A., LUGO-LUGO, Orlando et ZENTENO-SAVÍN, Tania, 2016. Plasma Hypoxanthine-Guanine Phosphoribosyl Transferase Activity in Bottlenose Dolphins Contributes to Avoiding Accumulation of Non-recyclable Purines. In : *Frontiers in Physiology* [en ligne]. 8 juin 2016. Vol. 7. [Consulté le 16 octobre 2020]. DOI 10.3389/fphys.2016.00213. Disponible à l'adresse : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4898134/>.

LULICH, J.P., BERENT, A.C., ADAMS, L.G., WESTROPP, J.L., BARTGES, J.W. et OSBORNE, C.A., 2016. ACVIM Small Animal Consensus Recommendations on the Treatment and Prevention of Uroliths in Dogs and Cats. In : *Journal of Veterinary Internal Medicine*. septembre 2016. Vol. 30, n° 5, pp. 1564-1574. DOI 10.1111/jvim.14559.

MAGEE, Elizabeth A, CURNO, Richard, EDMOND, Laurie M et CUMMINGS, John H, 2004. Contribution of dietary protein and inorganic sulfur to urinary sulfate: toward a biomarker of inorganic sulfur intake. In : *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1 juillet 2004. Vol. 80, n° 1, pp. 137-142. DOI 10.1093/ajcn/80.1.137.

MALUF, N.S.R. et GASSMAN, J.J., 1998. Kidneys of the killerwhale and significance of reniculism. In : *The Anatomical Record*. janvier 1998. Vol. 250, n° 1, pp. 34-44. DOI 10.1002/(SICI)1097-0185(199801)250:1<34::AID-AR4>3.0.CO;2-E.

MARTINEZ-VALVERDE, Isabel, 2000. The content and nutritional significance of minerals on fish flesh in the presence and absence of bone. In : *Food Chemistry*. 2000. n° 71, pp. 503-509.

MAZZARO, Lisa M, JOHNSON, Shawn P, FAIR, Patricia A, BOSSART, Greg, CARLIN, Kevin P, JENSEN, Eric D, SMITH, Cynthia R, ANDREWS, Gordon A, CHAVEY, Patricia S et VENN-WATSON, Stephanie, 2012. Iron Indices in Bottlenose Dolphins. In : *Comparative Medicine*. 2012. Vol. 62, n° 6, pp. 8.

MÉTAIS PIERRE, AGNERAY JEAN, FÉRARD GEORGES et FRUCHART JEAN-CHARLES, 1980. *Biochimie clinique. 2. Biochimie métabolique*. Villeurbanne : SIMEP. ISBN 978-2-85334-149-3. B.03.00-MET-B(2)bis, B.03.00-MET-B(2)

MICHAUD, Dominique S., TROIANO, Richard P., SUBAR, Amy F., RUNSWICK, Shirley, BINGHAM, Sheila, KIPNIS, Victor et SCHATZKIN, Arthur, 2003. Comparison of estimated renal net acid excretion from dietary intake and body size with urine pH. In : *Journal of the American Dietetic Association*. août 2003. Vol. 103, n° 8, pp. 1001-1007. DOI 10.1016/S0002-8223(03)00469-3.

MONTEVECCHI, W A et PIATT, J, 1984. Composition and energy content of mature inshore spawning capelin (*Mallotus villosus*): implications for seabird predators. In : *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology*. 1984. pp. 6.

MOREAU, Jean-baptiste, 2007. *Le bilan alimentaire cation anion: revue des acquis et utilisation comparée pour la prévention de la fièvre de lait de la vache laitière et de la dyschondroplasie tibiale du poulet*. S.I. : Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort.

MOUELHI, Bachra et TAGUET, Chloé, 2019. Bibliographie commentée d'articles ciblés pour la pratique de l'outil échographique en Médecine Générale. In : . 18 avril 2019. pp. 252.

MURRAY, A W, 1971. The Biological Significance of Purine Salvage. In : *Annual Review of Biochemistry*. 1971. Vol. 40, n° 1, pp. 811-826.
DOI 10.1146/annurev.bi.40.070171.004115.

NEELY, Benjamin A., CARLIN, Kevin P., ARTHUR, John M., MCFEE, Wayne E. et JANECH, Michael G., 2013. Ratiometric Measurements of Adiponectin by Mass Spectrometry in Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) with Iron Overload Reveal an Association with Insulin Resistance and Glucagon. In : *Frontiers in Endocrinology* [en ligne]. 2013. Vol. 4. [Consulté le 1 octobre 2020].
DOI 10.3389/fendo.2013.00132. Disponible à l'adresse :
<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fendo.2013.00132/abstract>.

NJAA, Leif Rein et UTNE, Finn, 1982. A comparison of the amino acid composition of fifteen species whole fish. In : *Fisk. Dir. Skr*. 1982. pp. 25-33.

ODURO, Frieda A., CHOI, Nam-Do et RYU, Hong-Soo, 2011. Effects of Cooking Conditions on the Protein Quality of Chub Mackerel *Scomber japonicus*. In : *Fisheries and aquatic sciences*. 31 décembre 2011. Vol. 14, n° 4, pp. 257-265.
DOI 10.5657/FAS.2011.0257.

ORTIZ, R M, 2001. Osmoregulation in marine mammals. In : *The Journal of Experimental Biology*. 2001. pp. 1831-1844.

PALKA, Debra, 2001. Handbook of Marine Mammals. Volume 6: The Second Book of Dolphins and the Porpoises (Book Review). In : *The Quarterly Review of Biology*. 2001. Vol. 76, n° 1, pp. 96-96.

PARCELL, Stephen et CAND, ND, 2002. Sulfur in Human Nutrition and Applications in Medicine. In : . 2002. Vol. 7, n° 1, pp. 23.

PARKIN K., 2008. *Fennema's Food chemistry , fourth édition* [en ligne]. CRC press Taylor&Francis Group; S.I. : s.n. [Consulté le 5 décembre 2020]. Disponible à l'adresse :
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/34761536/Fennemas_Food_Chemistry__Fourth_page=936.

PAULY, D, 1998. Diet composition and trophic levels of marine mammals. In : *ICES Journal of Marine Science*. juin 1998. Vol. 55, n° 3, pp. 467-481.
DOI 10.1006/jmsc.1997.0280.

PERRIN W. F et WÜRSIG BERND, 2018. *Encyclopedia of Marine Mammals*. Jordan Hill : Elsevier Science & Technology Books. ISBN 978-0-08-091993-5.

PRESTER, Ljerka, MACAN, Jelena, VARNAI, Veda Marija, ORCT, Tatjana, VUKUŠIĆ, Jelena et KIPČIĆ, Dubravka, 2009. Endotoxin and biogenic amine levels in Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*), sardine (*Sardina pilchardus*) and Mediterranean hake (*Merluccius merluccius*) stored at 22 °C. In : *Food Additives & Contaminants: Part A*. mars 2009. Vol. 26, n° 3, pp. 355-362. DOI 10.1080/02652030802520878.

PUBLIC HEALTH ENGLAND, 2019. Food DataBanks. In : *Quadram Foodbanks* [en ligne]. 2019. [Consulté le 25 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://quadram.ac.uk/UKfoodcomposition/>.

REMER, Thomas et MANZ, Friedrich, 1995. Potential Renal Acid Load of Foods and its Influence on Urine pH. In : *Journal of the American Dietetic Association*. juillet 1995. pp. 791-797.

ROBERTSON, William G., JONES, Julie S., HEATON, Michelle A., STEVENSON, Abigail E. et MARKWELL, Peter J., 2002. Predicting the Crystallization Potential of Urine from Cats and Dogs with Respect to Calcium Oxalate and Magnesium Ammonium Phosphate (Struvite). In : *The Journal of Nutrition*. 1 juin 2002. Vol. 132, n° 6, pp. 1637S-1641S. DOI 10.1093/jn/132.6.1637S.

SAM, Amir et MEERAN, Karim, 2009. *Lecture Notes: Endocrinology and Diabetes Ed. 1* [en ligne]. S.l. : John Wiley & Sons. [Consulté le 30 novembre 2020]. ISBN 978-1-4051-5345-4. Disponible à l'adresse : <http://univ-toulouse-scholarvox.com/gorgone.univ-toulouse.fr/catalog/book/docid/88839047?searchterm=Diabetes>.

SANTOS, M.B., FERNÁNDEZ, R., LÓPEZ, A., MARTÍNEZ, J.A. et PIERCE, G.J., 2007. Variability in the diet of bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, in Galician waters, north-western Spain, 1990–2005. In : *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. février 2007. Vol. 87, n° 1, pp. 231-241. DOI 10.1017/S0025315407055233.

SANTOS, M.B., PIERCE, G.J., REID, R.J., PATTERSON, I.A.P., ROSS, H.M. et MENTE, E., 2001. Stomach contents of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Scottish waters. In : *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. octobre 2001. Vol. 81, n° 5, pp. 873-878. DOI 10.1017/S0025315401004714.

SCHMITT, Todd L. et SUR, Roger L., 2012. Treatment of Ureteral Calculus Obstruction with Laser Lithotripsy in an Atlantic Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*). In : *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. mars 2012. Vol. 43, n° 1, pp. 101-109. DOI 10.1638/2011-0002.1.

SCHNEIDER, Tom, OLSEN, Diane, GARDENS, Moody, DYKSTRA, Cheryl, ZOO, John Ball, HUETTNER, Stephanie, BRANCH, Sherry, SIRPENSKI, Gayle, SARRO, Steve, WATERFALL, Karen, BIOPARK, Albuquerque, HENRY, Linda, DUBOIS, Lauren, JOZWIAK, Jessica, DIEBOLD, Ed, WALLACE, Roberta, WAIER, Alex,

SLIFKA, Kerri, ZOO, Dallas, MCCLEMENTS, Roy, BOERSMA, Dee, DE WIT, Pierre, EMMEN, Zoo, SEAMAN, Maya, SPECTOR, Felicia, GROW, Shelly et LUKE, Deborah, 2014. Penguin (Spheniscidae) care manual. In : *Association of Zoos and Aquariums in association with the AZA Animal Welfare Committee*. 2014. pp. 143.

SEAWEB EUROPE, 2016. *Pour un marché des produits de la mer durables - Guide des espèces à l'usage des professionnels*. S.I. SeaWeb Europe.

SEITZ, Kelsey E., SMITH, Cynthia R., MARKS, Stanley L., VENN-WATSON, Stephanie K. et IVANČIĆ, Marina, 2016. Liver ultrasonography in dolphins: Use of ultrasonography to establish a technique for hepatobiliary imaging and to evaluate metabolic disease-associated liver changes in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). In : *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. décembre 2016. Vol. 47, n° 4, pp. 1034-1043. DOI 10.1638/2015-0173.1.

SHEN, Jing et ZHANG, Xicheng, 2018. Potassium Citrate is Better in Reducing Salt and Increasing Urine pH than Oral Intake of Lemonade: A Cross-Over Study. In : *Medical Science Monitor*. 1 avril 2018. Vol. 24, pp. 1924-1929. DOI 10.12659/MSM.909319.

SMITH, Cynthia R., POINDEXTER, John R., MEEGAN, Jennifer M., BOBULESCU, Ion Alexandru, JENSEN, Eric D., VENN-WATSON, Stephanie et SAKHAE, Khashayar, 2014. Pathophysiological and Physicochemical Basis of Ammonium Urate Stone Formation in Dolphins. In : *Journal of Urology*. juillet 2014. Vol. 192, n° 1, pp. 260-266. DOI 10.1016/j.juro.2014.01.008.

SMITH, Cynthia Rowe, VENN-WATSON, Stephanie, WELLS, Randall S., JOHNSON, Shawn P., MAFFEO, Natalie, BALMER, Brian C., JENSEN, Eric D., TOWNSEND, Forrest et SAKHAE, Khashayar, 2013. Comparison of Nephrolithiasis Prevalence in Two Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*) Populations. In : *Frontiers in Endocrinology* [en ligne]. 2013. Vol. 4. [Consulté le 23 juillet 2019]. DOI 10.3389/fendo.2013.00145. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fendo.2013.00145/full>.

SPITZ, Jérôme, 2010. *Stratégies alimentaires et énergétiques de la prédation chez les mammifères marins*. S.I. : Université de La Rochelle.

STOYANOVA, Stefka, 2018. Investigation of macroelements in the muscle of four marine fish species. In : *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2018. pp. 4.

SUR, Roger L., MEEGAN, Jenny M., SMITH, Cynthia R., SCHMITT, Todd, L'ESPERANCE, James, HENDRIKSON, Dean et WOO, Jason R., 2018. Surgical Management of Nephrolithiasis in the Bottlenose Dolphin: Collaborations Between the Urologist and Veterinarian. In : *Journal of Endourology Case Reports*. 1 mai 2018. Vol. 4, n° 1, pp. 62-65. DOI 10.1089/cren.2017.0143.

TETTAMANTI, Gianluca, GRIMALDI, Annalisa, FERRARESE, Roberto, RINALDI, Liliana, BORTOLOTTI, Alessandro, DI GUARDO, Giovanni et DE EGUILIOR, Magda, 2004. A comparative study of *sporta perimedullaris musculosa* in the reniculus

of six species of cetaceans. In : *Italian Journal of Zoology*. janvier 2004. Vol. 71, n° 2, pp. 115-121. DOI 10.1080/11250000409356561.

THE EUROPEAN PET FOOD INDUSTRY FEDERATION, 2016. *Nutritional Guidelines for complete and complementary pet food for cats and dogs*. 2016. S.I. : s.n.

TOPPE, Jogeir, ALBREKTSEN, Sissel, HOPE, Britt et AKSNES, Anders, 2007. Chemical composition, mineral content and amino acid and lipid profiles in bones from various fish species. In : *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*. mars 2007. Vol. 146, n° 3, pp. 395-401. DOI 10.1016/j.cbpb.2006.11.020.

TRINCHIERI, A., 2013. Diet and renal stone formation. In : *Minerva Medica*. février 2013. Vol. 104, n° 1, pp. 41-54.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2018. FoodData Central. In : *FoodData Central* [en ligne]. 2018. [Consulté le 14 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://fdc.nal.usda.gov/index.html>.

VALVERDE, Jesús Cerezo, MARTÍNEZ-LLORENS, Silvia, VIDAL, Ana Tomás, JOVER, Miguel, RODRÍGUEZ, Carmen, ESTEFANELL, Juan, GAIRÍN, Joan I., DOMINGUES, Pedro Miguel, RODRÍGUEZ, Carlos J. et GARCÍA, Benjamín García, 2013. Amino acids composition and protein quality evaluation of marine species and meals for feed formulations in cephalopods. In : *Aquaculture International*. avril 2013. Vol. 21, n° 2, pp. 413-433. DOI 10.1007/s10499-012-9569-6.

VAN PELT, Thomas I., PIATT, John F., LANCE, Brain K. et ROBY, Daniel D., 1997. Proximate composition and energy density of some north pacific forage fishes. In : *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*. décembre 1997. Vol. 118, n° 4, pp. 1393-1398. DOI 10.1016/S0300-9629(97)00240-5.

VANTYGHEM, M.-C., GIRARDOT, C., BOULOGNE, A. et WEMEAU, J.-L., 2008. Endocrinologie - Relations entre surcharges en fer et insulino-résistance. In : *La presse médicale* [en ligne]. Elsevier. 2008. [Consulté le 9 décembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.em-consulte.com/article/102515/endocrinologie-relations-entre-surcharges-en-fer-e>.

VENN-WATSON, Stephanie, 2014. Dolphins and Diabetes: Applying One Health for Breakthrough Discoveries. In : *Frontiers in Endocrinology* [en ligne]. 22 décembre 2014. Vol. 5. [Consulté le 1 octobre 2020]. DOI 10.3389/fendo.2014.00227. Disponible à l'adresse : <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fendo.2014.00227/abstract>.

VENN-WATSON, Stephanie, BENHAM, Celeste, CARLIN, Kevin, DERIENZO, Damian et ST. LEGER, Judy, 2012. Hemochromatosis and fatty liver disease: building evidence for insuline resistance in bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). In : *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 2 septembre 2012. Vol. 43, n° 3s, pp. S35-S47. DOI 10.1638/2011-0146.1.

VENN-WATSON, Stephanie, CARLIN, Kevin et RIDGWAY, Sam, 2011. Dolphins as animal models for type 2 diabetes: Sustained, post-prandial hyperglycemia and hyperinsulinemia. In : *General and Comparative Endocrinology*. janvier 2011. Vol. 170, n° 1, pp. 193-199. DOI 10.1016/j.ygcen.2010.10.005.

VENN-WATSON, Stephanie, SMITH, Cynthia, JOHNSON, Shawn, DANIELS, Risa et TOWNSEND, Forrest, 2010. Clinical relevance of urate nephrolithiasis in bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. In : *Diseases of aquatic organisms*. 9 mars 2010. Vol. 89, pp. 167-77. DOI 10.3354/dao02187.

VENN-WATSON, Stephanie, SMITH, Cynthia R., DOLD, Christopher et RIDGWAY, Sam H., 2008. Use of a serum-based glomerular filtration rate prediction equation to assess renal function by age, sex, fasting, and health status in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). In : *Marine Mammal Science*. janvier 2008. Vol. 24, n° 1, pp. 71-80. DOI 10.1111/j.1748-7692.2007.00162.x.

VENN-WATSON, Stephanie, SMITH, Cynthia Rowe, STEVENSON, Sacha, PARRY, Celeste, DANIELS, Risa, JENSEN, Eric, CENDEJAS, Veronica, BALMER, Brian, JANECH, Michael, NEELY, Benjamin A. et WELLS, Randall, 2013. Blood-Based Indicators of Insulin Resistance and Metabolic Syndrome in Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*). In : *Frontiers in Endocrinology* [en ligne]. 2013. Vol. 4. [Consulté le 10 juillet 2020]. DOI 10.3389/fendo.2013.00136. Disponible à l'adresse : <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fendo.2013.00136/abstract>.

VENN-WATSON, TOWNSEND, Forrest I, DANIELS, Risa L, SWEENEY, Jay C, MCBAIN, Jim W, KLATSKY, Leigh J, HICKS, Christie L, STAGGS, Lydia A, ROWLES, Teri K, SCHWACKE, Lori H, WELLS, Randall S et SMITH, Cynthia R, 2010b. Hypocitraturia in Common Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*): Assessing a Potential Risk Factor for Urate Nephrolithiasis. In : *Comparative Medicine*. 2010b. Vol. 60, n° 2, pp. 149-153.

WEINMAN, Serge et MÉHUL, Pierre, 2004. *Toute la Biochimie* [en ligne]. S.I. : Dunod. [Consulté le 16 octobre 2020]. ISBN 978-2-10-006734-3. Disponible à l'adresse : <http://univ-toulouse-scholarvox.com/gorgone.univ-toulouse.fr/catalog/book/docid/45001632?searchterm=BIOCHIMIE>.

WELLS, Randall S., MCHUGH, Katherine A., DOUGLAS, David C., SHIPPEE, Steve, MCCABE, Elizabeth Berens, BARROS, Nélío B. et PHILLIPS, Goldie T., 2013. Evaluation of Potential Protective Factors Against Metabolic Syndrome in Bottlenose Dolphins: Feeding and Activity Patterns of Dolphins in Sarasota Bay, Florida. In : *Frontiers in Endocrinology* [en ligne]. 2013. Vol. 4. [Consulté le 1 octobre 2020]. DOI 10.3389/fendo.2013.00139. Disponible à l'adresse : <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fendo.2013.00139/abstract>.

WELLS, Randall S., TORNERO, Victoria, BORRELL, Asuncion, AGUILAR, Alex, ROWLES, Teri K., RHINEHART, Howard L., HOFMANN, Suzanne, JARMAN, Walter M., HOHN, Aleta A. et SWEENEY, Jay C., 2005. Integrating life-history and reproductive success data to examine potential relationships with organochlorine compounds for bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Sarasota Bay, Florida. In : *Science of The Total Environment*. octobre 2005. Vol. 349, n° 1-3, pp. 106-119. DOI 10.1016/j.scitotenv.2005.01.010.

ANNEXES – VALEURS NUTRITIONNELLES DES FILETS DE POISSON

Table 1 : Anchois.....	134
Table 2 : Bogue.....	135
Table 3 : Calmar ou Encornet.....	136
Table 4 : Capelan.....	137
Table 5 : Chinchard.....	137
Table 6 : Congre.....	139
Table 7 : Hareng Atlantique.....	140
Table 8 : Maquereau espagnol.....	141
Table 9 : Merlan.....	142
Table 10 : Merlan bleu.....	143
Table 11 : Merlu commun.....	144
Table 12 : Morue de l'Atlantique.....	145
Table 13 : Mulet.....	146
Table 14 : Pageot.....	147
Table 15 : Poulpe.....	148
Table 16 : Rouget.....	149
Table 17 : Sardine.....	150
Table 18 : Sprat.....	151
Table 19 : Tacaud.....	152

Table 1 : Valeurs nutritionnelles de l'Anchois

Nom commun	Anchois
Nom scientifique	<i>Engraulis encrasicolus</i>
Nom anglais	European Anchovy
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens Clupéiformes
Famille	Engraulidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Energie	kJ	541	A
		kcal	129	A
	Eau	g	71,8	A
	Protéines	g	18,6	A
	Lipides	g	6,07	A
	Cendres	g	1,43	A
	Ions	Ca ²⁺	mg	86,5
Cl ⁻		Absence de données		
Mg ²⁺		mg	22,3	A
P		mg	162	A
K ⁺		mg	294	A
Na ⁺		mg	73	A
Sel de chlorure de sodium		mg	180	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	mg	602	B
	Cystine	mg	218	B
Purines	Total	mg d'acide urique	239	B
	Adénine	mg	4	B
	Guanine	mg	113	B
	Xanthine	mg	6	B
	Hypoxanthine	mg	82	B

Eléments calculés	
Chlorure (Cl) mg/100g de poisson	109,188 ^c
Soufre (S) g/100g de poisson	0,18751832 ^d
S mg/100g de poisson	188

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciqual 2020 : « Anchois commun, cru »
 B : Livre « La composition des aliments : tableaux des valeurs nutritives » 2008, p516.

^c Valeur calculée à partir de la teneur en sel de chlorure de sodium. $Cl(g) = 35,453 \left(\frac{NaCl(g)}{35,453+22,989} \right)$.
 (35,453) et (22,989) représentent les masses molaires en g/mol du chlorure et du sodium, respectivement.

^d Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{méthionine(g)}{149,21} + \frac{cystine(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

Table 2 : Valeurs nutritionnelles du Bogue

Nom commun	Bogue
Nom scientifique	<i>Boops boops</i>
Nom anglais	Bogue
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens
Famille	Sparidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Energie	kJ	380	A
		kcal	90	A
	Eau	g	78,5	A
	Protéines	g	17,9	A
	Lipides	g	2,03	A
	Cendres	g	1	A
Ions	Ca ²⁺	mg	52,5	A
	Cl ⁻	mg	120	A
	Mg ²⁺	mg	22,5	A
	P	mg	230	A
	K ⁺	mg	309	A
	Na ⁺	mg	110	A
	Sel de chlorure de sodium	mg	280	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	g/kg protéine	27,325	B
	Cystéine	g/kg protéine	23,45	B
Purines	Absence de données			

Eléments calculés	
Méthionine mg/100g de poisson	489,1175
Cystéine mg/100g de poisson	419,755
Soufre (S) g/100g de poisson	0,11129929 ^c
S mg/100g de poisson	111

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciquel 2020 : « Bogue, cru »

B : VALVERDE J. C., 2013. Amino acids composition and protein quality evaluation of marine species and meals for feed formulations in cephalopods. Aquaculture International. (Valverde et al. 2013)

^c Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystéine}(g)}{121,16} \right]$. (32,06), (149,21) et (121,16) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystéine, respectivement.

Table 3 : Valeurs nutritionnelles du Calmar ou Encornet

Nom commun	Calmar commun, Encornet ou Chipiron
Nom scientifique	<i>Loligo vulgaris</i>
Nom anglais	Commun squid
Classe	Céphalopodes
Ordre	Myopsida ou Céphalopodes décapodes
Famille	Loliginidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Eau	g	81,4	A
	Protéines	g	15,8	A
	Lipides	g	0,9	A
	Cendres	g	1,3	A
Ions	Ca ²⁺	mg	18	A
	Cl ⁻	mg	314	A
	Mg ²⁺	mg	49	A
	P	mg	261	A
	K ⁺	mg	225	A
	Na ⁺	mg	196	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	g/kg protéine	24,7	B
	Cystéine	g/kg protéine	22,2	B
Purines	Absence de données			

Eléments calculés	
Energie kcal/100g de poisson	71,3 ^c
Méthionine mg/100g de poisson	390,26
Cystéine mg/100g de poisson	350,76
Soufre (S) g/100g de poisson	0,17666737
S mg/100g de poisson	177 ^d

A : Composição e valor nutricional dos produtos da pesca mais consumidos em Portugal, « Lula comum, *Loligo vulgaris* » (Bandarra et al. 2005).

B : VALVERDE *et al.*, 2013. Amino acids composition and protein quality evaluation of marine species and meals for feed formulations in cephalopods. Aquaculture International (Valverde et al. 2013).

^c Valeur calculée selon les facteurs Atwater : 1g de protéine et de glucide correspond à 4 calories, et 1 gramme de lipide correspond à 9 calories.

^d Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystéine}(g)}{121,16} \right]$. (32,06), (149,21) et (121,16) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystéine, respectivement.

Table 4 : Valeurs nutritionnelles du Capelan

Nom commun	Capelan
Nom scientifique	<i>Mallotus villosus</i>
Nom anglais	Capelin
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens Salmoniformes
Famille	Osméridés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Energie	kJ	380	A
		kcal	90	A
	Eau	g	78,6	A
	Protéines	g	18,7	A
	Lipides	g	1,71	A
	Cendres	g	1,36	A
Ions	Ca ²⁺	mg	60	B
	Cl ⁻	Absence de données		
	Mg ²⁺	mg	30	B
	P	mg	230	B
	K ⁺	mg	290	B
	Na ⁺	mg	60	B
	Sel de chlorure de sodium	mg	270	A
Acides α-aminés soufrés	méthionine	mg	522	B
	cystine	mg	189	B
Purines	Absence de données			

Eléments calculés	
Chlorure (Cl ⁻) mg/100g de poisson	163,782 ^c
Soufre (S) g/100g de poisson	0,1625910 ^d
S mg/100g de poisson	163

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciquel 2020 : « Capelan, cru »
 B : FoodDataCentral, U.S. Department Agriculture, « Fish, smelt, rainbow, raw » FDC ID 175146, valeurs nutritionnelles de l'espèce la plus proche

^c Valeur calculée à partir de la teneur en sel de chlorure de sodium. $Cl(g) = 35,453 \left(\frac{NaCl(g)}{35,453+22,989} \right)$. (35,453) et (22,989) représentent les masses molaires en g/mol du chlorure et du sodium, respectivement.

^d Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{méthionine(g)}{149,21} + \frac{cystine(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

Table 5 : Valeurs nutritionnelles du Chinchard

Nom commun	Chinchard commun
Nom scientifique	<i>Trachurus trachurus</i>
Nom anglais	Horse mackerel
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens
Famille	Carangidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Eau	g	76,8	A
	Protéines	g	18,6	A
	Lipides	g	1,4	A
	Cendres	g	1,3	A
Ions	Ca ²⁺	mg	69	A
	Cl ⁻	mg	131	A
	Mg ²⁺	mg	33	A
	P	mg	263	A
	K ⁺	mg	403	A
	Na ⁺	mg	80	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	g/kg de protéine	26,2	B
	Cystéine	g/kg de protéine	17,65	B
Purines	Total	mg d'acide urique	113	C
	Adénine	mg	13	C
	Guanine	mg	15	C
	Xanthine	mg	0.5	C
	Hypoxanthine	mg	65	C

Eléments calculés	
Energie kcal/100g de poisson	87 ^d
Méthionine mg/100g de poisson	487,32
Cystéine mg/100g de poisson	328,29
Soufre (S) g/100g de poisson	0,19157641 ^e
S mg/100g de poisson	192

A : Composição e valor nutricional dos produtos da pesca mais consumidos em Portugal, « Carapau, *Trachurus trachurus* » (Bandarra et al. 2005).

B : VALVERDE *et al*, 2013. Amino acids composition and protein quality evaluation of marine species and meals for feed formulations in cephalopods. Aquaculture International (Valverde et al. 2013).

C : Livre « La composition des aliments : tableaux des valeurs nutritives » 2008, p534.

^d Valeur calculée selon les facteurs Atwater : 1g de protéine et de glucide correspond à 4 calories, et 1 gramme de lipide correspond à 9 calories.

^e Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystéine}(g)}{121,16} \right]$. (32,06), (149,21) et (121,16) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystéine, respectivement.

Table 6 : Valeurs nutritionnelles du Congre

Nom commun	Congre
Nom scientifique	<i>Conger conger</i>
Nom anglais	Conger
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens Anguilliformes
Famille	Congridés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
Energie		kJ	481	A
		kcal	115	A
Eau		g	73,2	A
Protéines		g	18,3	A
Lipides		g	4,6	A
Cendres		g	0,75	A
Ions	Ca ²⁺	mg	71	A
	Cl ⁻	mg	100	A
	Mg ²⁺	mg	20	A
	P	mg	270	A
	K ⁺	mg	240	A
	Na ⁺	mg	50	A
	Sel de chlorure de sodium	mg	130	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	g/100g de protéine	1,8	B
	Cystine	g/100g de protéine	1,5	B
Purines	Absence de données			

Eléments calculés	
Méthionine mg/100g de poisson	329,4
Cystine mg/100g de poisson	274,5
Soufre (S) g/100g de poisson	0,14402221 ^c
S mg/100g de poisson	144

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciqual 2020 : « Congre, cru »

B : Heu *et al.*, 2008. Food Component Characteristics of Tang from Conger Eel By-products. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition (Heu et al. 2008)

^c Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystine}(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

Table 7 : Valeurs nutritionnelles du Hareng Atlantique

Nom commun	Hareng Atlantique
Nom scientifique	<i>Clupea harengus</i>
Nom anglais	Atlantic Herring
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens Clupéiformes
Famille	Clupéidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Energie	kJ	734	A
		kcal	176	A
	Eau	g	71,5	A
	Protéines	g	17,7	A
	Lipides	g	11,7	A
	Cendres	g	1,44	A
	Ions	Ca ²⁺	mg	61,6
Cl ⁻		mg	331	A
Mg ²⁺		mg	27	A
P		mg	235	A
K ⁺		mg	342	A
Na ⁺		mg	89,2	A
Sel de chlorure de sodium		mg	220	A
Acides α-aminés soufrés	méthionine	mg	660	B
	cystine	mg	240	B
Purines	Total	mg d'acide urique	210	B
Eléments calculés	Soufre (S) g/100g de poisson	0,20585082	S mg/100g de poisson	206

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciqual 2020 : « Hareng, cru »

B : Livre « La composition des aliments : tableaux des valeurs nutritives » 2008, p.

° Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystine}(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

Table 8 : Valeurs nutritionnelles du Maquereau espagnol

Nom commun	Maquereau espagnol
Nom scientifique	<i>Scomber scolias</i> ou <i>Scomber japonicus</i>
Nom anglais	Atlantic chub mackerel
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens
Famille	Scombridés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Eau	g	64,3	A
	Protéines	g	20,3	A
	Lipides	g	13,4	A
	Cendres	g	1,4	A
Ions	Ca ²⁺	mg	39	A
	Cl ⁻	mg	85	A
	Mg ²⁺	mg	37	A
	P	mg	282	A
	K ⁺	mg	360	A
	Na ⁺	mg	78	A

Acides α-aminés soufrés	méthionine	g/100g de protéine	2,33	B
	cystéine	g/ 100g de protéine	0,85	B
Purines	Absence de données			

Éléments calculés	
Energie kcal/100g de poisson	201,8 ^c
Méthionine mg/100g de poisson	472,99
Cystéine mg/100g de poisson	172,55
Soufre (S) g/100g de poisson	0,14729403 ^d
S mg/100g de poisson	147

A : Composição e valor nutricional dos produtos da pesca mais consumidos em Portugal, « Cavala, *Scomber japonicus* » (Bandarra et al. 2005).

B : ODURO F. A., 2011. Effects of Cooking Conditions on the Protein Quality of Chub Mackerel *Scomber japonicus*, Fisheries and aquatic sciences. (Oduro et al. 2011)

^c Valeur calculée selon les facteurs Atwater : 1g de protéine et de glucide correspond à 4 calories, et 1 gramme de lipide correspond à 9 calories.

^d Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystéine}(g)}{121,16} \right]$. (32,06), (149,21) et (121,16) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystéine, respectivement.

Table 9 : Valeurs nutritionnelles du Merlan

Nom commun	Merlan
Nom scientifique	<i>Merlangius merlangus</i>
Nom anglais	Whiting
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens Gadiformes
Famille	Gadidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Energie	kJ	336	A
		kcal	79,3	A
	Eau	g	79,3	A
	Protéines	g	18,8	A
	Lipides	g	0,47	A
	Cendres	g	1,2	A
Ions	Ca ²⁺	mg	18	A
	Cl ⁻	mg	109	A
	Mg ²⁺	mg	31,7	A
	P	mg	196	A
	K ⁺	mg	417	A
	Na ⁺	mg	63,6	A
	Sel de chlorure de sodium	mg	160	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	mg	710	B
	Cystine	mg	150	B
Purines	Absence de données			

Eléments calculés	Soufre (S) g/100g de poisson	0,19257909 ^c	S mg/100g de poisson	193
-------------------	------------------------------	-------------------------	----------------------	-----

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciquel 2020 : « Merlan, cru »

B : BILGIN Ö., 2019. Determination of Amino Acids Composition in Different Tissues of Whiting, *Merlangus merlangus euxinus* (Nordmann, 1840) from the Black Sea, Turkey. (Bilgin et al. 2019)

^c Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystine}(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

Table 10 : Valeurs nutritionnelles du Merlan bleu

Nom commun	Merlan bleu, Poutassou
Nom scientifique	<i>Micromesistius poutassou</i> ou <i>Gadus poutassou</i>
Nom anglais	Blue whiting
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens Gadiformes
Famille	Gadidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Eau	g	80,5	A
	Protéines	g	18,1	A
	Lipides	g	0,8	A
	Cendres	g	1,2	A
Ions	Ca ²⁺	mg	17,7	B
	Cl ⁻	Absence de données		
	Mg ²⁺	mg	36,7	B
	P	mg	604	B
	K ⁺	mg	388	B
	Na ⁺	mg	136	B
	Sel de chlorure de sodium	mg	100	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	g/kg de protéine	25,35	C
	Cystéine	g/kg de protéine	19,225	C
Purines	Absence de données			

Eléments calculés	
Energie kcal/100g de poisson	79,6 ^d
Chlorure (Cl ⁻) mg/100g de poisson	60,66 ^e
Méthionine mg/100g de poisson	458,835
Cystéine mg/100g de poisson	347,9725
Soufre (S) g/100g de poisson	0,19067075 ^f
S mg/100g de poisson	191

A: DAGBJARTSSON, Björn, 1975. Utilization of Blue Whiting, (*Micromesistius poutassou*), for Human Consumption. Journal of the Fisheries Research Board of Canada (Dagbjartsson 1975).

B: MARTINEZ-VALVERDE, I. 2000. The content and nutritional significance of minerals on fish flesh in the presence and absence of bone. *Food Chemistry*. (Martinez-Valverde 2000)

C: VALVERDE J. C., 2013. Amino acids composition and protein quality evaluation of marine species and meals for feed formulations in cephalopods. *Aquaculture International*. (Valverde et al. 2013)

^d Valeur calculée selon les facteurs Atwater : 1g de protéine et de glucide correspond à 4 calories, et 1 gramme de lipide correspond à 9 calories.

^e Valeur calculée à partir de la teneur en sel de chlorure de sodium. $Cl(g) = 35,453 \left(\frac{NaCl(g)}{35,453+22,989} \right)$. (35,453) et (22,989) représentent les masses molaires en g/mol du chlorure et du sodium, respectivement.

^f Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{méthionine(g)}{149,21} + \frac{cystéine(g)}{121,16} \right]$. (32,06), (149,21) et (121,16) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystéine, respectivement.

Table 11 : Valeurs nutritionnelles du Merlu commun

Nom commun	Merlu commun
Nom scientifique	<i>Merluccius merluccius</i>
Nom anglais	European hake
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens Gadiformes
Famille	Merlucciidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Energie	kJ	349	A
		kcal	82,6	A
	Eau	g	80	A
	Protéines	g	17,6	A
	Lipides	g	1,35	A
	Cendres	g	1,34	A
Ions	Ca ²⁺	mg	25,3	A
	Cl ⁻	mg	83	A
	Mg ²⁺	mg	22,9	A
	P	mg	160	A
	K ⁺	mg	332	A
	Na ⁺	mg	98,6	A
	Sel de chlorure de sodium	mg	220	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	mg	480	B
	Cystine	mg	160	B
Purines	Absence de données			

Eléments calculés	Soufre (S) g/100g de poisson	0,14583539 ^c	S mg/100g de poisson	146
-------------------	------------------------------	-------------------------	----------------------	-----

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciqual 2020 : « Merlu, cru »

B : Livre « La composition des aliments : tableaux des valeurs nutritives » 2008, p525.

^c Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystine}(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

Table 12 : Valeurs nutritionnelles de la Morue de l'Atlantique

Nom commun	Morue de l'Atlantique, Cabillaud
Nom scientifique	<i>Gadus morhua</i>
Nom anglais	Cod
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens Gadiformes
Famille	Gadidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Energie	kJ	329	A
		kcal	77,6	A
	Eau	g	79,8	A
	Protéines	g	18,1	A
	Lipides	g	0,57	A
	Cendres	g	1,1	A
	Ions	Ca ²⁺	mg	4,43
Cl ⁻		mg	110	A
Mg ²⁺		mg	25,6	A
P		mg	163	A
K ⁺		mg	357	A
Na ⁺		mg	65,2	A
Sel de chlorure de sodium		mg	230	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	mg	527	B
	Cystine	mg	191	B
Purines	Total	mg d'acide urique	109	C
	Adénine	mg	12	C
	Guanine	mg	10	C
	Hypoxanthine	mg	66	C

Eléments calculés	Soufre (S) g/100g de poisson	0,16420655 ^d	S mg/100g de poisson	164
-------------------	------------------------------	-------------------------	----------------------	-----

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciqual 2020 : « Cabillaud, cru »

B : FoodDataCentral, U.S. Department Agriculture, « Fish, cod, Atlantic, raw » FDC ID 171955

C : Livre « La composition des aliments : tableaux des valeurs nutritives » 2008, p494.

^d Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystine}(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

Table 13 : Valeurs nutritionnelles du Mulet

Nom commun	Mulet cabot
Nom scientifique	<i>Mugil Cephalus</i>
Nom anglais	Striped mullet
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens Mugiliformes
Famille	Mugilidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Energie	kJ	475	A
		kcal	113	A
	Eau	g	75,5	A
	Protéines	g	20,1	A
	Lipides	g	3,62	A
	Cendres	g	1,06	A
Ions	Ca ²⁺	mg	13,6	A
	Cl ⁻	mg	130	A
	Mg ²⁺	mg	26,7	A
	P	mg	171	A
	K ⁺	mg	305	A
	Na ⁺	mg	70,4	A
	Sel de chlorure de sodium	mg	180	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	mg	573	B
	Cystine	mg	207	B
Purines	Absence de données			
Eléments calculés	Soufre (S) g/100g de poisson	0,17835208 ^c	S mg/100g de poisson	178

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciqual 2020 : « Mulet, cru »

B : FoodDataCentral, U.S. Department Agriculture, « Fish, mullet, striped, raw » FDC ID 175123

^c Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystine}(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

Table 14 : Valeurs nutritionnelles du Pageot

Nom commun	Pageot
Nom scientifique	<i>Pagellus spp.</i>
Nom anglais	Seabreams
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens
Famille	Sparidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Eau	g	76,8	A
	Protéines	g	18,8	A
	Lipides	g	2,7	A
	Cendres	g	1,5	A
Ions	Ca ²⁺	mg	7,3	A
	Cl ⁻	mg	119	A
	Mg ²⁺	mg	32	A
	P	mg	256	A
	K ⁺	mg	369	A
	Na ⁺	mg	104	A
	Sel de chlorure de sodium	mg	300	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	mg/100g de protéine	3,65	B
	Cystine	mg/100g de protéine	3,4	B
Purines	Absence de données			

Eléments calculés	
Energie kcal/100g de poisson	99,5 ^c
Méthionine mg/100g de poisson	451,2
Cystéine mg/100g de poisson	376
Soufre (S) g/100g de poisson	0,1972763 ^d
S mg/100g de poisson	197

A : Composição e valor nutricional dos produtos da pesca mais consumidos em Portugal, « Goraz, *Pagellus bogaraveo* » (Bandarra et al. 2005)

B : Frassetto *et al.* Estimation of net endogenous noncarbonic acid production in humans from diet potassium and protein contents. *The American Journal of Clinical Nutrition.*(Frassetto et al. 1998)

^c Valeur calculée selon les facteurs Atwater : 1g de protéine et de glucide correspond à 4 calories, et 1 gramme de lipide correspond à 9 calories.

^d Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystine}(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

Table 15 : Valeurs nutritionnelles du Poulpe

Nom commun	Poulpe
Nom scientifique	<i>Octopus vulgaris</i>
Nom anglais	Common octopus
Classe	Céphalopodes
Ordre	Octopoda
Famille	Octopodidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Eau	g	83,1	A
	Protéines	g	15,6	A
	Lipides	g	1,2	A
	Cendres	g	0,9	A
Ions	Ca ²⁺	mg	13	A
	Cl ⁻	mg	438	A
	Mg ²⁺	mg	43	A
	P	mg	165	A
	K ⁺	mg	236	A
	Na ⁺	mg	256	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	mg	336	B
	Cystine	mg	196	B
Purines	Absence de données			

Eléments calculés	
Energie kcal/100g de poisson	73,2 ^c
Soufre (S) g/100g de poisson	0,12449392 ^d
S mg/100g de poisson	124

A : Composição e valor nutricional dos produtos da pesca mais consumidos em Portugal, « Polvo comum, *Octopus vulgaris* » (Bandarra et al. 2005)

B : Livre « La composition des aliments : tableaux des valeurs nutritives » 2008

^c Valeur calculée selon les facteurs Atwater : 1g de protéine et de glucide correspond à 4 calories, et 1 gramme de lipide correspond à 9 calories.

^d Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystine}(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

Table 16 : Valeurs nutritionnelles du Rouget

Nom commun	Rouget barbet
Nom scientifique	<i>Mullus spp (M. barbatus ou M. surmuletus)</i>
Nom anglais	Goatfish, Red stripped mullet
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens
Famille	Mullidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Energie	kJ	660	A
		kcal	158	A
	Eau	g	70,6	A
	Protéines	g	18,4	A
	Lipides	g	9,37	A
	Cendres	g	1,18	A
	Ions	Ca ²⁺	mg	22,8
Cl ⁻		mg	140	A
Mg ²⁺		mg	30,7	A
P		mg	218	A
K ⁺		mg	343	A
Na ⁺		mg	66,3	A
Sel de chlorure de sodium		mg	170	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	mg	417	B
	Cystéine	mg	92	B
Purines	Absence de données			

Eléments calculés	Soufre (S) g/100g de poisson	0,113942694 ^c	S mg/100g de poisson	114
-------------------	------------------------------	--------------------------	----------------------	-----

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciqual 2020 : « Rouget barbet de Roche, cru »
 B : ERKAN N., 2010. Effect of frying, grilling, and steaming on amino acid composition of marine fishes. Journal of Medicinal Food (Erkan et al. 2010)

^c Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystéine}(g)}{121,16} \right]$. (32,06), (149,21) et (121,16) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystéine, respectivement.

Table 17 : Valeurs nutritionnelles de la Sardine

Nom commun	Sardine
Nom scientifique	<i>Sardine pilchardus</i>
Nom anglais	Sardine
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens Clupéiformes
Famille	Clupéidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Energie	kJ	683	A
		kcal	163	A
	Eau	g	64	A
	Protéines	g	19,5	A
	Lipides	g	9,48	A
	Cendres	g	2,2	A
Ions	Ca ²⁺	mg	57,5	A
	Cl ⁻	mg	130	A
	Mg ²⁺	mg	36	A
	P	mg	286	A
	K ⁺	mg	584	A
	Na ⁺	mg	101	A
	Sel de chlorure de sodium	mg	220	A
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	mg	640	B
	Cystine	mg	220	B
Purines		mg acide urique	345	B

Eléments calculés	Soufre (S) g/100g de poisson	0,196216859 ^c	S mg/100g de poisson	196
-------------------	------------------------------	--------------------------	----------------------	-----

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciquel 2020 : « Sardine, crue »

B : Livre « La composition des aliments : tableaux des valeurs nutritives » 2008, p518.

^c Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystine}(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

Table 18 : Valeurs nutritionnelles du Sprat

Nom commun	Sprat
Nom scientifique	<i>Sprattus sprattus</i>
Nom anglais	Sprat
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens Clupéiformes
Famille	Clupéidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
Energie		kJ	777	A
		kcal	186	A
Eau		g	66,7	A
Protéines		g	19,8	A
Lipides		g	11,9	A
Cendres		g	1,07	A
Ions	Ca ²⁺	mg	97	B
	Cl ⁻	mg	270	B
	Mg ²⁺	mg	37	B
	P	mg	240	B
	K ⁺	mg	320	B
	Na ⁺	mg	200	B
	Sel de chlorure de sodium	mg	Absence de données	
Acides α-aminés soufrés	Méthionine	g/kg de protéine	29,3	C
	Cystine	g/kg de protéine	7	C
Purines	Absence de données			

Eléments calculés	
Méthionine mg/100g de poisson	580,14
Cystine mg/100g de poisson	138,6
Soufre (S) g/100g de poisson	0,161634826 ^d
S mg/100g de poisson	161

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciqual 2020 : « Sprat, cru »

B : FoodDataBanks, UK composition of food « Sprats, raw » FDB ID : 16-218

C : NJAA L.R., 1982. A comparison of the amino acid composition of fifteen species whole fish. Fisk. Dir. Skr. (Njaa, Utne 1982)

^d Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{\text{méthionine}(g)}{149,21} + \frac{\text{cystine}(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

Table 19 : Valeurs nutritionnelles du Tacaud

Nom commun	Tacaud commun
Nom scientifique	<i>Trisopterus luscus</i> ou <i>Gadus luscus</i>
Nom anglais	Pout
Classe	Ostéichthyens, Poissons osseux
Ordre	Téléostéens Gadiformes
Famille	Gadidés

	Composants	Unité pour 100g de poisson	Valeur	Source
	Energie	kJ	346	A
		kcal	81,6	A
	Eau	g	78,9	A
	Protéines	g	19,7	A
	Lipides	g	0,33	A
	Cendres	g	1,13	A
	Ions	Ca ²⁺	mg	26,7
Cl ⁻		Absence de données		
Mg ²⁺		mg	26,5	A
P		mg	148	A
K ⁺		mg	306	A
Na ⁺		mg	81,5	A
Sel de chlorure de sodium		mg	200	A
Acides α-aminés soufrés	méthionine	g/kg de protéine	32,7	B
	cystine	g/kg de protéine	8,3	B
Purines	Absence de données			

Eléments calculés	
Chlorure (Cl) mg/100g de poisson	120 ^c
Méthionine mg/100g de poisson	644,19
Cystine mg/100g de poisson	163,51
Soufre (S) g/100g de poisson	0,18204374 ^d
S mg/100g de poisson	182

A : Table de composition nutritionnelle des aliments, Ciquel 2020 : « Tacaud, cru »

B : NJAA L.R., 1982. A comparison of the amino acid composition of fifteen species whole fish. Fisk. Dir. Skr. (Njaa, Utne 1982)

^c Valeur calculée à partir de la teneur en sel de chlorure de sodium. $Cl(g) = 35,453 \left(\frac{NaCl(g)}{35,453+22,989} \right)$. (35,453) et (22,989) représentent les masses molaires en g/mol du chlorure et du sodium, respectivement.

^d Valeur calculée selon l'équation : $S(g) = 32,06 \left[\frac{méthionine(g)}{149,21} + \frac{cystine(g)*2}{240,3} \right]$. (32,06), (149,21) et (240,3) représentent les masses molaires en g/mol du soufre, de la méthionine et de la cystine, respectivement.

**LES LITHIASES URINAIRES CHEZ LE GRAND DAUPHIN (*TURSIOPS TRUNCATUS*) :
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE ET ANALYSE DE DONNEES NUTRITIONNELLES DU PARC
MARINELAND D'ANTIBES**

Le grand dauphin commun ou dauphin souffleur (*Tursiops truncatus*) peut développer en captivité des pathologies qui sont rarement observées à l'état sauvage. Les lithiases d'urates d'ammonium semblent être rares chez les dauphins sauvages, mais parfois fréquentes chez les individus maintenus dans certains parcs. On peut alors se poser la question, pourquoi cette prévalence d'apparition de lithiase est-elle plus élevée chez les dauphins de ces parcs ? Les études réalisées sur ce sujet semblent indiquer qu'une étiologie d'origine alimentaire serait la cause principale de ce syndrome. Nous avons étudié les apports nutritionnels des différents régimes alimentaires donnés aux individus du parc Marineland Côte d'Azur à Antibes. Notre hypothèse était que les rations données en captivité pourraient prédisposer à la formation de lithiases à urate d'ammonium, par comparaison avec les rations des grands dauphins communs sauvages. Cependant, nos résultats indiquent que les rations actuelles distribuées au parc Marineland n'augmenteraient pas les risques de développement d'urolithiases. Cette étude confirme alors que les nouvelles espèces de poissons introduites en 2018 au parc semblent adaptées aux besoins des animaux.

Mots clés : grand dauphin commun, dauphin souffleur, lithiase à urate d'ammonium, *Tursiops truncatus*, facteurs de risque, analyse nutritionnelle

**NEPHROLITHIASIS IN BOTTLENOSE DOLPHINS (*TURSIOPS TRUNCATUS*):
LITERATURE REVIEW AND ANALYSIS OF NUTRITIONAL DATA FROM THE MARINELAND PARK
OF ANTIBES**

Common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) can develop pathologies under human care that are rarely observed in free-ranging individuals. Ammonium urate nephrolithiasis seems to be rare in free-ranging dolphins, but nevertheless frequent in animals kept in some parks. Why is the prevalence of nephrolithiasis sometimes more frequent in dolphins under human care? The studies carried out on this subject point towards a dietary origin. The nutritional intake of different diets given to dolphins at Marineland Côte d'Azur were studied. The hypothesis was that the diets given in captivity may enhance the risks of ammonium urate lithiasis, compared to the diets eaten by wild dolphins. However, our results suggest that the current diets distributed at Marineland Park do not increase the risk of urolithiasis development. This study then confirms that the new fish species introduced in 2018 to the park seem adapted to the animals' needs.

Key words: bottlenose dolphin, ammonium urate nephrolithiasis, uroliths, *Tursiops truncatus*, risk factors, diet nutrient analysis