

Université de Montréal

**Épidémiologie et pathologie des dermatopathies chez
les bélugas (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du
Saint-Laurent**

par Rozenn Le Net

Département de sciences cliniques
Faculté de médecine vétérinaire

Mémoire présenté à la Faculté de médecine vétérinaire
en vue de l'obtention du grade de *Maîtrise ès sciences* (M. Sc.)
en sciences vétérinaires option sciences cliniques

Décembre, 2018

© Le Net, 2018

Résumé

Les objectifs de cette étude étaient 1) de classer les anomalies cutanées chez les bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent (ESL) selon leur aspect macroscopique et 2) d'estimer la fréquence et d'explorer les causes possibles des catégories de lésions cutanées (CLC) au sein de cette population. La présence de 18 CLC fut recherchée sur 26 020 photographies prises de 2003 à 2014, représentant un échantillon aléatoire de 5 388 observations de béluga. Au moins une CLC était visible lors de la moitié des observations de nouveau-nés. Au moins une CLC était visible dans >90% des observations de bélugas gris et de bélugas blancs; deux à trois CLC étaient visibles dans >50%. Lors des observations de gris et de blancs, les « marques en dents de râteau » étaient la CLC la plus fréquemment observée, tandis qu'il s'agissait des « fissures linéaires uniques » lors des observations de nouveau-nés. Des phénomènes de mue saisonnière et post-natale furent suspectés chez les bélugas de l'ESL. Les lésions cutanées provenant de 111 carcasses échouées furent analysées microscopiquement. Mis à part la présence de corps étrangers dans certains cas de « dépressions en pointillé » ainsi qu'un gamma-herpèsvirus révélé par PCR au sein d'une plaie, la cause et la signification pour la santé de l'animal de la plupart des lésions cutanées reste incertaine. Cette étude est la première s'intéressant aux lésions cutanées chez les bélugas de l'ESL; elle fournit des données de référence pour l'utilisation des anomalies cutanées dans le suivi de la santé de la population.

Mots-clés : béluga, *Delphinapterus leucas*, dermatologie, estuaire du Saint-Laurent, lésions, maladies, pathologie, peau, photo-identification.

Abstract

The objectives of this study were 1) to establish a classification system of skin lesions in belugas from the St. Lawrence Estuary based on macroscopic appearance, and 2) to estimate the frequency and causes of skin lesions categories (SLC) in this population. The presence of 18 SLC was assessed using 26,020 photographs, representing 5,388 randomly selected individual sightings of beluga, collected from 2003 to 2014. At least one SLC was seen in half of neonate sightings. At least one SLC was present in >90%, and two to three SLC were seen in >50% of gray and white beluga individual sightings. In individual sightings of gray and white belugas, “rake marks” were the most common SLC, while “single linear fissures” were most common in individual sightings of neonates. Seasonal and postnatal molting were suspected in St. Lawrence Estuary belugas. In addition, cutaneous lesions from 111 stranded belugas were characterized microscopically. Apart from needle-like foreign bodies found within some “pinhole erosions” and a gamma-herpesvirus found by PCR in a wound, the potential cause and significance of most SLC described here remain undetermined. This is the first study which investigates skin conditions in the St. Lawrence Estuary beluga population. It provides relevant baseline data for future use of skin lesions for evaluating the health of belugas.

Keywords: beluga, *Delphinapterus leucas*, dermatology, diseases, lesions, pathology, photo-identification, skin, St. Lawrence Estuary.

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract	ii
Table des matières	iii
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vii
Remerciements.....	xi
Introduction	1
Chapitre 1 – Recension de la littérature.....	3
1. Le béluga du Saint-Laurent	3
1.1. <i>Le béluga, Delphinapterus leucas</i>	3
1.1.1. Description morphologique de l’espèce.....	3
1.1.2. Répartition.....	4
1.1.3. Écologie.....	5
1.2. <i>État de la population de bélugas dans l’estuaire du Saint-Laurent</i>	5
1.2.1. Compte numérique et tendances	5
1.2.2. Les menaces	6
1.2.3. La surveillance des bélugas de l’estuaire du Saint-Laurent	7
2. Dermatologie des odontocètes.....	9
2.1. <i>La peau des odontocètes</i>	9
2.1.1. Structure macroscopique de la peau.....	9
2.1.2. Structure microscopique de la peau	10
2.1.2.1. Trois couches fondamentales	10
2.1.2.2. Biofilm de surface	11
2.1.2.3. L’épiderme	11
2.1.2.4. Crêtes épidermiques et papilles dermiques	13
2.1.2.5. Le derme	14
2.1.2.6. L’hypoderme ou pannicule adipeux	15
2.1.2.7. Innervation.....	15
2.1.2.8. Les structures annexes.....	16
2.1.3. Les particularités chez le nouveau-né	16
2.1.4. La cinétique des cellules épidermiques.....	16
2.1.5. La mue.....	17

2.1.6.	La coloration du tégument.....	18
2.1.7.	Les fonctions de la peau.....	18
2.1.7.1.	Une surface hydrodynamique.....	19
2.1.7.2.	Une barrière mécanique.....	19
2.1.7.3.	Une barrière chimique.....	19
2.1.7.4.	Une barrière biologique.....	20
2.1.7.5.	Une barrière immunologique.....	20
2.1.7.6.	Une barrière contre les rayons UV.....	21
2.1.7.7.	Un lieu de la thermorégulation.....	21
2.1.7.8.	Un lieu de stockage énergétique.....	22
2.1.7.9.	Un rôle sensoriel.....	23
2.1.8.	La cicatrisation cutanée.....	23
2.2.	<i>Les lésions cutanées chez les Odontocètes.....</i>	<i>25</i>
2.2.1.	Lésions d'origine traumatique.....	25
2.2.2.	Lésions d'origine infectieuse.....	29
2.2.2.1.	Lésions d'origine bactérienne.....	30
2.2.2.2.	Lésions d'origine virale.....	34
2.2.2.3.	Lésions associées à des protozoaires.....	38
2.2.2.4.	Lésions d'origine fongique.....	39
2.2.3.	Prolifération d'algues.....	40
2.2.4.	Lésions associées à des parasites externes.....	41
2.2.5.	Lésions associées à des parasites internes.....	43
2.2.6.	Lésions associées à des hydrocarbures.....	44
2.2.7.	Les brûlures solaires.....	44
2.2.8.	Les désordres osmotiques.....	45
2.2.9.	Les défauts de pigmentation.....	46
2.2.10.	Lésions tumorales.....	46
2.2.11.	Autres types de lésions.....	48
2.3.	<i>La peau comme indicateur de l'état de santé de l'animal.....</i>	<i>48</i>
3.	La photo-identification chez les Cétacés.....	50
3.1.	<i>Principe de la photo-identification.....</i>	<i>50</i>
3.2.	<i>La technique de photo-identification.....</i>	<i>51</i>
3.3.	<i>Quel usage pour les photos tirées.....</i>	<i>52</i>
3.4.	<i>Surveillance des lésions cutanées.....</i>	<i>53</i>

3.5. <i>Le programme de photo-identification chez les bélugas du Saint-Laurent</i>	56
Chapitre 2 – Article scientifique « Epidemiological investigation of skin lesions in belugas (<i>Delphinapterus leucas</i>) from the St. Lawrence Estuary, Quebec, Canada »	57
1. Abstract.....	57
2. Introduction	58
3. Materials and methods.....	59
4. Results	64
5. Discussion.....	72
6. Acknowledgments	78
7. Literature cited.....	78
8. Supplementary material.....	86
Chapitre 3 – Pathologie des lésions cutanées chez les bélugas de l’estuaire du Saint-Laurent, de 1983 à 2017	92
1. Matériel et méthodes	92
2. Résultats	94
3. Discussion.....	102
Discussion générale.....	107
Conclusion	113
Bibliographie.....	115
Annexe 1 – Coupe histologique de peau de béluga juvénile saine.....	i
Annexe 2 – Synthèse des types de lésions cutanées rapportées chez les bélugas dans la littérature.....	ii
Annexe 3 – Liste des tumeurs cutanées rapportées chez des Cétacés dans la littérature, adapté à partir de (220).....	x
Annexe 4 – Exemples d’aspect cutané distinctif non lésionnel chez les bélugas de l’estuaire du Saint-Laurent	xii
Annexe 5 – Cas documentés de « cicatrices en cratère » dues à des émetteurs transcutanés chez deux bélugas de l’estuaire du Saint-Laurent	xiii
Annexe 6 – Lexique bilingue des catégories de lésions cutanées macroscopiques chez les bélugas de l’estuaire du Saint-Laurent.....	xv

Liste des tableaux

Table I. Summary of yearly and monthly sampling of encounters and individual sightings of belugas (*Delphinapterus leucas*) in the St. Lawrence Estuary between 2003 and 2014, stratified by age category, after exclusion of individual sightings of insufficient quality..... 70

Table II. Proportion of individual sightings positive for each skin lesion categories (SLC) stratified by age category for all SLC detected during photographic individual sightings of belugas (*Delphinapterus leucas*) in the St. Lawrence Estuary, between 2003 and 2014..... 71

Table III. Preliminary list of skin lesion categories (SLC) established from literature on beluga whales (*Delphinapterus leucas*) as well as other Cetacean species. SLC in bold characters were included in the final list of SLC seen on belugas of the St. Lawrence Estuary (Canada). 86

Tableau IV. Détection de lésions cutanées macroscopiques et microscopiques sur les carcasses de bélugas (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du Saint-Laurent nécropsiés entre 1983 et 2017 à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal (Québec, Canada). 95

Tableau V. Résultats de l'examen microscopique, de l'analyse immunohistochimique (IHC) pour papillomavirus et du test PCR pour herpèsvirus pour un échantillon de lésions cutanées observées sur des carcasses de bélugas (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du Saint-Laurent échouées et nécropsiées entre 1983 et 2017 à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal (Québec, Canada). 101

Liste des figures

<i>Figure 1.</i> Béluga adulte nageant dans l'estuaire du Saint-Laurent (crédit photo : GREMM). ...	3
<i>Figure 2.</i> Distribution géographique du béluga (<i>Delphinapterus leucas</i>) de l'estuaire du Saint-Laurent (33).	4
<i>Figure 3.</i> Photographie de béluga adulte mettant en évidence la peau blanche, lisse et glabre (crédit photo : GREMM).	9
<i>Figure 4.</i> Représentation schématique de la structure anatomique de la peau chez les dauphins (78).	10
<i>Figure 5.</i> Photographie de la face externe du derme, montrant les papilles dermiques, et de la face interne de l'épiderme, montrant des sillons épidermiques chez le rorqual commun (<i>Balaenoptera physalus</i>) au grossissement x25 (88).	13
<i>Figure 6.</i> Représentation de la structure du derme chez le grand dauphin (<i>Tursiops truncatus</i>). DP : papille dermique; DR : crête dermique; RD : derme sous-papillaire (71).	14
<i>Figure 7.</i> Study area for photo-identification surveys of belugas (<i>Delphinapterus leucas</i>) in the St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord (source: Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins). The first two letters of the section indicate the stratum (UP: upstream; CT: central; DN: downstream) and the last letter indicates the cardinal direction (N: north; E: east; S: south; W: west), except for BSM (Baie Sainte-Marguerite) and SAG (Saguenay Fjord).	60
<i>Figure 8.</i> Skin lesion categories observed in belugas (<i>Delphinapterus leucas</i>) from the St. Lawrence Estuary, between May and October (2003–14).	65
<i>Figure 9.</i> Number of skin lesion categories observed during individual sightings of belugas (<i>Delphinapterus leucas</i>), stratified by age category, between 2003 and 2014 in the St. Lawrence Estuary.	69
<i>Figure 10.</i> Suspicion of postnatal molting in two neonate belugas (<i>Delphinapterus leucas</i>) with ulcer-like lesions and “map” depression from the St. Lawrence Estuary population.	75
<i>Figure 11.</i> Fragments de matériel brunâtre incrusté dans l'épiderme du melon du béluga DL2017-04. L'aspect microscopique de ces lésions est visible sur la Figure 12, p. 98-99 (cupule). Échelle = 1 cm.	96

Figure 12. Patrons histologiques de lésions cutanées observées sur les carcasses de bélugas (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du Saint-Laurent nécropsiés entre 1983 et 2017 à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal (Québec, Canada).98

Liste des sigles

CLC : Catégorie de lésions cutanées

COSEPAC : Comité sur la situation des espèces en péril au Canada

ESL : estuaire du Saint-Laurent

GREMM : Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins

MPO : Pêches et Océans Canada

RUV : rayonnement ultra-violet

UVB : rayons ultra-violets de type B

À Slash, Bélibec & Cie

Remerciements

Toute ma gratitude va à mon directeur de recherche, Dr Stéphane Lair, pour m'avoir proposé un sujet de recherche si passionnant, pour avoir accepté de poursuivre ce projet sous forme de maîtrise et m'avoir permis de travailler à distance.

Un grand merci au Dr Sylvain Larrat pour son aide précieuse en épidémiologie, avec les analyses statistiques et la relecture.

Je souhaite exprimer mes sincères remerciements au Dres Hélène Carabin et Marion Desmarchelier pour leur participation au jury de ce mémoire.

Je remercie sincèrement Drs Frédéric Sauvé et Julie Arsenault pour leur participation au comité conseil dans le cadre de ce travail.

Merci à Robert Michaud pour sa collaboration à ce projet et avoir accepté de partager les photographies de bélugas de la banque de données du GREMM, fruit de nombreuses années de travail. Je suis également reconnaissante envers Marie-Hélène d'Arcy et Michel Moisan pour leur aide dans la gestion technique des photographies.

Merci à Chantale Provost, Carl Gagnon, Dale Godson et Claude Paquet pour leur collaboration (analyses complémentaires, numérisation des lames de coupes histologiques).

Merci à tous ceux qui, année après année, ou seulement juste une fois, ont participé au programme de collecte et de nécropsie des bélugas du Saint-Laurent. Chacun aura amené sa pierre à l'édifice. Je remercie notamment Judith Viau, Viviane Casaubon et Kathleen Brown pour leur aide et leur soutien sans faille.

Merci au Fonds du Centenaire et au Centre québécois sur la santé des animaux sauvages pour le financement de ce projet.

Et merci à mes proches pour m'avoir soutenue tout au long de ce programme de maîtrise, notamment Mathieu, qui a su être compréhensif et très, très patient.

Introduction

En 2014, la population de béluga de l'estuaire du Saint-Laurent (ESL) a été classée « en voie de disparition » par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (1). Afin de protéger au mieux les bélugas dans l'ESL, il est important d'évaluer leur état de santé. Il est primordial d'identifier les pressions s'exerçant sur cette population vulnérable (*e.g.*, activités anthropiques, agents infectieux, changements environnementaux) (1, 2). Les programmes de collecte et d'examen d'animaux morts permettent, entre autres, de mieux comprendre les causes de mortalité et renseignent sur les maladies et les contaminations qui touchent les individus d'une population animale (3), comme cela a été mis en application avec les bélugas du Saint-Laurent (4-19). Le suivi de la santé de la population des bélugas de l'ESL inclut depuis 1982 la réalisation de la nécropsie des individus échoués, à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal (8, 17, 20, 21). Les informations obtenues grâce à un tel programme sont toutefois partielles, notamment parce que l'échantillon n'est pas représentatif de la population entière et parce que la quantité et la qualité des informations sont affectées par la décomposition des carcasses. Il est difficile de développer des techniques permettant d'obtenir des informations pertinentes sur des individus vivants. Lorsque l'on observe un animal à distance, peu d'éléments permettent de juger son état de santé. Sa morphologie, son comportement, sa flottabilité, sa façon de se mouvoir, sa condition cutanée, l'aspect des yeux et sa condition corporelle sont les éléments que l'on peut évaluer pour nous renseigner (22).

L'une des stratégies proposées à partir des années 1990 par les chercheurs travaillant sur les Cétacés pour évaluer leur état de santé est l'évaluation de la condition cutanée par utilisation des données de photo-identification (23-27). Cette approche permet une évaluation différée des lésions de peau potentiellement suggestives de traumatismes, de parasitisme ou de maladies dans une population de Cétacés. Cela nécessite toutefois une connaissance approfondie des différents types d'anomalies cutanées, de leurs causes et de leur signification vis-à-vis de l'état de santé de l'individu. Dans le cas de la population de bélugas de l'ESL, un programme de photo-identification mené par le Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM) se poursuit annuellement depuis 1989 (28). Au fil des années, de nombreuses lésions cutanées ont été observées sur le corps des bélugas, dans le cadre du programme de nécropsie des carcasses (6, 8, 29), comme dans celui du programme de photo-identification (données non

publiées). Toutefois, leur nature et leur origine sont souvent restées nébuleuses. Les données de ces deux programmes n'ont jusqu'à présent jamais été mises à profit pour mieux comprendre et interpréter les lésions cutanées chez les bélugas de l'ESL. Notre projet consiste en l'étude rétrospective des lésions cutanées observées chez les bélugas du Saint-Laurent afin d'estimer la fréquence des différents types de lésions cutanées et leur évolution dans le temps, ainsi que d'en explorer les causes. Notre objectif était dans un premier temps de créer un atlas photographique, accompagné d'une nomenclature systématique des présentations macroscopiques des dermatopathies chez les bélugas de l'ESL, pour uniformiser leur évaluation entre les différentes équipes de recherche, notamment au Canada et en Alaska. Dans un deuxième temps, il s'agissait d'évaluer la fréquence d'observation des différentes catégories de lésions macroscopiques au sein de la population de bélugas du Saint-Laurent. Enfin, on souhaitait identifier les causes des différents types de lésions cutanées.

Le présent mémoire de maîtrise est divisé en cinq chapitres, à savoir [1] une recension de la littérature présentant l'espèce à l'étude, les dermatopathies chez les Cétacés et les méthodes d'étude qui seront employées; [2] un article scientifique décrivant un nouveau système de classification des lésions cutanées chez les bélugas de l'ESL et explorant leur distribution au sein de la population à partir des données de photo-identification; [3] une étude rétrospective anatomo-pathologique des lésions cutanées chez les bélugas de l'ESL à partir des carcasses collectées; [4] une discussion générale et [5] une conclusion.

Chapitre 1 – Recension de la littérature

1. Le béluga du Saint-Laurent

1.1. Le béluga, *Delphinapterus leucas*

1.1.1. Description morphologique de l'espèce

Delphinapterus leucas, porte une large variété de noms : béluga (ou bélouga), baleine blanche, marsouin blanc, ou encore, canari des mers. Cette espèce appartient à l'ordre des Cétacés, et plus précisément au sous-ordre des Odontocètes (baleines à dents). Le béluga constitue avec le narval (*Monodon monoceros*) la famille des Monodontidés. Il est de taille moyenne, mesurant quelques mètres de long (entre 2,6 et 5,5 m) et pesant jusque 1 800 kg environ (1, 30-32). La taille moyenne des animaux peut varier significativement d'une population à l'autre et les bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent (ESL) sont de taille moyenne (30). Les femelles et les mâles mesurent en moyenne environ 3,5 m et 4 m de long respectivement (1).



Figure 1. Béluga adulte nageant dans l'estuaire du Saint-Laurent (crédit photo : GREMM).

Les particularités morphologiques les plus marquantes du béluga sont sa couleur blanche à l'âge adulte (Figure 1), l'absence de fusion des vertèbres cervicales lui donnant une certaine mobilité de la tête et l'absence de nageoire dorsale, remplacée par une crête dorsale.

1.1.2. Répartition

Le béluga occupe les eaux arctiques et subarctiques. La population de bélugas de l'ESL correspond à la population à l'aire de répartition la plus méridionale de l'espèce (1), soit entre le 47^{ème} et le 49^{ème} parallèles Nord.

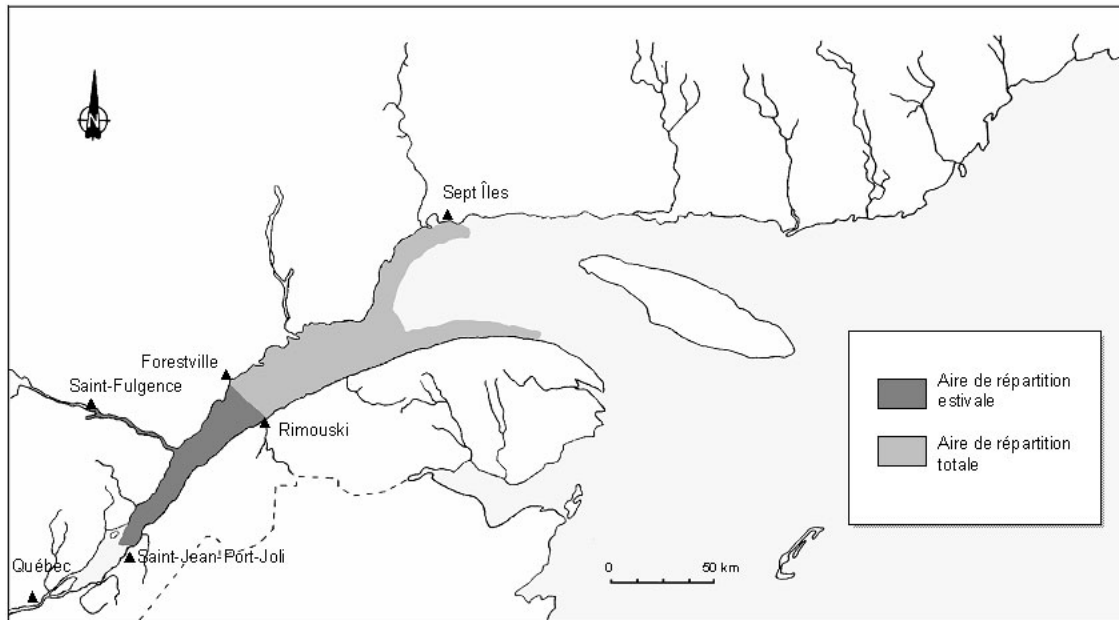


Figure 2. Distribution géographique du béluga (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du Saint-Laurent (33).

L'estuaire du fleuve Saint-Laurent est compris entre l'île d'Orléans, en aval de la ville de Québec, et l'île d'Anticosti; il débouche dans le golfe du Saint-Laurent, au Sud-Est du Canada. La population de béluga de l'ESL est isolée des autres populations de bélugas de l'Arctique (34). Elle constitue aujourd'hui une population génétiquement distincte des autres populations de bélugas au Canada (34). Les migrations saisonnières du béluga du Saint-Laurent sont limitées. En été, on le trouve dans l'estuaire, principalement aux alentours de l'embouchure de la rivière Saguenay. L'aire de distribution estivale du béluga du Saint-Laurent inclut la portion de l'estuaire depuis Battures aux Loups Marins (47°14'N; 70°26'O) jusque l'embouchure de la Rivière Portneuf sur la rive nord (48°38'N; 69°05'O) de l'ESL et jusque Rimouski sur la rive sud (48°27'N; 68°32'O), ainsi que l'embouchure de la rivière Saguenay, de la Baie Sainte-Marguerite (48°16'N; 69°58'O) jusque au confluent avec le Saint-Laurent (Figure 2). À

l'automne, il se déplace vers le nord-est, dans l'estuaire maritime jusqu'au golfe du Saint-Laurent, où il restera au cours de l'hiver (1).

1.1.3. Écologie

Les bélugas s'alimentent de vertébrés et d'invertébrés, à la fois benthiques et pélagiques (32). Bien qu'en été, ils se concentrent sur les zones côtières, le reste de l'année, ils peuvent se déplacer sur de longues distances (plusieurs milliers de kilomètres), en eau libre ou dans des eaux recouvertes de glace (32). Ils mènent le plus fréquemment une vie grégaire, en groupe de deux à dix individus, se regroupant éventuellement pour former des troupeaux de centaines d'individus (28, 32). Dans l'ESL, en été, une ségrégation spatiale est observée : les femelles et les veaux occupent des eaux peu profondes, peu salines et plus chaudes tandis que les mâles se maintiennent dans des eaux salines, profondes et plus froides (1). Les associations au sein de groupes sont toutefois éphémères, à l'exception des liens mère-veau (32).

1.2. État de la population de bélugas dans l'estuaire du Saint-Laurent

1.2.1. Compte numérique et tendances

Une seule espèce de béluga est reconnue mondialement mais les différentes populations de bélugas à travers le monde sont partiellement à complètement isolées les unes des autres. Chaque population est caractérisée par des éléments écologiques (aire de répartition, régime alimentaire, occupation des habitats), des comportements, des aspects génétiques et des éléments morphologiques (34). Cet élément majeur a amené le comité scientifique de la Commission baleinière internationale à diviser la population mondiale de bélugas en unités de gestion temporaire, puis le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) à diviser la population canadienne de bélugas en 8 unités désignables (34). La plupart des unités ne sont toutefois pas fermées puisque certaines d'entre elles partagent les aires de répartition hivernales (34). La population de bélugas de l'ESL en revanche est considérée intégralement isolée, ce qui en fait une unité désignable à part. Pour une population estimée entre 5 000 et 10 000 individus au tournant du XX^{ème} siècle (1), il n'en restait plus que 889 environ (IC à 95% : 672 – 1 167) en 2012 (35). La chasse intensive au béluga dans l'ESL – interdite en 1979 – a été la principale cause d'une diminution drastique du nombre d'individus. Lors de la dernière réévaluation de la situation de la population de bélugas de l'ESL, le COSEPAC l'a de nouveau

désignée « en voie de disparition » (1). Récemment, il a été constaté une baisse du taux de reproduction associée à une diminution de la proportion d'individus immatures au sein de la population, ainsi qu'à une augmentation du taux de mortalité des nouveau-nés (1). Il a alors été calculé que jusqu'aux années 2000, la population de bélugas était stable à légèrement en augmentation (0,13% par an); depuis, la taille de la population connaît un déclin d'environ 1% par an (35).

1.2.2. Les menaces

Les bélugas du Saint-Laurent sont principalement menacés par la dégradation de leur habitat, associée directement aux activités humaines (trafic maritime, pêche, activités récréatives et touristiques) ou indirectement (pollution chimique, pollution biologique) (1, 20).

La contamination de l'eau du fleuve Saint-Laurent est aussi bien due au déversement des eaux de ballast et d'effluents qu'au lavage des sols, apportant matières chimiques et organiques utilisées dans le domaine agricole (20). Le béluga étant très fidèle à ses aires saisonnières, il est probablement sensible aux changements environnementaux qui surviennent dans celles-ci (1), du fait d'une capacité adaptative limitée. La réduction et la dégradation de l'environnement du béluga découlent aussi de la construction d'infrastructures de loisirs et touristiques sur les berges de l'estuaire, l'introduction d'espèces exotiques dans le fleuve, l'industrialisation, la construction de quais et de barrages hydro-électriques et des opérations de dragage (2). Le volume élevé de trafic maritime occasionne du bruit artificiel pouvant être délétère aux bélugas. Les activités de pêche sont en perpétuel conflit avec la subsistance des bélugas : collisions avec des navires de pêche, compétition pour les ressources halieutiques et enchevêtrement dans du matériel de pêche (1, 2). La diminution de la quantité et de la qualité des proies constitue l'une des menaces principales pour les bélugas de l'ESL (1, 36, 37). L'augmentation de la densité d'autres espèces de mammifères marins, notamment certaines espèces de phoques, pourrait également créer une rivalité pour les ressources alimentaires (2). Les changements climatiques, en modifiant la couverture de glace dans l'environnement du béluga ou en modifiant les températures de l'eau, peuvent également contribuer à la perturbation des milieux dans lesquels les bélugas évoluent (1). De ces changements climatiques pourraient également découler une modification de la biomasse et de la période de frai de certaines proies des bélugas (2). Enfin, le déclin de la population de bélugas de l'ESL entraîne une diminution de la diversité génétique, ce qui peut la mener à un goulet d'étranglement (1, 2).

D'autres menaces sont considérées de moindre importance. Des épisodes sporadiques d'éclosion de dinoflagellés produisant des biotoxines ont également été enregistrés dans l'estuaire, à hauteur de trois épisodes depuis 1996 (15), occasionnant des mortalités chez les bélugas (1, 18). Les épizooties constituent également une menace potentielle pour la population (1). Depuis l'interdiction de la chasse du béluga dans l'ESL, la prédation constitue une menace minimale pour le béluga de l'ESL.

Les causes du déclin de la population des bélugas de l'ESL sont partiellement comprises. Certaines sont établies tandis que d'autres sont seulement présumées (1). Le ministère Pêches et Océans Canada (MPO) a défini les contaminants, la pénurie des ressources alimentaires et le potentiel de dérangement associé au bruit et à la fréquentation des habitats comme les trois principales menaces qui limitent le rétablissement de la population de bélugas de l'ESL (2). Depuis 2012, le MPO a mis en place un programme de rétablissement de la population de bélugas de l'ESL (38). Les objectifs étaient de réduire le dérangement associé aux activités humaines, de diminuer les contaminants chez les bélugas, de protéger ses proies et son environnement, de limiter l'impact d'autres menaces sur le rétablissement de la population, d'assurer l'accès des bélugas à des ressources alimentaires adaptées, de protéger les aires de répartition du béluga de l'ESL afin de conserver un habitat adéquat et de réaliser un suivi en continu de la population (2, 38).

1.2.3. La surveillance des bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent

Le suivi de la population des bélugas de l'ESL est assuré par plusieurs programmes, dont trois principaux. Le MPO réalise des inventaires réguliers des bélugas dans l'ESL depuis les années 1980 (21, 39) et mène de nombreux travaux de recherche sur la démographie (35, 40), la description de l'habitat (41), en toxicologie (14, 42-44), sur les effets du dérangement des bélugas par le trafic maritime (45, 46) et sur la réponse de la population à des changements environnementaux et aux menaces anthropiques (37). Le MPO est engagé dans la sauvegarde des bélugas de l'ESL, comme en atteste le programme de rétablissement pour les bélugas du Saint-Laurent (2, 38).

Le suivi de l'état de santé des bélugas s'appuie sur la réalisation de l'examen *post-mortem* systématique des carcasses de bélugas trouvés morts sur les berges ou dans les flots du Saint-Laurent. En 1982, ce programme a vu le jour à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université

de Montréal à l'initiative de Daniel Martineau. Il implique la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal, le GREMM, l'Institut national d'écotoxicologie du Saint-Laurent, le MPO, Parcs Canada, de nombreux bénévoles (Réseau québécois d'urgences pour les mammifères marins), le Fond mondial pour la nature (WWF) et les Industries Filmar. Les nécropsies permettent de mieux documenter les maladies rencontrées chez les bélugas et les causes de mortalité (6-9, 11, 12, 17, 18). Une liste complète des publications issues des données récoltées grâce à ce programme est disponible en annexe du rapport de Measures (20).

Le GREMM a été fondé en 1985 à Tadoussac, sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent. Cet organisme à but non lucratif participe activement, entre autres, au suivi des bélugas. Des campagnes de photo-identification des bélugas ont été réalisées régulièrement par le GREMM depuis 1989 (cf. §3.5, p. 56). Les données récoltées ont par exemple permis de recenser la population (47), de déterminer les aires de distribution du béluga de l'ESL (48) et d'étudier certains paramètres démographiques (28). Des études génétiques sont également menées grâce aux biopsies réalisées sur animaux vivants et aux tissus prélevés lors de nécropsies sur les carcasses.

2. Dermatologie des odontocètes

2.1. La peau des odontocètes

L'anatomie macroscopique et microscopique de la peau a été abondamment étudiée, décrite et revue chez le béluga (49-59) ainsi que chez d'autres espèces de Cétacés (56-81).



Figure 3. Photographie de béluga adulte mettant en évidence la peau blanche, lisse et glabre (crédit photo : GREMM).

2.1.1. Structure macroscopique de la peau

La peau des Odontocètes est lisse, brillante et glabre (Figure 3). Elle est structurellement très similaire entre les espèces et varie principalement au niveau de l'épaisseur de différentes couches (62). Bien que décrite comme lisse, la surface du corps des Odontocètes, dont le béluga, est parcourue de rides cutanées très superficielles, étroites et régulières (59, 75). Bien que les glandes mammaires puissent être considérées comme des organes tégumentaires, elles ne seront pas décrites et discutées dans le cadre de cette étude.

2.1.2. Structure microscopique de la peau

2.1.2.1. Trois couches fondamentales

La structure en couches de la peau est la même chez les Cétacés que chez les autres Mammifères. Au sens large, on dénombre cinq couches, à savoir l'épiderme en surface, le derme, l'hypoderme, le muscle peaucier et le fascia superficiel, en profondeur (68). Dans le cadre de notre étude, étant donné que nous nous intéressons aux lésions cutanées visibles extérieurement, nous nous intéresserons particulièrement aux trois couches les plus superficielles, de l'épiderme à l'hypoderme (Figure 4; Annexe 1, p. 147). L'hypoderme des Cétacés est aussi appelé pannicule adipeux, ou *blubber* en anglais. À présent, le terme de pannicule adipeux désignera le derme profond et l'hypoderme, entre l'épiderme et la musculature, étant donné qu'il est difficile de discerner macroscopiquement et histologiquement la transition entre le derme et l'hypoderme.

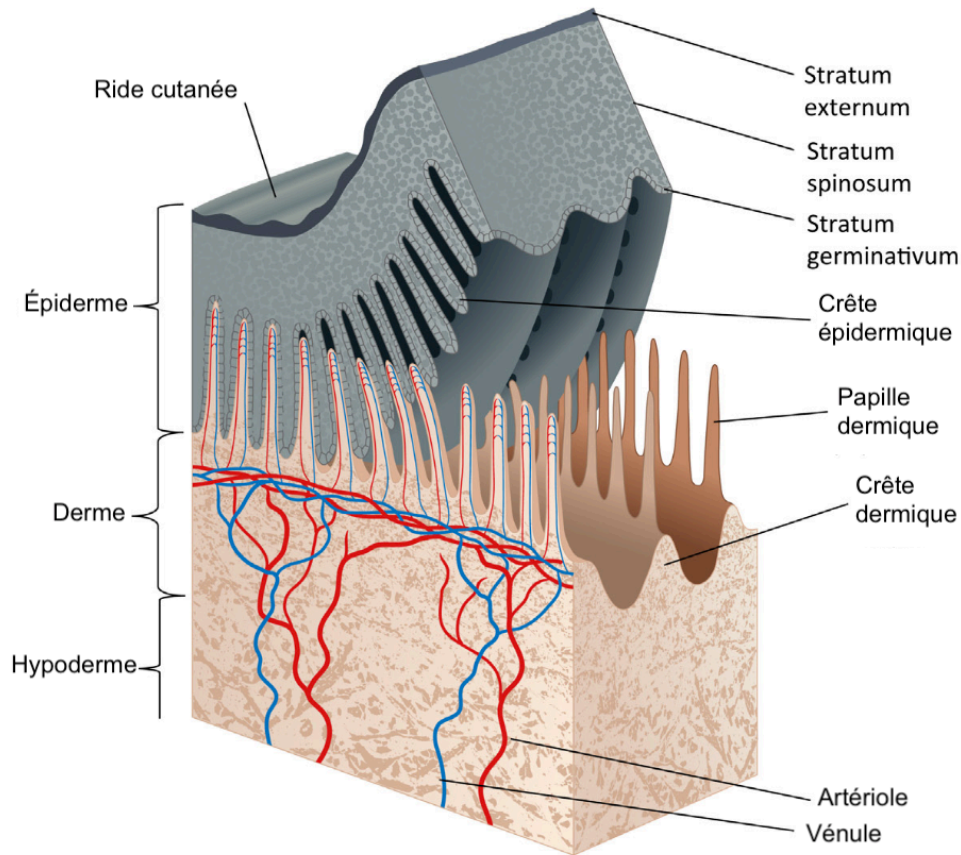


Figure 4. Représentation schématique de la structure anatomique de la peau chez les dauphins (78).

L'épaisseur de l'épiderme, et du tégument en général, varie en fonction de l'espèce et de la localisation sur le corps (65). L'épiderme mesure entre 5 et 12 mm (49, 56, 57). L'épaisseur de l'épiderme pourrait ne varier que très peu, à pas du tout, avec l'âge (49).

2.1.2.2. *Biofilm de surface*

En surface de la peau, Baum *et al.* (82) ont mis en évidence l'existence d'un biofilm lisse, mais irrégulier, qui recouvre l'épiderme, avec une alternance de plages hydrophobes et de plages hydrophiles. La quantité de cristaux de sel, de particules minérales (sable) et d'organismes épibiontes y était minime. Une analogie était faite entre ce biofilm et la couche de mucus en surface du tégument des poissons. Ce biofilm pourrait être le site primaire d'attachement des épibiontes; la faible abondance de ceux-ci en surface des sections de peau observées pourrait indiquer un processus efficace de nettoyage de la peau (desquamation, faible tension de surface, formation de gel) (83). La structure microscopique de la peau (*nanoridges*, ou stries nanométriques) et le biofilm, aussi appelé zymogel, qui la recouvre sont à l'origine des propriétés autonettoyantes de la peau (82).

2.1.2.3. *L'épiderme*

L'épiderme du béluga est constitué d'une unique couche de cellules basales, puis d'une épaisse couche épineuse (49). En superficie, les cellules malpighiennes de cette dernière s'aplatissent et forme la troisième couche cellulaire, la couche externe ou *stratum externum* (57, 65). Les couches granuleuse, claire et cornéenne sont absentes de l'épiderme des Cétacés (57, 65, 66, 84). Certains décrivent quatre couches au sein de l'épiderme des Odontocètes : *stratum germinativum* (couche basale), *stratum spinosum* (couche épineuse), *stratum intermedium* (couche intermédiaire) et *stratum externum* (couche externe) (69); d'autres utilisent le terme de *stratum intermedium* comme synonyme de *stratum spinosum*. Les termes de *stratum intermedium* ne seront pas utilisés dans la présente étude; on préférera les termes de couche épineuse ou *stratum spinosum* par soucis de clarté. En fin de compte, on comptabilise trois couches au sein de l'épiderme : la couche basale, la couche épineuse et la couche externe.

En surface de l'épiderme, le processus de kératinisation des cellules épidermiques superficielles n'est que partiel (57, 78). Chez le béluga, la coloration de Mallory a permis de mettre en évidence une quantité non négligeable de kératohyaline au sein de la couche superficielle de l'épiderme (58), signant l'existence d'un processus de kératinisation. Mais

aucun granule de kératohyaline ne s'accumule dans les cellules épidermiques de *Tursiops* sp. et *Delphinus* sp. (57, 61, 69). Bien que déformé, le noyau cellulaire peut persister dans les cellules épithéliales jusqu'à la surface, mais aucun ARN n'est identifié et le noyau disparaît au sein de nombreuses cellules épithéliales en surface (57, 66). De rares mitochondries et ribosomes ainsi que des gouttelettes lipidiques sont présents dans les cellules épithéliales superficielles (60, 85). Par conséquent, la couche épithéliale la plus superficielle a été décrite à plusieurs reprises comme parakératotique (57, 65, 66, 69). Bien que ce processus soit considéré pathologique chez les humains, dans le monde animal, il peut s'agir d'un processus physiologique chez des animaux sains, à l'instar de la poche du kangourou (66). On préférera donc ici éviter les termes de couche kératinisée, *stratum corneum* ou couche cornée pour la strate épidermique la plus superficielle. On privilégiera les termes de « couche parakératotique » ou *stratum externum*. Celle-ci mesure environ 300 µm d'épaisseur chez le béluga (49).

Des cellules dendritiques de Langerhans seraient présentes au sein des couches profondes de l'épiderme des Cétacés, voire dans les papilles dermiques, à la jonction épidermo-dermique (72, 76, 79). Toutefois, certains auteurs n'ont pas été en mesure de mettre en évidence de telles cellules dans l'épiderme (70). Elles pourraient jouer un rôle central dans les réponses inflammatoires et immunitaires (72, 79).

La présence de mélanocytes dans la couche basale de l'épiderme a d'autre part été avérée chez certaines espèces de Cétacés (57, 69, 74, 86, 87). Ces études font état de pigments dans le cytoplasme des cellules basales et des cellules de la couche épineuse, au sein des projections épidermiques (57, 86, 87).

Behrmann (73) a également démontré la présence de nombreuses concrétions calcaires, d'un diamètre allant jusque 10 µm, dans l'épiderme de plusieurs espèces de d'Odontocètes. Elles seraient localisées au sein de cellules identifiées par l'auteur comme des « scléroblastes », localisées au sein de la couche épineuse, ou bien dans l'espace extracellulaire entre les cellules épidermiques, au sein des couches épineuse et parakératotique. Leur composition chimique est variable (calcium, phosphate, oxalate, magnésium ...). Behrmann (73) a également mis en évidence la présence de corpuscules sphériques s'apparentant à des foraminifères, d'un diamètre allant jusque 15 µm, des corpuscules ayant l'apparence de rosettes, de concrétions calcaires ayant l'aspect de micro-champignons, et de concrétions de la couche épineuse, riches en silicium, s'apparentant à de la kératine.

2.1.2.4. Crêtes épidermiques et papilles dermiques

Une caractéristique particulière de l'épiderme des Cétacés est la présence de papilles dermiques proéminentes (Figure 5 et Figure 6, p. 14), longues mais d'épaisseur relativement moyenne, qui font protrusion du derme vers l'épiderme (61, 65). Leur hauteur atteint entre 43 et 85% de celle de l'épiderme selon l'espèce et la localisation sur le corps (57). Chez le béluga les papilles dermiques mesureraient entre 3 et 5 mm de hauteur (49, 57), soit environ la moitié de la hauteur de l'épiderme. À proximité de leur base, les papilles dermiques fusionnent dans une unique direction, formant alors des crêtes dermiques parallèles (Figure 4, p.10 et Figure 6, p. 14) (57, 71). En vis-à-vis, sur la face interne de l'épiderme, des sillons complémentaires des crêtes dermiques sont visibles (Figure 5) (71). Ces dernières sont perpendiculaires aux rides cutanées. L'association entre les rides cutanées (cf. §2.1.1, p. 9) et les crêtes dermiques reste incertaine (59).

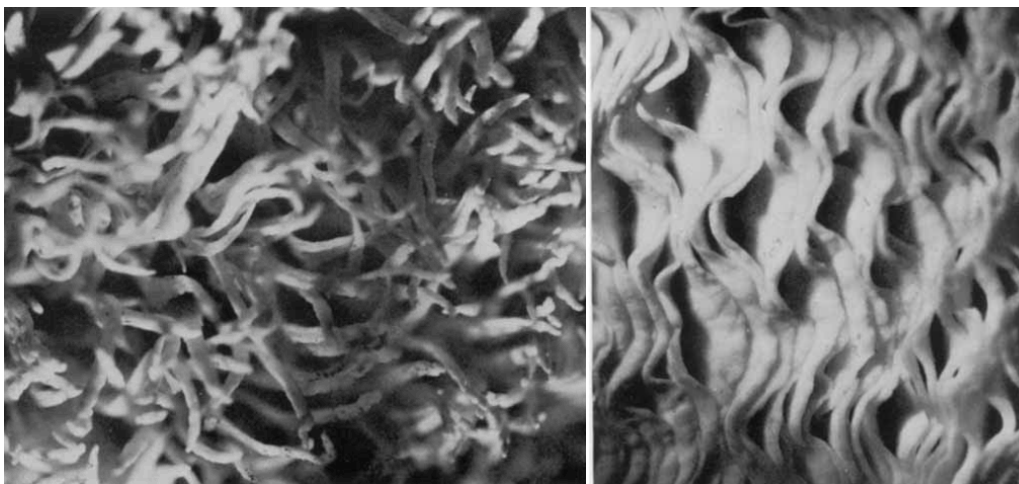


Figure 5. Photographie de la face externe du derme, montrant les papilles dermiques, et de la face interne de l'épiderme, montrant des sillons épidermiques chez le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) au grossissement x25 (88).

À l'inverse, de longues et fines projections épidermiques, parfois appelées crêtes (ou cryptes) épidermiques (49, 71), perpendiculaires à la surface du tégument, plongent dans le derme. Macroscopiquement, on peut alors voir en face interne de l'épithélium un patron alvéolaire (61); les papilles dermiques viennent s'insérer dans les alvéoles épidermiques. L'épiderme est pour ainsi dire imbriqué dans le derme.

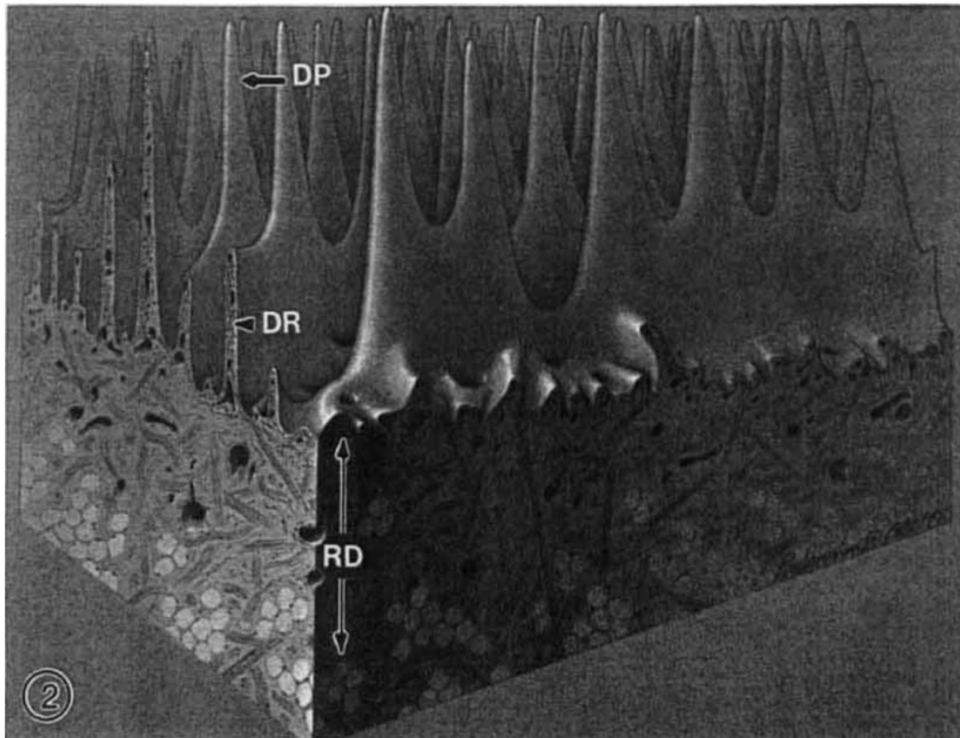


Figure 6. Représentation de la structure du derme chez le grand dauphin (*Tursiops truncatus*).

DP : papille dermique; DR : crête dermique; RD : derme sous-papillaire (71).

Cette structure de la jonction dermo-épidermique a pour conséquence d'augmenter grandement la surface du *stratum germinativum* (68, 69). Chez certaines espèces de Cétacés, dont le béluga (49), des structures fibrillaires joignent les cellules malpighiennes au derme, renforçant l'adhérence entre ces deux couches (57, 68).

2.1.2.5. Le derme

Le derme est relativement fin comparativement à l'épaisseur de l'épiderme (68). On distingue le derme papillaire, qui compose les papilles dermiques, et le derme sous-papillaire, sous-jacent à l'épiderme (61). Le derme est constitué d'une charpente conjonctive dense, principalement constituée de fibres de collagène, de fibroblastes et d'une petite quantité de fibres élastiques, qui lui confèrent tout de même une certaine élasticité (61, 68), ainsi que de vaisseaux sanguins et de terminaisons nerveuses (65). On y retrouve également des macrophages et des cellules dendritiques, qui jouent un rôle dans le système immunitaire chez le dauphin bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) (79). Le derme sous-papillaire mesure entre 2 et 5 mm d'épaisseur chez le béluga (49). L'épaisseur du derme pourrait ne varier que très peu avec l'âge (57). La

vascularisation de la peau comprend des artérioles et des veinules qui parcourent le derme parallèlement à la surface et des artérioles qui pénètrent dans les papilles dermiques perpendiculairement à la surface, connectées aux vaisseaux veineux par un réseau d'anastomoses (Figure 4, p. 10) (65). Au niveau des nageoires pectorales et de la nageoire caudale de certains Cétacés, on trouve dans le derme un plexus artério-veineux dont la structure unique ne sera pas détaillée ici (65). Le derme est structurellement différent dans ces régions : le tissu conjonctif des couches profondes du derme est formé de travées plus larges et plus denses que sur le reste du corps et leur organisation y est particulière (68). Contrairement à ce qu'on observe chez d'autres Cétacés, chez le béluga, sur l'ensemble du corps, le derme ne contient que peu à pas de tissu adipeux et il est relativement épais, ce qui en a longtemps fait une ressource de cuir pour les humains (49).

2.1.2.6. *L'hypoderme ou pannicule adipeux*

La séparation entre le derme et le pannicule adipeux est mal délimitée puisque le derme contient une petite quantité de tissu adipeux en portion profonde et que le pannicule adipeux est soutenu par une trame de tissu conjonctif (61, 65). Le pannicule adipeux est séparé du muscle peaucier par du tissu conjonctif lâche (68). Son épaisseur varie selon la saison (68), l'état de santé, l'aire de répartition, la période de reproduction, les succès de chasse, c'est-à-dire la consommation alimentaire (78), et selon la région corporelle (57). Chez le béluga, elle varierait entre 4 et 27 cm d'épaisseur (57). L'épaisseur de l'hypoderme chez le béluga du Saint-Laurent pourrait plutôt aller jusqu'à 17 cm d'épaisseur (49). La couche de tissu adipeux est plus épaisse en hiver et plus fine au cours de la saison de reproduction (57). Le pannicule adipeux du béluga, comme des autres Cétacés, est principalement formé d'adipocytes juxtaposés les uns aux autres, portés par de fines travées éparses de tissu conjonctif. Quelques fibres nerveuses et vaisseaux sanguins sont aussi présents (49, 61). Un important réseau de fins capillaires sanguins parcourent l'hypoderme chez les Cétacés (61).

2.1.2.7. *Innervation*

L'innervation de la peau des Cétacés a été relativement peu étudiée (63-65, 72), parfois occasionnellement signalée à la faveur de description histologique de la peau (56, 88). L'innervation cutanée a été principalement décrite chez le marsouin commun (*Phocoena phocoena*) (72) et chez le grand dauphin (*Tursiops truncatus*) (63). Ces deux études détaillent

une large variété de terminaisons nerveuses dont la répartition et l'abondance est variable selon les couches cutanées et la région du corps de l'animal. Des cellules de Merkel ont été identifiées dans l'épiderme de bélugas (89); il s'agit de cellules participant probablement au système neuroendocrinien et intervenant dans la sensibilité de la peau au toucher en étant associées à des terminaisons nerveuses mécanosensitives (90). Les terminaisons nerveuses auraient pour fonction la perception de la pression et de l'étirement de la peau, mais aussi, le développement des tissus, voire la proprioception (63, 72).

2.1.2.8. *Les structures annexes*

La peau des Cétacés, dont celle des bélugas, ne comporte ni poils, ni glandes accessoires (49, 61, 65). Chez la majorité des Odontocètes, les fœtus et les nouveau-nés portent des poils rigides alignés de part et d'autre du rostre, dorso-latéralement; ils disparaîtront après la naissance, sauf chez les Platanistidés (63, 67, 77, 89, 91). En revanche, aucune structure pileuse n'est présente chez les Monodontidés (*Delphinapterus leucas* et *Monodon monoceros*), même chez les embryons (57, 61, 89).

2.1.3. **Les particularités chez le nouveau-né**

Chez les bélugas, la peau des nouveau-nés se distingue par plusieurs aspects. Tout d'abord, le *stratum externum* est très épais comparativement aux adultes, caractéristique commune à l'ensemble des Cétacés (54). En revanche, le pannicule adipeux est relativement plus fin (92). Par la suite, la majeure partie de cette couche parakératotique « excédentaire » desquamera, entraînant un changement de la couleur de la peau du jeune béluga (cf. §2.1.5, p. 17).

2.1.4. **La cinétique des cellules épidermiques**

Les cellules basales se multiplient en profondeur, à proximité de la membrane basale. La capacité de prolifération de l'épiderme est onze fois plus élevée chez le grand dauphin que chez les humains (93). De façon similaire, chez le béluga, la vitesse de prolifération, évaluée ici par le pourcentage de cellules germinales marquées à la [6-³H]-thymidine après injection dans les couches profondes de l'épiderme et incubation, était en moyenne compris entre 13,8 et 16,6%; un taux 2 à 3 fois plus élevé que chez les autres Cétacés et les mammifères terrestres (94). Les différences de cinétique sont démontrées non seulement au niveau de la production mais aussi de la durée de vie, de la vitesse de migration et de la desquamation (95). Il a été avancé que cette

activité mitotique intense et continue compense la desquamation massive des cellules épithéliales en superficie.

2.1.5. La mue

L'une des particularités adaptatives des bélugas est la mue annuelle qui survient habituellement en été, lorsque les bélugas pénètrent dans des eaux moins profondes et moins salines (estuaires, baies). Préalablement, au cours de l'hiver et du printemps, les bélugas peuvent apparaître jaunâtres, notamment en surface dorsale des nageoires et du tronc (94, 96). Il a été constaté que les bélugas se frottent contre le substrat de fond, dans des eaux de profondeur variable, leur permettant vraisemblablement de se débarrasser de la peau morte (97, 98). Ce comportement est associé à un changement de la coloration de la peau des adultes, de jaune à blanc crayeux (97). Il est également observé chez des individus encore gris (98). Cette mue saisonnière a finalement été documentée chez les bélugas au nord de l'île de Baffin (Canada) et dans la baie d'Hudson (Canada) (94, 98). Ces observations ont amené de nouvelles études. Tout d'abord, il existe une nette variation de l'épaisseur de l'épiderme chez les bélugas de l'Arctique canadien (94); il est le plus épais au printemps et le plus fin à l'automne. Des éléments suggèrent une augmentation du taux de prolifération des cellules épidermiques au cours de l'été, permettant de compenser pour la desquamation massive de lambeaux de peau au cours de la mue (94, 98). Les fragments sont principalement constitués de couche parakératotique mais peuvent également contenir une portion de *stratum spinosum*, voire même l'intégralité de l'épaisseur de l'épiderme, dont la couche basale (98). Aucun signe d'inflammation n'est visible sur ces lambeaux de peau. Il a été émis l'hypothèse que la température élevée et la salinité moindre dans les estuaires en été sont des facteurs contribuant au taux élevé de prolifération des cellules basales et à l'accélération du taux de remplacement des cellules superficielles (94). Ce phénomène de mue saisonnière n'a toutefois jamais été constaté chez les bélugas de l'ESL (Robert Michaud 2018, communication personnelle).

D'autre part, il existe chez le nouveau-né un phénomène de mue de la peau fœtale (54, 56). Chez le béluga nouveau-né, l'épiderme est presque deux fois plus épais que lorsqu'il était seulement un embryon (56). La proportion de couche épineuse dominant le sommet des papilles dermiques compte pour environ 50% de l'épaisseur de l'épiderme (56). Cette structure de la peau étant instable, une mue va se produire chez le jeune, permettant la desquamation de

l'épiderme embryonnaire (56). Ce phénomène semble également être observé chez les orques (*Orcinus orca*) résidentes du Sud dans le Pacifique Nord-Ouest (99).

2.1.6. La coloration du tégument

Les bélugas sont blancs à l'âge adulte mais naissent brun foncé. Au cours des années suivant leur naissance, ils vont progressivement blanchir. Chez le nouveau-né, de nombreux grains de mélanine marrons à noirs sont présents dans la couche basale de l'épiderme (57), dans le cytoplasme des cellules basales notamment (49), ainsi que dans les cellules malpighiennes de la couche épineuse, en profondeur. Les grains de mélanine sont portés par des mélanocytes qui envoient des projections à travers l'épithélium malpighien (49). L'épithélium devient ensuite de moins en moins riche en mélanine (49, 57). À mesure qu'il vieillit, les pigments se retrouvent dans l'ensemble de l'épaisseur de l'épiderme, jusqu'à se concentrer dans les couches superficielles (57). Lorsque le jeune béluga atteint environ 2 m, il a une teinte uniformément bleu-gris sombre qui lui a valu le nom de bleuvert (49). Quelques granules pigmentés sont également portés par les cellules malpighiennes chez le bleuvert (49). Chez les jeunes adultes d'environ 2,7 m, leur peau est légèrement grisâtre et ils prennent le nom de blanchon (49). Quelques rares mélanocytes sont alors visibles dans l'épiderme et aucun grain de mélanine n'est porté par les cellules malpighiennes (49). Les adultes sont en grande majorité dépourvus de pigmentation, du fait de la disparition des pigments de mélanine dans l'épithélium (49, 57). Il n'y a pas de différence de coloration de la peau entre le mâle et la femelle (49).

2.1.7. Les fonctions de la peau

La peau des Cétacés n'est pas seulement une barrière physique exerçant passivement des fonctions diverses; il s'agit d'un organe dynamique à part entière (68). Comme chez la plupart des animaux, la peau a un rôle de protection contre l'environnement – barrière mécanique, biologique et chimique – ainsi qu'un rôle thermorégulateur et sensoriel, voire métabolique (synthèse de vitamine D). La structure de la peau des Cétacés assure ces rôles de la même façon que chez les mammifères terrestres, avec certaines modifications permettant une optimisation en milieu aquatique.

2.1.7.1. *Une surface hydrodynamique*

La forme du corps et la texture de la surface du tégument des Cétacés sont telles qu'elles limiteraient les forces de frottement de l'eau lors des déplacements des animaux. Notamment, l'absence de phanères (77, 100) et le taux élevé de desquamation de l'épiderme, en maintenant une surface lisse (95), pourraient améliorer l'hydrodynamisme des Cétacés. Certains ont suggéré que cette structure de l'épiderme permet le maintien d'un flux laminaire, et non turbulent, en surface de la peau, permettant au dauphin d'atteindre des vitesses élevées (63). Il a aussi suggéré que la peau se déforme, grâce à ses propriétés visco-élastiques, ce qui permettrait d'amortir les turbulences et de réduire la résistance dans le milieu aquatique (101). La réduction des contraintes de cisaillement grâce à une paroi cutanée souple a aussi été démontrée théoriquement (101). Un autre mécanisme qui interviendrait dans l'hydrodynamisme des Cétacés est la formation de plis cutanés lors de l'accélération, comme cela a été observé chez les dauphins (101). Ces déformations de la peau seraient dues aux gradients de pression, engendrés par les tourbillons, qu'elle subit, ou bien à des contractions musculaires actives (101). La présence de mucine en surface de la peau pourrait, selon certains, expliquer la réduction des frottements en surface de la peau des dauphins mais cette opinion reste controversée (102).

2.1.7.2. *Une barrière mécanique*

La peau des Cétacés est très lisse et sa surface est recouverte d'un zymogel (82, 103). Ces caractéristiques limiteraient l'attachement des micro-organismes à la surface. Le taux élevé de desquamation de l'épiderme pourrait également limiter la colonisation de la surface de l'épiderme par des micro-organismes ayant tendance à former des biofilms sur les surfaces en milieu aquatique (95, 103), à l'instar des bactéries, champignons et diatomées. Toutefois, ce mécanisme de protection de la peau contre l'agrégation de matière organique et inorganique en surface pourrait être altéré chez les espèces présentant une forte saisonnalité dans la desquamation de l'épiderme (103).

2.1.7.3. *Une barrière chimique*

Le zymogel qui recouvre la peau des Cétacés contient des agrégats d'enzymes hydrolytiques (peptidases, estérases, phosphatases, phospholipases, glycosidases) qui empêchent l'adhérence de micro-organismes opportunistes et de matière inorganique qui cherchent à coloniser la peau (103). De plus, comme cela a été démontré chez certains

Delphinidés, des peptides antimicrobiens du groupe de β -défensines et des enzymes lysosomales sont retrouvés dans et entre les cellules épidermiques, particulièrement en portion superficielle de l'épiderme (104). Il s'agit vraisemblablement d'un moyen non spécifique de lutte contre les micro-organismes (bactéries, virus, champignons, algues).

2.1.7.4. *Une barrière biologique*

Comme la plupart des organismes vivants, la peau saine des Cétacés est colonisée par une grande variété de micro-organismes, notamment des bactéries (105-108). Chez les humains, le microbiome contribue à protéger l'organisme contre les agents pathogènes, en concours avec les cellules épidermiques, et à moduler l'immunité cutanée (107). Chez les humains, il a aussi été montré ou suggéré que le microbiome cutané permet de réguler l'acidité de la peau, l'accumulation de lipides en surface de l'épiderme et par là même, de réguler sa perméabilité (109). Il contribuerait alors à l'homéostasie de la peau. Le microbiome cutané a été extensivement étudié chez les baleines à bosses (*Megaptera novaeangliae*). Chez une même espèce, il peut varier selon l'âge de l'animal, la localisation géographique, la période métabolique (jeun ou période d'alimentation) et, peut-être, l'état de santé (105). Chez la baleine à bosse, les genres *Tenacibaculum* et *Psychrobacter* étaient ubiquitaires et les plus abondants (105). Il était suggéré que *Tenacibaculum* jouait un rôle dans la défense contre des micro-organismes délétères de par leur capacité prédatrice (105). *Psychrobacter* était également une espèce bactérienne dominante au sein du microbiome cutané de grands dauphins et d'orques en parc océanographique (107). Jusqu'à présent, aucune étude n'a été menée pour identifier le microbiome cutané du béluga.

2.1.7.5. *Une barrière immunologique*

L'épiderme et le derme contiennent respectivement des cellules de Langerhans pour l'un, des macrophages et des cellules dendritiques pour l'autre (72, 76, 79). Ces cellules jouent un rôle dans le système de défense immunitaire cutané. Chez un grand dauphin présentant une dermatite ulcéreuse, une augmentation de la quantité de cellules caractéristiques de cellules dendritiques était constatée; celles-ci étaient positives pour des marqueurs du complexe majeur d'histocompatibilité humain de classe II par immunohistochimie (76).

2.1.7.6. Une barrière contre les rayons UV

La mise en évidence dans certaines régions du monde de l'augmentation du rayonnement ultra-violet (RUV), et notamment des rayons ultra-violet de type B (UVB), parvenant à la surface terrestre dans les années 1990 (110) a suscité des inquiétudes concernant les effets sur la santé (111). Certains chercheurs se sont alors intéressés aux lésions potentiellement associées aux UVB chez des Mysticètes (86, 87, 112, 113). En effet, en l'absence de phanère et de *stratum corneum*, la peau des Cétacés est directement exposée au RUV lorsqu'ils sont en surface de l'eau (respiration, lactation et socialisation). Toutefois, des mécanismes de protection contre les radiations, similaires à ceux qu'on observe chez les humains, existeraient au niveau de la peau des baleines. Chez les humains, les individus dont la peau est plus claire sont plus sensibles au RUV que les individus à la peau plus foncée (114). Cette hypothèse pourrait être vérifiée chez les Cétacés étant donné que chez le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), les prévalences de cloques et d'anomalies microscopiques étaient moindres comparativement à la baleine bleue (*Balaenoptera musculus*) et au grand cachalot (*Physeter macrocephalus*), plus clairs de peau (86). Au sein d'une même espèce, chez les individus dont la peau était plus riche en mélanine, certains types de dommages microscopiques étaient moindres, les cellules épithéliales apoptotiques étaient plus nombreuses et la quantité d'ADN mitochondrial endommagé, biomarqueur fiable de l'exposition cumulée au RUV chez les humains, était moindre (86, 87). Ces éléments pourraient suggérer qu'une pigmentation plus marquée de la peau conférerait une meilleure photo-protection chez les Mysticètes (86). À l'heure actuelle, aucune recherche n'a été menée sur les mécanismes cutanés de protection contre le RUV chez les Odontocètes, notamment chez les bélugas adultes dont la peau est dépigmentée.

2.1.7.7. Un lieu de la thermorégulation

Le béluga de l'ESL vit dans des eaux de quelques degrés Celsius seulement. Le tissu adipeux sous-cutané, du fait de sa faible conductivité thermique, constitue une couche isolante pour l'animal (56, 68). Chez les nouveau-nés, l'épaisseur élevée de l'épiderme permet de compenser la finesse du pannicule adipeux pour préserver la chaleur corporelle (92).

La peau joue aussi un rôle dans la thermorégulation chez les Odontocètes (78). En effet, contrairement aux grands mammifères terrestres qui régulent leur température par une combinaison de perspiration, d'hyperventilation pulmonaire, de convection et de radiation, chez

les Cétacés, l'émission de chaleur se fait par contact avec l'eau environnante, selon le gradient de température entre cette dernière et la peau (56). La vascularisation, abondante et complexe, de l'hypoderme et du derme permet le contrôle des échanges thermiques au niveau de l'ensemble de la surface corporelle (56, 68). Les nageoires pectorales et caudale sont des lieux privilégiés des échanges thermiques chez les Cétacés de par les structures vasculaires complexes évoquées précédemment (56).

Enfin, la présence de tissu adipeux brun dans le pannicule adipeux de plusieurs espèces d'Odontocètes laisse aussi supposer un rôle actif dans la thermorégulation (115).

2.1.7.8. *Un lieu de stockage énergétique*

Le tissu adipeux sous-cutané constitue une source d'énergie pour l'animal (68). Il est très riche en lipide. L'étude du protéome du pannicule adipeux chez le marsouin commun a montré la présence de nombreuses protéines associées au métabolisme lipidique (11% des 245 protéines identifiées), qu'il s'agisse de la lipogenèse ou de la lipolyse (116). Par ailleurs, plusieurs études chez des Mysticètes ont trouvé une association entre l'abondance des proies et l'épaisseur du pannicule adipeux (117, 118). En revanche, chez le marsouin commun, l'épaisseur du pannicule adipeux chez les animaux échoués et émaciés, tel que démontré par l'apparence générale de l'animal et par l'examen histologique des muscles, mesurait 50 à 60% celle d'individus en bon état corporel capturés accidentellement dans des filets de pêche (119). Chez le nouveau-né de la baleine noire australe (*Eubalaena australis*), l'épaisseur du pannicule adipeux augmente significativement après la naissance, lors de la lactation, tandis que l'épaisseur du pannicule des femelles diminue significativement au cours de la lactation, suggérant une mobilisation des réserves énergétiques pour la production de lait en période de jeun (118). Chez les jeunes juvéniles de la baleine noire de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*) et le marsouin commun, pendant le sevrage, l'épaisseur du pannicule adipeux diminue significativement (118, 120). Il a alors été suggéré que le nouveau-né accumule des réserves énergétiques au cours de la période d'allaitement, qu'il utilise partiellement au moment du sevrage (équilibre énergétique négatif) (118). Il semble toutefois que les fonctions du pannicule adipeux soient variables selon la localisation sur le corps de l'animal (121). Par exemple, chez le dauphin bleu et blanc, tandis que le pannicule adipeux dorsal et ventral contribue à la flottabilité et à la thermorégulation, il semble que le tissu adipeux sous-cutané ventral constitue principalement une réserve énergétique (121). Il a d'ailleurs été remarqué que les variations de l'épaisseur de pannicule

adipeux selon l'âge, l'état corporel ou le statut reproducteur des individus pouvaient dépendre de la localisation de la mesure (120). Plusieurs études chez différentes espèces de Cétacés s'accordent également sur la présence de plusieurs couches différentes au sein du pannicule adipeux; on leur accorde des fonctions différentes (121). La couche la plus interne serait métaboliquement active par son implication dans la production d'énergie à partir des lipides.

2.1.7.9. *Un rôle sensoriel*

La sensibilité de la peau a été relativement peu étudiée chez les Odontocètes comparativement à d'autres sens (78). De la littérature, on sait que l'innervation du tégument est abondante (56, 63, 72) mais sa structure et ses fonctions restent grandement méconnues (68, 89). Les dauphins seraient sensibles au toucher, aux vibrations et aux variations de pression hydrostatique (75, 78, 89, 101). Elle aurait également une fonction proprioceptive, comme cela a été suggéré par divers auteurs (63, 89). Pour sa part, Bel'kovich (56) émettait l'hypothèse que les colonnes de cellules épithéliales hyalinisées à l'aplomb des papilles dermiques permettaient la transmission d'oscillations mécaniques aux terminaisons nerveuses sous-jacentes. Il est probable que la peau soit pour les Cétacés un intermédiaire leur permettant de surveiller passivement leur environnement; ils ont notamment besoin de recueillir des informations sur la température, la pression, les turbulences, voire la luminosité.

2.1.8. **La cicatrisation cutanée**

Le processus de cicatrisation a été particulièrement détaillé chez le grand dauphin (122) et le béluga (123). La cicatrisation de plaie est relativement similaire au processus décrit chez les mammifères terrestres (122). Notamment, la séquence des événements aux niveaux vasculaire et cellulaire sont similaires. On va observer l'apparition de tissu de granulation, la contraction de la plaie et la régénération de l'épithélium. Quelques éléments dans le processus sont toutefois différents chez les Cétacés. Il ne se forme pas de croûte en surface de la plaie (122, 123). Cet élément pourrait contribuer à accélérer la cicatrisation (124). Chez les Cétacés, lorsqu'une plaie se forme en surface de l'épiderme, les couches de cellules épithéliales exposées dégèrent rapidement et forment une couche de tissu nécrotique qui protège les couches cellulaires sous-jacentes de l'action de l'eau pendant la cicatrisation (125). Zasloff (126) a comparé la cicatrisation chez les grands dauphins de l'Océan Indien (*Tursiops aduncus*) au processus de

cicatrisation régénératif observé chez les fœtus de Mammifères en début de gestation plutôt qu'à la cicatrisation résultant en cicatrice visible chez les mammifères terrestres.

La cicatrisation chez les Cétacés semble se faire relativement rapidement, notamment chez le grand dauphin (122, 124, 127). Cela pourrait s'expliquer par le renouvellement très rapide de l'épiderme dû à une activité mitotique intense de la couche basale, couplée à une desquamation abondante des cellules parakératotiques superficielles (69). La cicatrisation chez le béluga est relativement plus lente (123). En effet, la cicatrisation des plaies était complète au bout de 35 jours (123) contre 7 jours pour le grand dauphin (122). Ce temps de cicatrisation chez le béluga pourrait être prolongé à la saison froide (automne, hiver et printemps) (123). La différence de délai de cicatrisation entre les deux espèces pourrait être due à l'écartement majeur des bords de plaie, à l'épaisseur de l'épiderme plus importante et à un index mitotique moindre dans la couche basale de l'épiderme chez les bélugas, ou bien à des conditions expérimentales différentes (123). Chez une même espèce, le temps de cicatrisation d'une plaie peut varier substantiellement selon de multiples facteurs : alors qu'une plaie iatrogénique dans le cadre d'une étude expérimentale cicatrisera en 7 jours chez le grand dauphin (122), une plaie importante causée par une attaque de requin cicatrisera de façon conséquente en 1 mois, et sera complètement cicatrisée en 6-7 mois (128).

Certaines plaies vont cicatriser et devenir invisibles avec le temps, à l'instar des marques en dents de râteau infligées par des congénères (128). Il n'est pourtant pas rare d'observer des cicatrices distinctes chez des Cétacés (128-134). Certaines égratignures peuvent complètement disparaître en quelques semaines tandis que d'autres cicatrices, même issues de plaies superficielles, peuvent être visibles pendant cinq à vingt mois (128). La présence ou non d'une cicatrice et sa persistance dépendront essentiellement de la profondeur de la lacération et de l'ampleur de la perte de matière (127, 128). Chez les Cétacés de couleur sombre, les plaies cicatrisées apparaîtront comme des traits ou des cercles blanchâtres irréguliers (128, 135). Microscopiquement, au niveau des cicatrices, la surface de l'épiderme est en dépression et les pigments sont absents dans l'épiderme; il y a un épaississement, un raccourcissement et une irrégularité des papilles dermiques, ainsi qu'une désorganisation des fibres matures de collagène du derme (129,135). Plusieurs cas de cicatrisation de plaies très extensives ont été rapportés chez des cétacés sauvages, plus particulièrement des grands dauphins (126, 136).

2.2. Les lésions cutanées chez les Odontocètes

Des lésions cutanées surviennent communément chez les Cétacés, qu'ils soient gardés en parc océanographique ou à l'état sauvage (67). Dans cette étude bibliographique, on s'intéressera particulièrement aux lésions observées à l'état sauvage; les lésions décrites uniquement en parc océanographique seront recensées si des lésions similaires ont déjà été observées, ou sont susceptibles de survenir, chez des individus sauvages. La revue de littérature porte en priorité sur les bélugas, puis sur les autres espèces d'Odontocètes. Chez les bélugas, on s'appuiera sur quelques rapports de cas chez des individus morts échoués (6, 16, 29, 133) et en garde en parc océanographique (137, 138), ainsi que sur les observations de lésions cutanées parmi les bélugas de Cook Inlet (Alaska, États-Unis d'Amérique) (139), de la Mer Blanche en Russie (134, 140, 141) et de la baie d'Hudson orientale (100) (Annexe 2, p. iii). Il sera occasionnellement fait mention de lésions touchant des Mysticètes. Cette revue bibliographique s'intéresse aux lésions de peau visibles extérieurement, ce qui exclue les lésions touchant uniquement le pannicule adipeux (hypoderme).

2.2.1. Lésions d'origine traumatique

D'un point de vue morphologique, Lockyer et Morris (128) classaient les lésions traumatiques chez les grands dauphins en égratignures superficielles, en égratignures profondes et plaies mineures, en plaies profondes et en plaies majeures. Krasnova *et al.* (134) ont classifié les lésions suspectées traumatiques chez les bélugas en égratignures, cicatrices et bosselures. Mais le plus souvent, dans la littérature, les lésions d'apparence traumatique sont classées selon leur origine supposée. Il est parfois difficile de déterminer la cause d'une lésion traumatique à partir de son aspect morphologique (macroscopique et/ou microscopique) et celle-ci reste souvent supposée (134, 139, 142). Toutefois, dans certains cas, l'origine d'une lésion peut être confirmée car leur morphologie était caractéristique de leur cause et par exclusion d'autres causes.

On peut distinguer deux catégories parmi les lésions traumatiques observées à l'état sauvage, selon leur origine anthropique ou naturelle. Dans le premier cas, les lésions peuvent être liées à un enchevêtrement dans du matériel de pêche ou des déchets, à une collision avec un navire ou à une blessure par arme à feu (143), voire à une capture et/ou un marquage scientifique des animaux (67, 144). Autrement, les blessures peuvent être dues à des attaques de

prédateurs, à des interactions intra- ou interspécifiques, à une collision avec des morceaux de glace, à un échouage ou à des frottements contre le fond marin (67, 98, 134, 145).

Enchevêtrement dans du matériel de pêche

Parmi les lésions d'origine anthropique, certaines sont dues à des captures, intentionnelles ou accidentelles, dans du matériel de pêche (143). En phase aiguë, Greenwood *et al.* (67) rapportaient des lésions cutanées importantes dues à l'utilisation de cordes ou de filets, dont des brûlures et des ecchymoses, chez des grands dauphins, à l'occasion de captures scientifiques. Les empêtements accidentels de Cétacés dans du matériel de pêche occasionnent généralement des abrasions et des lacérations cutanées, entraînant une inflammation de la peau, du pannicule adipeux voire du muscle peaucier, notamment autour du rostre et des nageoires pectorales et caudale (146-148). Chez le grand dauphin, des lésions profondes, touchant les muscles peuvent mettre plusieurs mois à cicatriser après retrait des cordages (146). Les filets de pêche peuvent infliger aux Cétacés des blessures durables et défigurantes (149), comme l'amputation d'un appendice (146, 150). Les empêtements peuvent aussi se manifester par de simples dépressions linéaires, interprétées comme étant des lignes de constriction (130, 146). Le type de lacérations dépend du type de filet (143). Pour Luksenburg (149), le matériel de pêche étaient le premier responsable des lésions cutanées d'origine anthropique chez les Cétacés, comparativement aux hélices de bateaux, avec 53,3% des blessures d'origine anthropique observées sur des petits Cétacés attribuées au matériel de pêche.

Blessures infligées par des bateaux

Des cas avérés ou suspectés de blessures infligées par des bateaux ont été rapportés chez de nombreuses espèces de Cétacés (151-155). En 2007, Van Waerebeek *et al.* (156) recensaient des cas confirmés ou suspectés de collision avec des navires chez 26 espèces de Cétacés, néritiques ou pélagiques, à travers le monde. Les blessures associées aux hélices de bateau sont relativement caractéristiques : lacérations le plus souvent multiples, incurvées (en forme de S ou de Z), symétriques, parallèles, avec un espacement régulier, à bords nets, plus profondes au centre et superficielles aux extrémités (149, 154, 157). Elles peuvent être associées à des lésions osseuses ou des tissus mous sous-jacents mais celles-ci ne sont pas toujours visibles à l'examen à distance (154). L'amplitude et l'espacement entre les lacérations peuvent suggérer la taille de l'hélice, et donc du bateau responsable de la collision (154), mais elles dépendent aussi de la

vitesse du bateau ainsi que de la vitesse et de la position de l'animal au moment de l'impact (156). Ces blessures peuvent être mortelles ou non (146); ainsi, il n'est pas rare d'observer des lésions caractéristiques lors de suivis par photo-identification chez différentes espèces de Cétacés (156). Chez des bélugas vivants, de telles lésions ont déjà été observées en Russie (141) et en Alaska (139). Une association entre la fréquence d'observation de blessures par hélice de bateau et la fréquentation de l'habitat des animaux par des bateaux à moteur a été suspectée chez plusieurs espèces dont le béluga (141, 152). La présence de ce type de blessures était par exemple plus importante chez des bélugas occupant des eaux plus fréquentées par des bateaux (141), tandis que chez les grands dauphins de Sarasota (Floride), il a été suggéré que l'observation saisonnière de ce type de lésions pouvait en partie s'expliquer par l'augmentation de la fréquentation de l'aire de distribution des dauphins par des bateaux de plaisance (152).

Blessures par arme à feu

Des blessures par armes à feu peuvent être observées sur les carcasses d'individus échoués. L'aspect des plaies par arme à feu dépend du type et du calibre de l'arme et de la distance de tir (143). Lockyer et Morris (128) décrivait une cicatrice en forme de cratère, causée par un tir d'arme à feu chez un grand dauphin dans les eaux des îles britanniques. Mais sans accès à l'animal ou à la carcasse pour évaluer la trajectoire du projectile, il peut être difficile d'identifier avec certitude une plaie par arme à feu (143).

Lésions par interactions intra- et interspécifiques

Les lésions en dents de râteau sont définies comme des lacérations ou des cicatrices cutanées en dépression multiples, rectilignes ou courbées, parallèles, de profondeur variable, dont l'intervalle est régulier et correspond approximativement à l'espacement dentaire de l'espèce de Cétacés concernée (149). Les lésions en dents de râteau sont visibles chez une large variété d'espèces d'Odontocètes (124, 130, 149, 155, 158). Chez les grands dauphins, Lockyer et Morris (128) classaient ce type de lésion dans la catégorie « égratignures profondes et plaies mineures »; elles disparaissaient en 5 mois ou plus. Elles sont le plus souvent dues à des interactions intraspécifiques (comportement social). Ce type d'agressions a d'ailleurs été observé de façon opportuniste à plusieurs reprises chez le grand dauphin, l'orque et la baleine à bec commune (*Hyperoodon ampullatus*) (159). Les lacérations et cicatrices causées par des individus de la même espèce ont souvent été placées dans un contexte de compétition sexuelle

chez les Cétacés (159). Ces agressions entre individus de la même espèce pourraient être dues au rejet d'un partenaire sexuel potentiel par la femelle, à la coercition sexuelle ou à la compétition entre les individus du même sexe pour un potentiel partenaire sexuel. Les marques en dents de râteau pourraient également être associées à la défense de la progéniture, à la compétition pour les ressources alimentaires, à des interactions hiérarchiques ou à des comportements de jeu (124, 159). La prévalence de ces marques varie en fonction de l'espèce concernée, ce qui suggère une variation interspécifique dans l'agressivité et/ou la fréquence des interactions entre congénères (149).

D'un autre côté, il n'est pas rare de voir sur le corps des Cétacés des marques en dents de râteau infligées par d'autres espèces de Cétacés. Dans les eaux des îles britanniques, les grands dauphins sont responsables de nombreuses agressions à l'égard d'autres espèces de Cétacés : marsouin commun, dauphin commun à bec court (*Delphinus delphis*), globicéphale noir (*Globicephala melas*), dauphin de Risso (*Grampus griseus*) et dauphin bleu et blanc, surtout chez les juvéniles (160). On peut souvent distinguer les lésions infligées par des individus de la même espèce de lacérations causées par une espèce différente par l'espacement entre les lacérations, leur profondeur et leur aspect (149, 150).

Lésions associées à de la prédation

Les lésions cutanées, fraîches ou cicatrisées, causées par des prédateurs ont été observées de façon répétée chez des Cétacés (161), comme en atteste plusieurs rapports de cas et séries de cas suspectés ou confirmés (67, 132, 136, 139, 162, 163). Les prédateurs des bélugas sont principalement l'orque et l'ours blanc (*Ursus maritimus*) dans les régions boréales (32) et, peut-être, le requin dormeur du Pacifique (*Somniosus pacificus*) en Alaska (164). Des attaques de requin du Groenland (*Somniosus microcephalus*) sur des narvals et des bélugas pris dans des filets ont déjà été rapportées dans l'Océan Atlantique Nord (164). En Alaska et en Russie, des lacérations causées par des orques, voire des amputations partielles d'appendice, ont été observées chez des bélugas vivants (139, 141). C'est notamment l'espacement entre les lacérations parallèles qui permet de distinguer les morsures d'orques et les marques en dents de râteau laissées par des congénères chez les bélugas (139).

L'ours blanc n'habite pas l'estuaire du Saint-Laurent. L'orque est occasionnellement à rarement observé dans l'estuaire et dans le golfe du Saint-Laurent (165, 166). Il semblerait que

cette espèce ait été abondante dans l'estuaire du Saint-Laurent au XXème siècle : Vladykov décrivait en 1944 une « infestation » du Saint-Laurent par les orques, qui s'attaquaient aux bélugas (165). La fréquentation de l'estuaire et du Golfe par les orques a grandement diminué (165). Depuis, quelques observations d'orques dans le golfe du Saint-Laurent ont été rapportées, uniquement dans des articles de presse ou sur des sites d'information spécialisés. Le site d'information grand public du GREMM « Baleines en direct » fait ainsi état d'une vingtaine d'observations depuis 1980 (167). Ces observations ont été faites bien en aval de l'aire de distribution estivale des bélugas, sauf en 2003, au large des Bergeronnes, zone fréquentée en saison estivale par les bélugas. Aucune interaction entre des bélugas de l'ESL et des orques n'a jamais été rapportée dans les dernières décennies (Robert Michaud 2018, communication personnelle).

Lésions associées à un échouage

Lors d'un échouage, on peut voir apparaître des égratignures et des lacérations, des hématomes à la surface du corps de l'animal (67). Par ailleurs, lorsque la peau des dauphins est exposée à l'air lors d'un échouage, elle sèche et desquame tandis que des vésicules se forment (168).

Autres lésions traumatiques

Il a été suggéré que les bélugas peuvent s'auto-infliger des lacérations cutanées (98). En effet, en se frottant au fond marin, ils pourraient s'infliger de longues entailles en entrant en contact avec des fragments de roche aiguisés.

De façon anecdotique, les émetteurs fixés à distance sur des cétacés sauvages dans le cadre d'études scientifiques peuvent provoquer des lésions cutanées relativement importantes, voire des cicatrices durables, comme cela a été démontré chez le béluga, la baleine bleue et la baleine grise (*Eschrichtius robustus*) (144, 169).

2.2.2. Lésions d'origine infectieuse

De nombreux rapports de cas font état d'infections cutanées chez des individus gardés en parc océanographique. Toutefois, il convient de rappeler que la garde en parc océanographique crée des conditions environnementales et nutritionnelles artificielles qui modifient les comportements et le microbiome cutané, voire la fonction immunitaire des Cétacés (107). Cela

doit très probablement influencer l'incidence de maladies cutanées infectieuses en favorisant la prolifération de ces micro-organismes en surface de la peau.

Il est aussi intéressant de rappeler ici qu'étant donné l'environnement aquatique des Cétacés, la contamination bactérienne et fongique des lésions cutanées et des prélèvements de peau est très fréquente. L'interprétation des cultures bactériologiques et mycologiques est complexe. Il est parfois difficile de distinguer infections primaire et secondaire, voire contamination *post-mortem*.

2.2.2.1. *Lésions d'origine bactérienne*

D'après Greenwood *et al.* (67), les infections bactériennes primaires de la peau sont relativement rares chez les Cétacés. La plupart des bactéries rencontrées chez les Cétacés sont des pathogènes opportunistes (170). Elles sont souvent secondaires à des infections virales, des infestations parasitaires, des lésions d'origine traumatique ou des intoxications (130, 170). En atteste l'observation fréquente d'une pullulation de bactéries polymorphes au niveau de lésions cutanées apparues avant la mort de dauphins, ce qui les laisse suspecter une surinfection (142, 171).

Erysipelothrix rhusiopathiae

Erysipelothrix rhusiopathiae est probablement l'unique bactérie responsable d'une infection primaire de la peau chez les Odontocètes. Il s'agit d'une bactérie en bâtonnet Gram positif. Des cas d'infection à *E. rhusiopathiae* ont été rapportés chez de nombreuses espèces d'Odontocètes vivant en garde (172-182), dont le béluga (181, 183). L'infection se manifeste de façon aiguë (180, 183) à chronique (181). Dans la forme chronique, des lésions cutanées apparaissent. Elles sont relativement caractéristiques : plaques grises, bien délimitées à irrégulières, en losange ou carrées à rectangulaires, rugueuses, légèrement en relief sur les flancs de l'animal (173, 175). Histologiquement, ces plaques se traduisent par des plages focales de dégénérescence réticulaire de la couche malpighienne; le derme et le pannicule adipeux sont infiltrés par des cellules inflammatoires mononucléaires et des polymorphonucléaires. Mais les lésions ne sont pas toujours typiques, notamment au niveau du melon et du nez (171). *E. rhusiopathiae* peut aussi causer une dermatite ulcéraire multifocale, éventuellement suppurée (175, 181). Chez le béluga, la maladie peut se manifester par des zones cutanées indurées qui peuvent cicatrifier et laisser place à des zones de couleur différente suite à un traitement adéquat

(181). Outre les lésions cutanées, on peut occasionnellement observer une érosion du cartilage articulaire au niveau de l'articulation scapulo-humérale (184). La forme aiguë se traduit par une septicémie souvent mortelle. Les animaux peuvent aussi mourir après l'évolution aiguë à subaiguë de signes peu spécifiques (abattement et dysorexie par exemple), sans qu'aucune lésion cutanée n'ait été visualisée, comme ce fut le cas d'un béluga en garde (183).

Bien que cette maladie soit connue chez des animaux en parc océanographique depuis les années 1950, elle n'a été rapportée chez des Odontocètes à l'état sauvage que plus récemment. Cet agent infectieux a été isolé chez un globicéphale noir échoué sur une plage du Finistère (France) (185); ce cas s'est accompagné d'une transmission zoonotique. Plusieurs cas d'infection à *E. rhusiopathiae*, ayant éventuellement entraîné la mort par septicémie, ont été rapportés chez des odontocètes sauvages (186-190). Dans l'un des cas, des lésions cutanées typiques en forme de losange étaient signalées (189).

Les animaux pourraient se contaminer en ingérant des poissons porteurs de la bactérie, ou au contact de ceux-ci (175, 191, 192). Ils pourraient autrement se contaminer par morsure d'un autre cétacé (193).

Mycobactéries

Mycobacterium marinum et *M. chelonae* sont des bactéries de la famille des Mycobacteriacés. Il s'agit de mycobactéries atypiques, non tuberculeuses. Elles sont ubiquitaires en milieu aquatique (194, 195). *Mycobacterium marinum* est principalement responsable d'infection chez les poissons et les amphibiens, mais il infecte de façon opportune des homéothermes, dont les Odontocètes et les humains (137, 196). De façon similaire, *M. chelonae* n'infecte les Mammifères que rarement, principalement des individus immunodéprimés chez les humains (194). L'infection se fait principalement par contamination de plaie (137). Cet agent pathogène a déjà été isolé en profondeur d'une plaie chez un béluga maintenu en parc océanographique (181). Quelques années plus tard, ce même animal présentait une dermatite ulcéreuse nécro-suppurative multifocale et une panniculite pyogranulomateuse à *M. marinum* (137). Il s'agit du seul rapport de lésions cutanées à *M. marinum* chez un cétacé dans la littérature scientifique, mais Petrini (196) évoquait des cas de mycobactériose cutanée et sous-cutanée à *M. marinum* qui s'était déclarée chez des cétacés dans un delphinarium suédois. Il est intéressant de noter que ces cas se sont accompagnés d'une transmission

zoonotique. Wünschmann *et al.* (194) rapportaient également une dermatite et panniculite granulomateuse à *M. chelonae* chez un grand dauphin maintenu en parc océanographique. Aucune infection à *Mycobacterium* n'a été rapportée chez les bélugas sauvages à ce jour (6, 17, 133).

Agent bactérien apparenté à *Dermatophilus* sp.

Mikaelian *et al.* (29) ont décrit chez les bélugas du Saint-Laurent des lésions cutanées superficielles, circulaires, légèrement en dépression du fait d'un amincissement de l'épiderme, de 0,5 à 4 cm de diamètre et de couleur gris pâle. Elles étaient nombreuses et réparties aléatoirement à la surface du corps de l'animal. Microscopiquement, une spongiose marquée et une dégénérescence vacuolaire des cellules épineuses étaient décrites. Le derme sous-jacent était infiltré par une petite quantité de neutrophiles et présentait de l'œdème et de la congestion. D'après les auteurs, des structures de morphologie suggestive de *Dermatophilus* sp. recouvraient les lésions, voire s'infiltraient dans les couches superficielles du *stratum corneum*. Les auteurs n'ont toutefois pas été en mesure d'isoler *Dermatophilus* spp. par culture.

Bactéries opportunistes

La plupart des cas de dermatite bactérienne sont rapportées chez des animaux en parc océanographique (197-202) ou en cours de réhabilitation après échouage (203). Dans certains cas, ces infections bactériennes survenaient suite la capture de l'animal (197, 200). Des cas d'infection cutanée bactérienne sont aussi rapportés chez des individus sauvages retrouvés morts (147, 204). Aucun cas d'infection cutanée bactérienne chez un individu sauvage vivant n'a été documenté.

Les agents bactériens les plus fréquemment isolés dans les lésions cutanées et les abcès chez des Cétacés sont : *Streptococcus* bêta-hémolytique, dont *S. iniae* et *S. phocae*, *Staphylococcus* sp. (*S. delphini* ou *S. aureus*), *Pseudomonas* sp., *Proteus* sp., *Aeromonas* sp., dont *Aeromonas hydrophila*, *E. coli* et *E. rhusiopathiae*, mais aussi *Edwardsiella* spp. (181, 197, 203-206). On peut aussi trouver des *Pasteurella* spp. et des coliformes au sein d'abcès (205). Sur des carcasses d'odontocètes échouées, ce sont également les genres *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Moraxella*, *Pasteurella*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Proteus*, *Vibrio*, *Klebsiella*, *Micrococcus*, *Providencia*, *Serratia* qui ont été isolés au sein de lésions cutanées

(207). Des clostridies peuvent être rencontrées lorsqu'une blessure ponctiforme profonde avec inoculation de *Clostridium* (205).

Ce sont souvent des bactéries que l'on retrouve naturellement dans l'eau, comme *Aeromonas* spp., *Pseudomonas* spp. et *Vibrio* spp., tandis que *S. iniae* est une bactérie présente chez les poissons (170, 195, 208). Bien que le microbiome cutané des mammifères marins soit fortement influencé par leur environnement, il est partiellement distinct des communautés planctoniques de l'environnement aquatique; la variété de bactéries est plus importante en surface de la peau (107). Donc l'absence d'isolement d'une bactérie de l'eau de l'environnement d'un animal n'indique pas nécessairement la nature pathogène de ce micro-organisme. Certains genres de bactéries, comme *Staphylococcus* ou *Streptococcus*, sont naturellement retrouvés en surface de la peau saine chez des grands dauphins et des orques en parc océanographique, comme chez les humains (107). Cependant, chez les baleines à bosses, des bactéries *Staphylococcus* ont été isolées de la peau d'individus échoués mais n'étaient pas présentes au sein du microbiome d'individus vivants apparemment sains (105). Il est possible que ces bactéries ne soient pas naturellement présentes chez des individus sauvages mais qu'il y ait une transmission de ces bactéries de l'humain à l'animal dans un contexte de garde (107). Il existe aussi une variabilité inter-espèce des espèces bactériennes constituant la flore cutanée, mais également entre les individus d'une même espèce (107). Aussi, dans le cas d'individus échoués, l'isolement de certaines espèces bactériennes pourrait également être dû à la décomposition de la carcasse (105). La flore cutanée physiologique des Cétacés est encore mal connue, ce qui complique l'interprétation de l'isolement de bactéries de lésions cutanées.

Finalement, nombre des espèces bactériennes isolées des lésions cutanées des Cétacés sont considérées commensales ou environnementales et sont des pathogènes opportunistes (107, 170). Les infections surviendraient à la faveur de conditions de garde inadéquates, d'un stress prolongé (immunosuppression) ou d'une altération de l'état de santé (170, 197).

Chez les mammifères marins, les dermatites bactériennes se manifestent le plus souvent par une lésion cutanée d'apparence chronique centrée sur un ulcère cratériforme (205). Les bactéries du genre *Streptococcus* tendent à provoquer l'apparition de nodules sous-cutanés ulcérés, purulents et en relief (181, 204). Lors d'une infection cutanée à *Pseudomonas aeruginosa* apparaissent des ulcères profonds (170). L'aspect histologique peut varier selon la sévérité, l'extension et la nature de l'infection bactérienne. La sévérité des lésions peut être très variable

mais il arrive qu'une infection bactérienne cutanée, autrement appelée pyodermite, soit mortelle pour l'animal s'il y a diffusion par voie systémique des bactéries et septicémie (147, 204, 205).

2.2.2.2. *Lésions d'origine virale*

Poxvirose

La poxvirose est une infection virale cutanée bénigne rapportée chez plusieurs espèces de Delphinidés (85, 209). Elle est responsable de la *tattoo skin disease*, que l'on traduira ici par dermatose à motifs. À l'état sauvage, des lésions caractéristiques ont principalement été rapportées chez des Delphinidés et des Phocœnidés (85, 130, 210-216). Les infections cutanées à poxvirus sont plus rarement rapportées chez les Mysticètes, et seulement chez la baleine boréale (*Balaena mysticetus*) (195, 214). Des lésions de dermatose à motifs ont été observées dans le Pacifique, l'Atlantique, la mer du Nord, la mer Méditerranée, la mer de Tasman et le golfe du Mexique (85, 212), sous une large gamme de latitudes (85, 130, 210, 214), entre le 55^{ème} parallèle Nord, et le 43^{ème} parallèle Sud environ (212).

Chez les dauphins et les marsouins, les lésions prennent une forme de « tatouage » (*tattoo*), « petit orifice » (*pinhole*), « bague » (*ring* ou *circle*), ou « cible » (*target*); elles sont sombres (hyperpigmentées), souvent lisses mais éventuellement légèrement en relief, bien délimitées (145, 210, 211, 217). De fines lignes sombres forment des cercles ou d'autres formes sur l'épiderme, d'où les termes de « lésion en tatouage » (218). Contrairement aux infections à poxvirus rencontrées chez la plupart des autres espèces animales, il ne se forme pas de lésions papulaires ou nodulaires avec le poxvirus des Odontocètes (218). Elles sont localisées ou généralisées et les localisations préférentielles varient selon les études; elles sont isolées ou coalescentes (145, 210-213). Bien qu'une infection à poxvirus ne semble pas létale chez les Odontocètes, elle peut parfois se traduire par des lésions importantes (171, 213). Les lésions en motif semblent persister plusieurs mois, voire des années (171, 212). L'aspect morphologique des lésions de la dermatose à motifs est spécifique à poxvirus chez le marsouin commun, le dauphin commun à bec court et le dauphin bleu et blanc (215).

À l'histologie, la démarcation entre la zone touchée et la peau saine est nette (85). Dans la zone centrale de la lésion, les cellules de la couche épineuse sont pâles, leur cytoplasme est fortement vacuolisé (dégénérescence ballonisante). De nombreux corps d'inclusion éosinophiles intracytoplasmiques apparaissent dans les cellules épineuses (145), notamment

dans la zone de transition périphérique (85). L'épiderme alentour est comprimé. En surface, il y a un épaissement de la couche parakératotique en profondeur. Le changement de coloration de la peau, visible macroscopiquement, est mal compris histologiquement (218). La réponse inflammatoire associée est minime (218) ou absente (130).

Des particules de morphologie caractéristique de poxvirus ont été visualisées par microscopie électronique au sein des lésions chez la moitié des espèces mentionnées ci-dessus (85, 209-211, 215, 216). Les particules virales sont principalement intracytoplasmiques et forment souvent des agrégats au sein du cytoplasme, ce qui se traduit par des corps d'inclusion en microscopie optique (85).

De nouveaux membres de la famille Poxviridés et de la sous-famille Chordopoxvirinés sont à l'origine de la dermatose à motifs des Cétacés (214). Sur la base d'analyses PCR et du séquençage du gène codant pour l'ADN polymérase virale, le genre *Cetacean poxvirus*, comprenant 6 espèces, *Cetacean poxvirus* (CePV) 1 à 6, a été proposé et soutenu par plusieurs études (214-216).

L'épidémiologie des poxvirus est encore mal comprise chez les Cétacés. Une longue période de contagiosité et une évolution enzootique sont suspectées, ce qui suppose une coévolution des Cétacés avec ces virus (211, 212). La prévalence la plus élevée se rencontre chez les juvéniles chez les Delphinidés, tandis que des lésions sont très rares chez les nouveau-nés et les jeunes veaux, probablement protégés par l'immunité maternelle (212, 213). Les adultes sont vraisemblablement immunisés contre le virus pox et la prévalence des lésions est généralement moindre dans cette tranche d'âge de la population comparativement aux juvéniles (212). Il est suspecté qu'un mauvais état de santé, qu'un stress et un système immunitaire compromis sont à l'origine de résurgence et de la dissémination de lésions chez les adultes (85, 170, 195, 212). La prévalence et la sévérité des lésions pourraient être plus importantes chez les espèces côtières et parmi les populations vivant dans un environnement contaminé (193).

Le potentiel zoonotique de poxvirus chez les Cétacés est incertain (210) mais aucun cas de transmission à l'humain n'a été rapporté à ce jour dans la littérature scientifique. Cependant, certaines observations anecdotiques suggèrent que certains de ces poxvirus pourraient être potentiellement zoonotiques (Stéphane Lair 2018, communication personnelle).

Virus de l'otarie de San Miguel

Le virus de l'otarie de San Miguel est un calicivirus apparenté au virus de l'exanthème vésiculaire du porc causant des avortements et des lésions cutanées chez l'otarie de Californie (*Zalophus californianus*) sur l'île de San Miguel, au large des côtes de la Californie (145, 205). Un calicivirus similaire, d'un autre sérotype, a été isolé de lésions vésiculaires cutanées chez des grands dauphins et une otarie de Californie (219). Chez l'un des dauphins, les vésicules ont percé et laissé place à des ulcères (219). Les auteurs suggéraient une transmission interspécifique à l'origine de l'infection des individus concernés (faible spécificité d'hôte). Ce virus a depuis été rebaptisé *Cetacean Calicivirus Tur-1* (CCV Tur-1) (219). Il existe très peu de littérature sur le CCV Tur-1 chez les Cétacés et son écologie, sa distribution et son épidémiologie sont mal connues (193).

Papillomavirose

Chez les Odontocètes, des lésions prolifératives exophytiques épidermiques ou épithéliales ont régulièrement été observées à l'état sauvage (220-222) et en parcs océanographiques (67, 220, 223, 224). Elles sont souvent décrites comme des verrues ou des papillomes. Or, chez les animaux domestiques et des espèces non-domestiques, les papillomavirus peuvent occasionner la formation de ce type de lésions aux niveaux génital et cutané (90, 223, 225).

Chez le marsouin commun (220) et l'orque (224), des particules virales intranucléaires ont été visualisées au microscope électronique au sein des lésions hyperplasiques épidermiques. Chez le marsouin commun, l'immunohistochimie a même permis de mettre en évidence la présence d'un papillomavirus (222). La relation entre les papillomavirus et les verrues (ou papillomes) est encore incertaine chez les Odontocètes. Étant donné le tropisme génital marqué, une transmission vénérienne est suspectée chez le marsouin de Burmeister (*Phocoena spinipinnis*) et le dauphin obscur (*Lagenorhynchus obscurus*) (211), de la même façon que chez les bovins (225). La faible prévalence des lésions de type verrue ou papillome chez les populations d'Odontocètes pourrait s'expliquer par une faible contagiosité, une faible expression de la maladie (infection inapparente), la régression spontanée des lésions et le développement d'une immunité de longue durée protégeant contre la réinfection (193). L'impact de cette maladie infectieuse sur les populations d'Odontocètes est vraisemblablement minime à nul (193).

Herpèsvirose

Les infections à herpèsvirus chez des odontocètes ont été rapportées chez une large variété d'espèces, chez des animaux à l'état sauvage (226-230), et notamment chez les bélugas de l'ESL, de l'Arctique canadien et en Alaska (6, 16, 133, 231). Une infection à herpèsvirus a également été suspectée chez un béluga en parc océanographique, capturé 3,5 mois plus tôt dans la rivière Churchill (Manitoba, Canada) (232).

Les infections à herpèsvirus chez des odontocètes rapportées dans la littérature se manifestaient par une dermatose (6, 232, 233), des lésions de la muqueuse génitale (16, 233), des lésions nécrotiques aiguës systémiques (228) ou une encéphalite (226). Dans les cas d'infection cutanée, le virus semblait faiblement pathogène, n'entraînant pas de dégradation de l'état de santé général de l'animal (227). Toutefois, l'infection peut sévèrement affecter l'état de santé de l'animal, voire causer sa mort, si de multiples organes sont atteints (228) ou en cas d'encéphalite (226).

L'infection cutanée à herpèsvirus semble se manifester par dermatite nécrosante, focale ou multifocale, chez le béluga (6, 16, 133). Histologiquement, il était noté la présence de dégénérescence ballonnante des cellules épithéliales, voire des plages multifocales de nécrose de coagulation au sein du *stratum spinosum*, et de corps d'inclusion éosinophiles intranucléaires au sein des cellules épithéliales (6, 133, 232). Les papilles dermiques sous-jacentes peuvent être réduites en taille et en nombre; la présence d'un infiltrat inflammatoire dans le derme est inconstante (6, 232). Ces lésions ulcératives peuvent être surinfectées par des bactéries, Gram positif comme négatif, des protozoaires ciliés et des hyphes fongiques (228). Dans les cas décrits ci-dessus, les lésions étaient focales et ne semblaient pas associées à une condition pathologique majeure chez l'animal.

Chez un béluga de l'ESL, des particules de morphologie compatible avec un herpèsvirus ont été détectées par microscopie électronique dans le noyau de cellules épithéliales (6). D'autres lésions cutanées, présentes sur le même animal et sur un deuxième béluga, étaient similaires, mais non ulcérées – pâles et légèrement en dépression, bordé par une fine ligne noire mal délimitée. Les lésions étaient nombreuses, principalement sur la tête du premier individu (6). Elles se caractérisaient histologiquement par une nécrose épidermique superficielle. Aucune particule virale n'a été visualisée au sein de ces lésions. Les auteurs ont suggéré qu'il s'agissait de lésions chroniques d'une infection cutanée à herpèsvirus, alors que la lésion décrite

précédemment aurait été une lésion aiguë (6). La densité des particules virales pourrait dépendre du stade de l'infection. Il n'a, en revanche, pas été possible d'isoler le virus sur culture ni de doser par immunofluorescence indirecte des anticorps sériques contre le virus herpès simplex chez le béluga en parc océanographique (232).

La présence d'un herpèsvirus a été détectée par PCR au sein de lésions ulcératives chez deux bélugas de Cook Inlet, mais chez trois autres individus présentant des lésions semblables, il n'a pas été possible de le mettre en évidence (133). Chez un autre béluga de l'ESL, une lésion de la muqueuse du pénis s'est révélée positive à l'examen PCR pour herpèsvirus (16). Le séquençage du produit de PCR indiquait qu'il s'apparentait à un alpha-herpèsvirus et il partageait 79,5% d'identité avec le gène DPOL de l'Herpèsvirus bovin 5. Or, Mikaelian *et al.* (13) avaient mis en évidence, par neutralisation virale et par ELISA, des anticorps contre l'Herpèsvirus bovin 1 dans le sérum de 6 belugas sur un échantillon total de 13 individus, ce qui suggérait l'exposition des bélugas de l'ESL à un virus apparenté à l'Herpèsvirus bovin 1, appartenant de la sous-famille des Alphaherpèsvirines. Les résultats de ces deux études sont donc concordants. Rétrospectivement, des sections de lésions de la muqueuse de la cavité orale et des organes génitaux externes de plusieurs bélugas examinés entre 2003 et 2010 ont été testées et la PCR pan-herpèsvirus s'est révélée positive chez quatre autres individus, avec une séquence nucléotidique identique à la séquence obtenue chez le béluga précédent (133). Il n'a en revanche pas été possible d'isoler l'herpèsvirus par culture virale chez aucun de ces cinq individus. Le nom d'Herpèsvirus du béluga a été attribué à ce virus, supposé endémique chez les bélugas de l'ESL (16). Ce virus a également été isolé chez des bélugas de l'Alaska (16, 234). La corrélation entre les lésions des muqueuses génitales et la présence d'un herpèsvirus n'est toutefois pas clairement établie puisque les herpèsvirus peuvent infecter les animaux de façon latente et être asymptomatique (16). Il semblerait notamment que les bélugas soient porteurs asymptomatiques d'un alpha-herpèsvirus, comme en atteste la culture de virus à partir d'écouvillons de l'évent chez des bélugas sains de la baie de Bristol (Alaska, États-Unis d'Amérique) et de Cook Inlet (234).

2.2.2.3. *Lésions associées à des protozoaires*

Des protozoaires ciliés, ont été à plusieurs reprises observés au sein de lésions cutanées chez des odontocètes, sauvages ou en parc océanographique (202, 235-237). Ils ne seraient retrouvés qu'au sein de lésions tégumentaires ulcératives nécrotiques (235). Dans les cas de

dermatite ulcéreuse nécrosante à protozoaires, des infections concomitantes, bactériennes ou fongiques, cutanées ou systémiques, peuvent être rencontrées (202, 236). Outre les lésions cutanées, il peut y avoir une diffusion systémique des protozoaires et une infection des nœuds lymphatiques, des poumons et du foie (202, 236). La plupart des auteurs s'accordent pour conclure à une infection opportuniste (171, 202, 235-237). Ces infections sont le plus souvent supposées secondaires à une plaie, du fait d'une altération des défenses immunitaires locales ou systémiques (236, 237). Une condition immunosuppressive, telle qu'une infection par un Morbillivirus chez les Odontocètes, pourrait augmenter leur susceptibilité à la surinfection de plaies par des protozoaires ciliés invasifs (236).

2.2.2.4. Lésions d'origine fongique

Candida spp.

Ces champignons font partie de la flore commensale des muqueuses chez certaines espèces de Cétacés (238), et possiblement de la peau (239). Mais *Candida* est un aussi agent pathogène opportuniste (171). Les infections à *Candida spp.*, cutanées ou systémiques, sont régulièrement observées chez des Odontocètes en parc océanographique (145, 184, 193). *C. albicans* est l'espèce du genre *Candida* la plus fréquemment isolée de lésions cutanées (145, 240). L'infection à *Candida sp.* touche le plus souvent la peau au pourtour des jonctions cutanéomuqueuses ainsi que les jonctions elles-mêmes (184, 193). Les lésions peuvent devenir extensives, granuler et s'ulcérer (195). Une infection à *Candida sp.* peut être létale si elle est systémique, comme cela s'est produit chez deux grands dauphins atteints de sepsis chronique (241). Mais de telles infections sont rarement observées à l'état sauvage (240). Birkun et Miloserdova (239) ont montré la présence de *C. utilis* au sein d'une plaque mycosique chez un marsouin commun. Les infections à *C. albicans* sont souvent associées à une dépression du système immunitaire (145, 184).

Fusarium spp.

L'ensemble des cas d'infection cutanée à *Fusarium* a été rapporté chez des individus en parc océanographique ou des individus échoués en cours de réhabilitation. Un cas de dermatite ulcérate suppurée associée à la présence d'hyphes de *Fusarium sp.* a été rapportée chez un béluga adulte mâle (154) et chez une fausse orque (*Pseudorca crassidens*) (242) maintenus en parc océanographique. Des hyphes de *Fusarium spp.* ont été observés au sein de nodules

cutanés, qui peuvent progressivement s'ulcérer, chez d'autres odontocètes en cours de réhabilitation après échouage (203). Contrairement à *Candida*, *Fusarium* n'est pas considéré comme un organisme de la flore commensale de la peau des Cétacés (203). Ce serait toutefois un agent pathogène cutané opportuniste (170). Le développement d'une dermatite mycosique chez un individu est vraisemblablement multifactoriel, probablement associé à une immunosuppression secondaire à un stress (échouage, transport, réhabilitation) (170, 203, 242).

Loboa lobo* ou *Lacazia lobo

La lobomycose est une dermatose régulièrement diagnostiquée chez les dauphins en milieu naturel. Toutefois, comme cette maladie est observée en milieu tropical et subtropical, elle ne sera pas développée ici.

Autres champignons

D'autres agents fongiques ont régulièrement été isolés de lésions cutanées chez des odontocètes en parc océanographique (171). Hoshina et Sugiura (243) ont rapporté un cas de teigne à *Trichophyton* sp. chez un grand dauphin maintenu pendant plusieurs mois en parc océanographique dans des conditions de garde inadéquates, suite à sa capture à l'état sauvage. L'infection se traduisait par des nodules cutanés superficiels répartis sur l'ensemble du corps (193). Des champignons appartenant aux genres *Alternaria*, *Rhodotorula*, *Cladosporium* et *Mortierella* ont également été isolés de lésions cutanées superficielles chez des marsouins communs et des grands dauphins échoués en Mer Noire, tandis que des champignons appartenant aux genres *Trichophyton*, *Rhombophyllum* et *Hyphomyces* ont été isolés de la peau de grands dauphins uniquement (241). Il s'agit vraisemblablement d'envahissement opportuniste de la peau par ces champignons, causant des mycoses superficielles.

2.2.3. Prolifération d'algues

La présence de diatomées à la surface de la peau a souvent été signalée chez les grands Cétacés (244) mais a globalement été peu rapportée chez les Odontocètes (69). Chez les grands Cétacés, les diatomées forment des films jaunâtres en surface de la peau (67, 244). Ce pourrait également être le cas chez des orques de l'Antarctique (245). Hooper *et al.* (108) ont montré que la coloration jaunâtre de la peau des orques de l'Antarctique était positivement corrélée à la quantité d'ADN de diatomées en surface de la peau. Dans les delphinariums d'Ukraine et de

Russie, Birkun et Goldin (246) et Goldin et Birkun (247) indiquaient que des diatomées causaient la souillure de la peau des grands dauphins par le dépôt d'un film d'algues microphytiques (241). La présence de diatomées, considérée comme une découverte fortuite, a régulièrement été rapportée chez des marsouins, qu'elle ait été associée à des changements cutanés macroscopiques ou non (69, 248, 249). Quelques cellules diatomées appartenant aux espèces *Licmophora* sp. et *Nitzschia hybrida* f. *hyalina* ont été détectées en surface de la peau de grands dauphins en Mer Noire (250, 251) et des diatomées de l'espèce *Cocconeis ceticola* ont été retrouvées en surface de l'épiderme de la baleine à bec de Baird (*Berardius bairdii*), du dauphin sablier (*Lagenorhynchus cruciger*) et le dauphin de Commerson (*Cephalorhynchus commersonii*) (244).

La prolifération d'algues microphytiques sur la surface cutanée d'individus en parc océanographique pourrait être un indicateur fiable d'une dégradation de l'état de santé d'un cétacé en garde et/ou d'un défaut dans les conditions de maintenance ou de soins vétérinaires (241). À l'état sauvage, aucune association entre présence de diatomées et état de santé ou qualité des conditions environnementales n'a été pour l'heure rapportée. Les diatomées causent peu de lésions, voire aucune; il s'agirait d'épizoïtes de la peau des Cétacés, plutôt que des parasites (67).

2.2.4. Lésions associées à des parasites externes

De nombreux organismes Métazoaires peuvent coloniser le tégument des Cétacés, sous toutes les latitudes du globe. À l'examen post-mortem, ces parasites sont souvent considérés comme des trouvailles non significatives, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas considérés comme étant à l'origine de maladie (170).

Cyamidés

Deux espèces de l'ordre des Amphipodes et de la famille des Cyamidés peuvent coloniser le tégument des bélugas (252) : *Cyamus monodontis* et *C. nodosus*. Les Cyamidés sont fortement spécifiques d'espèce (253). Chez le narval, ils sont fréquemment retrouvés dans les plis de peau à la base de la défense et au sein des plaies cutanées (254). Les infestations à Cyamidés sont rarement associées à des lésions (145), sauf éventuellement une légère réaction locale. La transmission de ce parasite se fait par contact direct entre individus.

Lamproies

Les lamproies appartiennent au groupe paraphylétique des poissons et à l'infra-embanchement des Agnathes. Des lamproies, de la famille des Echeleidés, sont occasionnellement observées accrochées aux flancs des Cétacés, comme chez le dauphin sténo (*Steno bredanensis*) (255). Les rapports de cas de lésions associées à des lamproies chez des Odontocètes sont rares dans la littérature, et elles concernent le grand cachalot; mais elles ont été décrites chez quelques espèces de Mysticètes (132, 256-259). Des lésions de morsures chez des Odontocètes ont occasionnellement été attribuée à des lamproies, sans que cette hypothèse n'ait pu être vérifiée (67,145). Leur aspect pourrait être très varié.

Pennelidés

Les Cétacés peuvent être infectés par des Pennelidés qui appartiennent à la sous-classe des Copépodes parmi les Arthropodes. Le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) et le rorqual boréal (*Balaenoptera borealis*) sont les espèces les plus fréquemment infestées par *Pennella balaenopterae* (260). Toutefois, des infestations par *P. balaenopterae*, *Pennella* sp. ou des parasites de la famille des Pennellidés ont également été rapportées chez des espèces d'Odontocètes (260-265). La distribution géographique est large puisqu'elle inclut l'Atlantique Nord-Est, le Pacifique Nord, la mer Méditerranée, l'Antarctique, et les eaux islandaises (260). On retrouve ces parasites partiellement ancrés dans le tégument, jusqu'au tissu adipeux, voire au muscle cutané. Chez le dauphin de Risso et le dauphin bleu et blanc, ces parasites, retrouvés au sein d'une plaie ou incrustés dans le pannicule adipeux, étaient alors associés à une réaction inflammatoire, avec la présence de cellules histiocytaires, lymphocytaires et éosinophiles, accompagnant des micro-hémorragies (261). En 2005, une association était suspectée entre infection virale engendrant une immunosuppression et infestation parasitaire, comme l'a suggéré l'augmentation de la prévalence de *P. balaenopterae* chez des dauphins bleus et blancs à l'occasion d'une épizootie de morbillivirus (262). Il est possible également que la contamination par des polluants tels que les biphényles polychlorinés et autres d'une part, et que le degré de consanguinité au sein d'une population d'autre part, soient corrélés à la susceptibilité d'infestation par des parasites externes (262).

Balanes

Xenobalanus globicipitis est régulièrement observé sur les rebords des nageoires des dauphins de la mer Méditerranée, en Floride ou en Afrique du Sud (26, 262, 266, 267). Il s'agit d'un Crustacé épizoïte non pathogène. Chez un grand dauphin juvénile, de Wet (267) décrivait pourtant une ulcération superficielle de l'épiderme sans réaction inflammatoire associée au site d'attachement de *X. globicipitis*. Lorsque des dauphins sont échoués, on ne retrouve que des débris de coquilles blanchâtres au sein de l'épiderme (266).

Chez des dauphins bleus et blancs, à l'occasion d'une épizootie de morbillivirus, infection virale engendrant une immunosuppression, une augmentation de l'infestation du tégument par *X. globicipitis* a été notée (262).

Finalement, il est parfois difficile d'attribuer des lésions cutanées à des parasites si ceux-ci se sont décrochés. Des plaies en cratères régulièrement observées sur des Cétacés ou d'autres espèces de Vertébrés et d'invertébrés marins ont été attribuées par les chercheurs aux déplacements de balanes, à l'adhérence de copépodes, à des morsures de lamproies ou de requins pélagiques (*Isistius* spp.), aux rémoras, ou à des infections par des micro-organismes (259).

2.2.5. Lésions associées à des parasites internes

Deux cas de dermatite granulomateuse ulcérate à *Anisakis simplex* ont été décrits, chez un grand dauphin et un marsouin commun (268). Chez ce dernier, la lésion était macroscopiquement ovalaire, hyperplasique papilliforme et ulcérate, localisée ventralement entre les nageoires pectorales. Chez le grand dauphin, il s'agissait d'ulcères cutanés bordés par des zones d'hyperplasie épidermique. À l'examen histopathologique, les auteurs décrivent aussi une dermite et une panniculite chronique granulomateuse focalement extensive. Des structures compatibles avec des larves de nématodes, identifiées comme appartenant à l'espèce *A. simplex* par méthode moléculaire, étaient visibles au sein des lésions chez le marsouin. Chez le dauphin, des parasites adultes étaient visibles microscopiquement en surface des lésions, et des larves étaient présentes au sein du derme et du pannicule adipeux. Il s'agit ici d'une réaction différente de la réaction allergique par contact avec *Anisakis* observée chez les humains (268). Un défaut de la fonction immunitaire était suspecté chez chacun des deux cas. *Anisakis* sp. est un parasite fréquemment rencontré chez les Cétacés, dont le béluga du Saint-Laurent (12), qui sont les hôtes

définitifs qui s'infectent en consommant des poissons infectés par des larves L3. Parmi 38 bélugas de l'ESL échoués morts et nécropsiés, 28 étaient infectés par des parasites *Anisakis simplex*, retrouvés dans les estomacs, voire dans les intestins, l'œsophage ou la cavité buccale (12). De la même façon que chez les humains, les larves d'*Anisakis* peuvent pénétrer de façon aberrante à travers un autre organe délimité par un épithélium squameux stratifié (268).

2.2.6. Lésions associées à des hydrocarbures

Il semble que les Cétacés soient, à court terme, relativement peu sensibles à la présence de produits pétroliers dans leur environnement (269). Ainsi, des Cétacés ont régulièrement été observés en train de nager, voire de s'alimenter, dans des zones de déversements pétroliers, sans effet adverse aigu apparent. Les grands dauphins sont capables de détecter la présence de certains produits pétroliers en surface (vision, écholocation, contact) et éviteraient leur contact, mais lorsqu'ils pénètrent de façon volontaire ou par inadvertance une zone contaminée, aucun effet délétère n'est visible extérieurement. Il a aussi été montré que l'épiderme des grands dauphins est très résistant, quasiment impénétrable (269). Ainsi, des temps d'exposition de la peau à du pétrole brut supérieurs à ce qui est envisageable dans la nature n'ont provoqué aucune réaction notable macroscopiquement sur la peau de *T. truncatus*. Des changements minimes étaient présents histologiquement mais ces désordres cicatrisaient en moins d'une semaine. Quand bien même des plaies étaient présentes préalablement à l'exposition au pétrole brut ou à de l'essence sans plomb, la cicatrisation n'en était pas retardée. Les observations de Schwacke *et al.* (270) suite à l'explosion de la plateforme *Deepwater Horizon* dans le golfe du Mexique en 2010 sont en accord avec ces conclusions : ils n'ont pas remarqué d'anomalie cutanée chez des grands dauphins de la baie de Barataria (Louisiane, États-Unis d'Amérique) fortement exposés au déversement d'hydrocarbures, et de façon prolongée.

2.2.7. Les brûlures solaires

Il a été suggéré que certaines lésions cutanées rencontrées chez des Cétacés, dont l'origine restait inconnue, pouvaient être dues à des radiations ultra-violettes (RUV) (86). Chez les Cétacés, une brûlure cutanée par les rayons solaires entraîne une sécheresse de l'épiderme voire la formation de vésicules épidermiques (145). Ce phénomène est par exemple observé chez la baleine noire australe qui se maintient en eau peu profonde lors de la saison de reproduction dans le golfe San José en Argentine [observation personnelle de Ricardo M. Mandojana, 1975

cité par (145)]. Les autres rapports de cas de dermatose possiblement associée à l'exposition au RUV solaire dans la nature se limitent à des grands Cétacés : le rorqual commun, la baleine bleue et le grand cachalot (86). Des cloques étaient attribuées aux radiations solaires. On peut également observer des lésions par brûlure solaire chez des individus échoués ayant subi une exposition prolongée au soleil (261) et chez des individus en parc océanographique (67). Ainsi, chez un dauphin de Risso échoué, une brûlure a entraîné la desquamation subséquente de la peau et le développement d'une pyodermite nécrosante.

Le rôle de la couleur de la peau comme facteur de risque pour les dommages cutanés causés par le RUV a déjà été discuté précédemment (§2.1.7.6, p. 21). Le temps passé à la surface, donc le temps d'exposition au RUV, pourrait également un facteur de risque (86).

2.2.8. Les désordres osmotiques

Après immersion prolongée d'un cétacé marin dans l'eau douce, la peau apparaît détrempée et une pression appliquée sur la peau laisse une empreinte (signe du godet positif signalant de l'œdème) (69). Microscopiquement, cela se traduit par la dégénérescence hydropique des cellules épithéliales de l'épiderme [(271) cité par (65), 272]. Suite au retour en eau salée, une desquamation diffuse et importante de l'épiderme, sous forme de larges plaques ou de flocons, se produit (69). Secondairement, des plages nécrotiques ou ulcératives peuvent apparaître (65). Les lésions apparaissent généralement après 5 à 10 jours d'immersion en eau hypo-osmotique et deviennent marquées au bout de trois semaines [Southeast Fisheries Science Center, données non publiées cité par (273), 274]. D'après certains auteurs, les désordres occasionnés par l'eau douce se résoudraient généralement après le retour en eau salée (65), si l'animal y retourne avant que les lésions ne soient irréversibles, c'est-à-dire au bout d'une à deux semaines (274). Il convient toutefois de préciser que les changements cutanés observés suite à l'immersion en eau douce ne sont probablement pas réversibles à proprement parler, mais que l'épiderme endommagé desquame laissant place à un épiderme de surface sain suite au retour en eau salée (69).

Il est probable qu'un séjour en eau douce d'un cétacé marin provoque un déséquilibre du microbiote cutané. Il peut y avoir apparition un changement de couleur de la peau (272, 273). Ce pourrait être dû à la prolifération d'algues, de champignons ou de bactéries. Il est également probable que la sensibilité des cétacés marins à l'eau douce soit variable selon l'espèce puisque

certaines espèces sont uniquement marines tandis que d'autres, comme le béluga, fréquentent les estuaires où la salinité est moindre comparativement à l'eau de mer. Toutefois, aucune étude n'a été publiée à ce sujet.

2.2.9. Les défauts de pigmentation

Les défauts légers de pigmentation, hors cicatrices, figurent parmi les types de lésions régulièrement décrits chez la plupart des espèces de Cétacés, comme en atteste les rapports de cas et les classifications de lésions cutanées (23-26, 275, 276), dont le béluga (134). Il s'agit de plages localisées, restreintes, hyperpigmentées ou hypopigmentées. Des cas de leucisme et de piébaldisme ont régulièrement été rapportés chez 26 espèces de Cétacés (277-281). Des cas d'albinisme vrai étaient occasionnellement suspectés. Les plages cutanées hyperpigmentées chez les Cétacés, dont le béluga, sont plus rarement rapportées, comme en atteste le nombre moindre de mentions de ce type d'anomalie cutanée dans la littérature (134, 282, 283); cela tient probablement du fait que peu d'espèces présentes des zones de couleur claire en face dorsale, c'est-à-dire sur la face principalement visible chez les individus en eaux libres. Dans certains cas, il ne s'agissait pas seulement d'une plage ponctuelle hyperpigmentée; les individus étaient intégralement noirs (282, 283).

2.2.10. Lésions tumorales

La peau est un site relativement fréquent de développement de tumeurs chez les Cétacés (284), puisque dans une revue de 41 lésions tumorales confirmées et rapportées chez des Odontocètes et des Mysticètes, 24% concernaient la peau (220). Toutefois, cet apparent tropisme cutané pourrait être surestimé étant donné la facilité d'évaluer la condition cutanée comparativement à d'autres organes. Le tableau en Annexe 3 (p. x), modifié à partir de la revue de littérature réalisée par Geraci *et al.* (220), énumère l'ensemble des cas de tumeurs cutanées rapportées chez des Cétacés dans la littérature jusqu'à nos jours.

Les fibromes figurent parmi les types tumoraux les plus fréquemment rencontrés chez les Cétacés, mais la validité du diagnostic est parfois incertaine voire douteuse (220). Ce sont des tumeurs bénignes. Les papillomes ont été rapportés chez une grande variété d'Odontocètes et de Mysticètes, souvent sur la muqueuse pénienne, mais également sur la peau. Il s'agit généralement d'une masse cornée fissurée, surélevée voire pédiculée, auto-limitante (220). On distingue le papillome squameux et le fibropapillome (220). Des fibropapillomes sont

fréquemment rencontrés chez les bélugas du Saint-Laurent, sous la forme de polypes sessiles ou pédiculés, au pourtour de l'évent et à l'entrée des sacs aériens (Stéphane Lair 2018, communication personnelle).

Les mécanismes engendrant la formation de néoplasies sont très peu compris chez les Cétacés. De nombreux facteurs endogènes et exogènes peuvent entrer en jeu. Il a fréquemment été démontré chez les animaux domestiques une relation entre infection par des papovavirus et les papillomes (90). Des particules virales peuvent parfois être observées par microscopie électronique (220, 222, 224). Van Bressem *et al.* (222) ont suggéré une association entre l'infection par un papillomavirus, mis en évidence par immunohistochimie au sein de verrues cutanées chez un marsouin commun, et ces lésions (222). Chez les lamantins (*Trichechus manatus latirostris*), deux types de papillomavirus sont suspectés être responsables de la formation de papillomes cutanés (285). Toutefois, chez les animaux domestiques, certains papillomes, qui apparaissent le plus souvent chez les jeunes individus et se résolvent spontanément, sont induits par les papillomavirus, tandis que d'autres, d'origine non virale, sont des processus tumoraux observés chez les individus âgés et ne régressent pas (225). Par ailleurs, chez les bélugas du Saint-Laurent, des structures intracellulaires compatibles avec des particules virales ont été observées au sein de papillomes gastriques; les auteurs suspectaient l'appartenance de ce virus à la famille des papillomavirus ayant causé une épizootie à la fin des années 1980 (9).

Certains polluants organiques et inorganiques sont très souvent suspectés, voire reconnus, être cancérigènes. Chez les bélugas du Saint-Laurent, l'exposition à des polluant persistants, comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques, a été suggérée comme cause pour expliquer l'occurrence inhabituellement élevée de néoplasies dans cette population (7-9). La fréquence élevée de tumeurs observée dans la population de bélugas du Saint-Laurent dans les années 1980 à 2000 pourrait également s'expliquer par la perte de diversité génétique ainsi que par une différence de sensibilité, de métabolisme ou d'exposition (alimentation) comparativement aux autres espèces de mammifères marins vivant dans l'estuaire (9). Toutefois, les cancers cutanés restent exceptionnels chez les bélugas du Saint-Laurent, avec seulement un cas rapporté; les autres cas touchaient préférentiellement les systèmes digestif et reproducteur (8).

2.2.11. Autres types de lésions

Aucune lésion cutanée associée à des désordres endocriniens n'a été rapportée chez des Cétacés sauvages jusqu'à présent. Cela repose peut-être sur le fait que très peu d'informations sont publiées en ce qui concerne le système endocrinien chez ces espèces (299). Par ailleurs, pour certaines lésions cutanées observées chez des individus sauvages, la nature et les causes restent indéterminées, notamment chez les bélugas (6, 100, 134, 139).

2.3. La peau comme indicateur de l'état de santé de l'animal

Chez les Cétacés, de nombreuses lésions cutanées semblent apparaître suite à, ou être favorisées par, une immunosuppression de l'animal, comme les infections cutanées à poxvirus ou les infections fongiques. Chez les dauphins, l'intensité de l'infestation cutanée par des parasites de la famille des Pennélidés pourrait être corrélée à l'état de santé de l'animal, et notamment à une immunosuppression causée par un Morbillivirus (262). La qualité de l'environnement pourrait être un autre facteur impliqué pour d'autres anomalies cutanées ou dermatopathies, comme la prolifération de diatomées, ou la lobomycose, comme cela a été suggéré par certains auteurs (287, 288).

De nombreux chercheurs ont alors suggéré l'utilité de l'étude des lésions cutanées chez les Cétacés pour évaluer leur état de santé, à l'échelle individuelle ou de la population (25, 26, 140, 193, 212, 289). Le suivi de l'infestation parasitaire tégumentaire pourrait également être un indicateur intéressant de l'état de santé chez les Cétacés (260, 262, 289). Il a aussi été suggéré que l'état de la peau des Cétacés est un indicateur de la qualité de leur environnement, que ce soit en parc océanographique (241) ou à l'état sauvage (290).

Certains ont mis en œuvre l'évaluation de la pertinence de ces indicateurs comme outil d'évaluation de la santé de Cétacés. Dans une étude visant à faire de la photo-identification un outil d'évaluation de l'état de santé des baleines noires de l'Atlantique Nord, Pettis *et al.* (289) ont comparé des baleines possiblement mortes dans l'année suivant la capture photographique, comme le suggérait l'absence d'observation de l'individu durant les cinq années suivantes, et des baleines encore en vie. Pour la période 1991-1995, les scores de condition cutanée et de parasitisme au pourtour de l'évent (Cyamidés) étaient significativement plus mauvais chez les baleines suspectées mortes par la suite. Ceci pourrait suggérer que l'état de la peau et la présence de parasites externes constituent des indicateurs fiables de l'état de santé de l'individu. Dans

une étude observationnelle transversale menée chez des cétacés pour identifier des facteurs associés à la présence de poxvirose cutanée, les auteurs ont observé une association entre le fait de mourir en mauvais état de santé (émaciation, maladie infectieuse ou parasitaire), à l'inverse de mourir d'un traumatisme, et la présence de dermatose à motifs chez le dauphin commun à bec court et le marsouin commun des îles britanniques, avec un rapport de cotes de 7,16 significativement différent de 1 d'après un test exact de Zelen unilatéral (212).

Toutefois, dans la littérature, les déclarations relatives à la pertinence des dermatopathies comme indicateur de santé chez les Cétacés restent souvent spéculatives et cette discipline comme outil non invasif de surveillance sanitaire des populations de Cétacés demande encore à être développée.

3. La photo-identification chez les Cétacés

3.1. Principe de la photo-identification

Il est très difficile de suivre les populations de Cétacés à travers le monde étant donné qu'il s'agit d'espèces élusives, en mouvement constant, occupant de très larges aires de répartition. Au cours de la première moitié du XX^{ème} siècle, l'étude des Cétacés reposait sur l'identification d'individus par marquage volontaire (étiquettes ou marquage au froid par exemple). Ce n'est qu'au cours de années 1960 à 1970 que la photo-identification s'est développée. Cette méthode a vite gagné en popularité étant donné son caractère non invasif.

Le principe de la photo-identification repose sur le fait que les caractéristiques morphologiques, les cicatrices et les marques cutanées naturelles sont spécifiques de chaque individu d'une espèce. Les animaux sont donc identifiables individuellement. Leur suivi dans le temps et dans l'espace permet de tirer de nombreuses informations concernant leur biologie, leurs déplacements, leurs comportements et la structure sociale de la population. Michael Bigg (orque), Chuck Jurasz (baleines à bosse) et Roger Payne (baleines noires) ont été les pionniers de cette méthode d'étude des Cétacés à la fin des années 1960 et au début des années 1970 (291). Préalablement au développement de cette technique, certains scientifiques utilisaient la reconnaissance individuelle des Cétacés, mais l'identification était de meilleure qualité grâce à l'usage de la photographie : parmi les membres de 43 groupes de grands dauphins observés en 1986 et 1987 le long des côtes de Floride, ce n'était que 89% des individus connus grâce à la photo-identification (au moins quatre photographies disponibles par individu) qui étaient correctement reconnus par « identification instantanée » (292). L'utilisation d'une telle technique a depuis fait ses preuves dans le domaine de la recherche en biologie marine chez certaines espèces (orques, baleines à bosse, baleines noires par exemple), alors que pour d'autres espèces, elle ne semble pas applicable (dauphin du Gange, *Platanista gangetica*). Cette approche a été consacrée par l'organisation d'un atelier dédié à la reconnaissance individuelle des Cétacés par la photo-identification (et d'autres techniques) pour estimer les paramètres de population par la Commission baleinière internationale en 1990 (291).

3.2. La technique de photo-identification

Comme mentionné précédemment, la photo-identification repose sur le fait que les individus d'une population de Cétacés sont reconnaissables par des caractéristiques morphologiques et des marques cutanées. Ainsi, on reconnaîtra les baleines noires grâce aux callosités, voir d'autres cicatrices cutanées. Les dauphins sont identifiables grâce à leur nageoire dorsale et à leurs cicatrices (293, 294). La première étude qui a fait usage de l'aptitude à distinguer individuellement des bélugas remonte à 1985, dans la baie d'Hudson, et reposait sur la présence de cicatrices [(295) cité par (294)]. Mais les bélugas sont également reconnaissables individuellement grâce aux encoches sur leur crête dorsale. D'autres marques corporelles peuvent servir à identifier les individus sur une courte période, à l'instar des morsures sur lesquelles on peut se reposer pendant 6 à 12 mois chez le grand dauphin (296). Irvine *et al.* (297) et Scott *et al.* (298) ont confirmé la validité de cette méthode d'identification des petits Cétacés en la comparant à l'utilisation de différents types de marqueurs artificiels (294).

Le succès de la photo-identification repose sur de nombreux éléments : l'équipement et la technique photographique, la collecte de données de terrain, la méthode d'approche des animaux, le comportement de l'espèce et des individus, la stratégie d'échantillonnage et la classification.

La première étape correspond au travail de terrain, la capture photographique des individus de la population d'intérêt. La méthode de capture photographique des individus d'une population dépendra de l'objectif de l'étude (293, 294). Pour certaines espèces, comme la baleine à bosses, une seule photographie latérale pourra suffire à l'identification d'un individu, tandis que chez d'autres espèces, il est recommandé de prendre de multiples photographies pour permettre l'identification, ce qui nécessite de consacrer plus de temps à la capture photographique d'un seul individu (293). Bien que certaines espèces soient mieux identifiables avec une vue aérienne, les bélugas seront identifiés grâce à des photographies latérales. L'approche en bateau doit être douce et, de préférence, dans le sens du mouvement des bélugas, en s'approchant progressivement d'eux (293). Il est important de choisir correctement, au préalable, le matériel de photographie qui sera utilisé au cours de la campagne de photo-identification (293, 294). Les photographies doivent s'accompagner de données de terrain, telles des informations sur la taille des groupes rencontrés ou les conditions météorologiques (293).

Ensuite, il faut rassembler les photos prises au cours d'une campagne de photo-identification et identifier les individus connus et les nouveaux. À l'heure du traitement des photographies prises au cours d'une campagne, il est important de juger la qualité des photographies ainsi que le potentiel de reconnaissance des individus sur ces photographies (293). Le succès de reconnaissance des individus identifiés et des nouveaux individus dépend partiellement de l'expérience de la personne responsable de l'identification (299). Suite à la campagne de photo-identification, l'utilisation de logiciels informatiques peut grandement aider l'analyse des photographies. Ils ont recours à des algorithmes d'appariement de formes et de motifs pour apparier les nouvelles photographies avec celles d'un individu déjà identifié (300-302). Ils permettent aussi l'organisation des clichés photographiques et des données. En effet, le succès d'une campagne de photo-identification repose aussi sur l'organisation du catalogue et de la collection de photographies, avec les données associées. Le catalogue de photographies correspond aux « photographies d'identité » des individus reconnaissables (293).

Finalement, la photo-identification est une méthode relativement peu dispendieuse et peu invasive pour l'étude des populations de Cétacés pouvant annuler la nécessité d'un permis de recherche ou faciliter son obtention.

3.3. Quel usage pour les photos tirées

La photo-identification scientifique a connu un succès indéniable chez les chercheurs grâce aux multiples usages qu'il peut être fait des données recueillies.

La photo-identification est utilisée pour évaluer l'abondance d'une population grâce à la méthode de capture-recapture (303). Elle repose sur les mêmes principes que la méthode de comptage par capture-recapture physique, avec l'avantage d'être moins invasive pour les animaux et de permettre l'obtention d'un plus grand échantillon. Elle donne aussi des meilleures estimations des paramètres de population que les comptages par identification instantanée des individus d'une population (292). Il est également possible d'estimer les proportions de plusieurs tranches d'âge au sein de la population, et d'étudier leur évolution au cours de temps (28).

La photo-identification permet de mieux comprendre l'organisation sociale des populations d'une espèce. L'identification individuelle des membres d'un groupe permet de déterminer de façon précise le nombre d'individus composant un groupe et sa composition, selon les espèces.

La photo-identification a par exemple été utilisée pour déterminer l'âge des dauphins de Risso (304) ou le sexe des grands dauphins (305) à partir de la morphologie du corps et/ou l'aspect de la peau. Avec un suivi régulier, il est possible de connaître la stabilité des groupes au sein d'une population (296).

Le principe de photo-identification permet aussi d'évaluer d'autres paramètres de population chez les Cétacés, tel que les taux de survie (291). Des informations peuvent également être obtenues sur les traits d'histoire de vie des Cétacés, comme l'âge à la maturité sexuelle, l'intervalle de mise-bas ou la durée de l'activité de reproduction (291).

Il est également possible d'évaluer la fidélité des individus d'une population au sein d'une zone géographique (306). Le renouvellement de la campagne de photo-identification d'une année sur l'autre et la comparaison des catalogues d'individus identifiés au sein de zones géographiques distinctes permet de connaître leur fidélité à un site ou, le cas échéant, leurs mouvements. La comparaison des individus observés dans différentes régions du monde permet de déterminer partiellement les routes de migration de certaines espèces de Cétacés, à l'instar des baleines bleues dans le Pacifique Nord (307) ou des baleines à bosse dans l'hémisphère Sud (308).

La photo-identification a été utilisée par les comportementalistes pour palier au défaut d'observation directe chez des espèces élusives vivant dans de larges espaces auxquels notre accès est restreint. Ainsi, elle constitue une technique précieuse d'analyse des associations entre individus (309). L'analyse des lésions cutanées sur clichés photographiques est aussi occasionnellement utile au comportementaliste. Cette méthode d'étude indirecte a notamment permis de mesurer la fréquence des agressions physiques intraspécifiques quand leur observation directe n'était pas possible : chez le dauphin de l'Océan Indien (*Tursiops* sp.) (124) et chez le dauphin obscur (159) par exemple.

3.4. Surveillance des lésions cutanées

Historiquement, les principaux moyens d'étude des maladies chez les Cétacés étaient l'analyse des carcasses d'animaux chassés (310-313) ou échoués (130, 155, 237, 287), voire l'évaluation d'animaux capturés accidentellement (148, 287). Toutefois, cette approche pose un problème éthique (chasse) ou de représentativité (échouages, capture dans les filets). Des opérations de capture-relâche ont également permis l'examen d'individus pour certaines espèces

(26, 276), mais là encore, des questions éthiques et logistiques (moyens matériels, humains et financiers) se soulèvent et l'échantillon est généralement de petite taille.

Le recours à la photo-identification pour étudier les lésions cutanées s'est développé bien ultérieurement à l'apparition de la photo-identification en cétologie. En 1992, Thompson et Hammond (23) ont tenté d'identifier des maladies cutanées au cours de projets impliquant de la photo-identification chez des grands dauphins. Ils ont alors été les premiers à suggérer l'utilité de la photo-identification pour identifier et évaluer la prévalence de certains signes externes de maladie, de façon non-invasive, en complément des examens *post-mortem* pratiqués sur des individus morts échoués (23). Depuis, plusieurs études décrivant les lésions cutanées à partir de photographies ont été menées chez des cétacés sauvages (24-27, 132, 149, 158, 159, 270, 287, 288, 314-321), dont le beluga (134, 139).

La surveillance photographique systématique et sur le long-terme des lésions cutanées chez les Cétacés permettrait d'estimer leurs prévalences, l'évolution de chacun des types de lésion et la survie des individus affectés (23). Secondairement, il est possible d'évaluer le niveau d'interaction néfaste des Cétacés avec les humains et leurs activités (enchevêtrement dans des filets de pêche, collision avec des bateaux), parfois responsables du déclin des populations de Cétacés (146, 316, 320, 322). Ce type d'étude aiderait à évaluer l'impact de la pollution environnementale sur les populations de Cétacés (23, 288). Enfin, l'un des objectifs de l'étude des lésions cutanées par photo-identification mis en avant par les chercheurs est la surveillance de la santé des Cétacés. En effet, la condition cutanée constituerait un proxy pour évaluer la santé de l'individu, du groupe et de la population (§2.3, p. 48).

Il est important de poursuivre le développement de cette nouvelle technique d'évaluation de la santé des Cétacés. Outre l'intérêt de connaître l'état de santé à l'échelle individuelle, cela pourrait permettre de mieux évaluer la santé de l'écosystème dans lequel ils évoluent. En effet, les Cétacés sont souvent considérés comme des sentinelles écologiques de leur environnement. Le concept de sentinelle écologique constitue une approche à part entière pour évaluer la santé d'un écosystème, aquatique dans le cas ici présent (323). Une sentinelle donne des indices et alerte sur l'existence de facteurs actuels ou potentiels à impact négatif sur la santé animale à l'échelle individuelle ou de la population (323). Ces mêmes facteurs peuvent également avoir un impact négatif pour la santé humaine ou l'environnement et leur détection précoce grâce à la surveillance des sentinelles permet de mettre en place des mesures de gestion adéquates pour

prévenir ces effets négatifs (323). Les mammifères marins constituent de très bonnes sentinelles pour l'écosystème marin car ils utilisent principalement les zones côtières, qu'ils partagent avec les humains, ils ont une longue espérance de vie, ils se situent en haut de la chaîne alimentaire et partagent leurs ressources alimentaires avec les humains, ils possèdent un pannicule adipeux dans lequel s'accumule une grande quantité de polluants et ils sont très charismatiques, ce qui leur vaut beaucoup d'intérêt (323). Le suivi des Cétacés par photo-identification constituerait un outil précieux pour surveiller la santé des animaux au travers de l'état de leur peau et par là même, on pourrait en déduire la qualité de l'environnement dans lequel ils évoluent et évaluer, voire prévenir, les risques éventuels pour la santé de l'écosystème marin et des humains.

L'utilisation de la photo-identification pour évaluer les lésions cutanées est toutefois une méthode qui a ses limites. Tout d'abord, il faut que les clichés soient de qualité suffisante. L'évaluation de la prévalence des lésions cutanées par le biais des clichés de photo-identification est très conservatrice (prévalences minimales) puisqu'avec cette méthode, seule une portion très limitée du corps de l'animal est visualisée. Cet élément est d'autant plus vrai chez les bélugas du Saint-Laurent qui ne montrent qu'occasionnellement leur queue et qui ne possèdent pas de nageoire dorsale. De plus, si on ne dispose pas de suffisamment de données anatomo-pathologiques et microbiologiques sur les différents types de lésions cutanées observés, on ne peut que spéculer sur la cause des lésions et les facteurs de risque. Leur signification vis-à-vis de la santé de l'individu et de la population reste souvent hypothétique. Jusqu'à présent, peu d'études rassemblent des données épidémiologiques tirées de photographies et des données anatomo-pathologiques spécifiques à l'espèce, voire à la population (276, 287, 315). Les analyses épidémiologiques à partir des photographies sont également limitées puisque souvent, l'âge exact et le sexe de l'individu ne peuvent pas être déterminés à partir des clichés (276). On peut distinguer les nouveau-nés des adultes mais il est souvent difficile d'identifier correctement les juvéniles chez de nombreuses espèces de Cétacés. Par ailleurs, chez certaines espèces, il existe une hétérogénéité de la probabilité de capture photographique entre individus d'une population, en fonction de la classe d'âge, du sexe et du statut reproducteur (292, 324). Il est donc important de prendre en compte cet élément à l'heure de calculer des prévalences par exemple. Aussi, jusqu'à présent, pour des raisons pratiques, les études par photo-identification ont uniquement concerné des espèces côtières, au moins partiellement.

3.5. Le programme de photo-identification chez les bélugas du Saint-Laurent

Le programme de photo-identification des bélugas de l'ESL a réellement débuté en 1989. Il est assuré par le GREMM. Il s'agit à l'heure actuelle de la banque de photographies de bélugas la plus ancienne. Les campagnes de photo-identification sont réalisées annuellement entre les mois de mai et octobre.

Étant donné que le béluga est de couleur uniforme, blanche à l'âge adulte, qu'il ne possède pas de nageoire dorsale mais une crête dorsale, et qu'il n'émerge que rarement sa nageoire caudale, il constitue un sujet plus difficile pour l'identification individuelle par photographie comparativement à d'autres espèces de Cétacés (134). En règle générale, seule la portion dorsale de son corps, entre l'évent et la base du pédoncule caudal est visible hors de l'eau lorsque de béluga remonte à la surface. Ainsi, la photo-identification chez le béluga repose principalement sur les particularités morphologiques, les marques et cicatrices cutanées de la face dorsale du tronc et les encoches de la crête dorsale (134). De plus, aucun logiciel informatique n'est actuellement suffisamment performant pour identifier les bélugas à partir des photographies de façon satisfaisante et, au GREMM, ce travail est effectué par du personnel expérimenté de façon collaborative, travail long et fastidieux. Ce ne sont finalement qu'environ 600 individus qui sont connus dans l'ESL. L'étude de la population des bélugas de l'ESL par photo-identification a tout de même permis d'évaluer les proportions de nouveau-nés et d'individus juvéniles au sein de la population globale (28). Il a été possible de détecter une période de faible production de nouveau-nés entre 1999 et 2004 suivie d'une baisse de la proportion de juvéniles entre le milieu et la fin des années 2000 (baisse du recrutement des juvéniles dans la population).

D'autres populations de bélugas font l'objet d'un suivi photographique. Les premières tentatives d'identifier individuellement les bélugas de la Mer Blanche ont été réalisées en 2003 par Kryukova et Bel'kovich (325), et ce n'est que quelques années plus tard qu'un suivi photographique régulier de la population a été instauré (134). La population de béluga de Cook Inlet est, quant à elle, suivie par photographie sur une base régulière depuis 2005 (139). LGL Alaska Research Associates (139) ont été capables d'estimer l'abondance des bélugas de Upper Cook Inlet. Dans la Mer Blanche, la photo-identification a été utilisée pour évaluer les lésions cutanées chez les bélugas (134). Ces programmes fournissent des informations essentielles à la bonne gestion des populations.

Chapitre 2 – Article scientifique « Atlas and frequency of skin lesions observed during photo-identification surveys of belugas (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary, Quebec, Canada »

ROZENN LE NET, Centre québécois sur la santé des animaux sauvages / Canadian Wildlife Health Cooperative, Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal, 3200 rue Sicotte, St. Hyacinthe, Québec J2S 2M2, Canada; SYLVAIN LARRAT, Clinique vétérinaire Benjamin Franklin, 38 rue du Danemark, ZA Porte Océane 2, 56400 Auray, France; ROBERT MICHAUD, Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM), 108 de la Cale-Sèche, Tadoussac, Québec G0T 2A0, Canada; STÉPHANE LAIR, Centre québécois sur la santé des animaux sauvages / Canadian Wildlife Health Cooperative, Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal, 3200 rue Sicotte, St. Hyacinthe, Québec J2S 2M2, Canada.

1. Abstract

Our knowledge on the diversity, frequency, and causes of skin lesions in free-ranging belugas (*Delphinapterus leucas*) is limited. The objectives of this study were 1) to establish a classification system of skin lesions in belugas from the St. Lawrence Estuary based on macroscopic appearance, and 2) to estimate the frequency of skin lesions categories (SLC) observed during photographic surveys of this population. A list of 18 SLC was suggested and their frequency on St. Lawrence Estuary belugas was assessed using 26,020 photographs, representing 5,388 randomly selected individual sightings, collected from 2003 to 2014 as part of a photo-identification program. In individual sightings of gray and white belugas, “rake marks” (gray: 77.2%; white: 69.5%), “single linear scars” (gray: 55.1%; white: 55.0%), and “circular depressions” (gray: 39.9%; white: 34.9%) were most often observed, while “single linear fissures” (21.9%), “single linear scars” (19.2%) and “ulcer-like lesions” (17.1%) were most frequent in individual sightings of neonates. Possible causes of SLC are discussed. “Yellow patches”, “circular depressions” and “map depressions” may be partly associated with seasonal molting in gray and white belugas. Postnatal molting could partly account for “ulcer-

like lesions” and “single linear fissures” in neonates. The potential cause and significance of most SLC observed here remain largely undetermined.

Key Words: beluga, Cetaceans, *Delphinapterus leucas*, dermatology, lesions, photo-identification, skin, St. Lawrence Estuary.

2. Introduction

Beluga, *Delphinapterus leucas*, inhabits cold waters across the Arctic and subarctic (O’Corry-Crowe 2009). Several distinct populations have been identified and exhibit different distribution areas, migratory patterns, habitat preferences, diets, behaviors, genetics and morphology (COSEWIC 2016). The population residing in the St. Lawrence Estuary occupies the southernmost part of the distribution area of the species (COSEWIC 2014). With an estimated annual decline of about 1% of the population during the last decade, and a population estimated to be less than 900 individuals in 2012 (Mosnier *et al.* 2015), the population of belugas of the St. Lawrence Estuary was listed as “endangered” in 2014 (COSEWIC 2014).

Photo-identification, shortened to photo-id, is a non-invasive technique that was developed in the 1960s to study cetacean ecology (Hammond *et al.* 1990). The first scientific photographic collection of St. Lawrence Estuary belugas dates back to 1975 (Pippard & Malcolm 1978), and a systematic photo-id program with multiple annual surveys has been maintained since 1989 (Michaud 2014). Identification of individual animals in a Cetacean population relies on pigmentation patterns, dorsal fin and fluke shape and indentation patterns and the presence of body deformities and skin marks (Hammond *et al.* 1990), as well as dorsal ridge indentations in species lacking a dorsal fin like the beluga. Although skin lesions are helpful for photo-id of belugas, they have never been thoroughly described in belugas from the St. Lawrence Estuary. The use of photo-id data to study and monitor skin lesions in Cetaceans has been promoted since the beginning of the 1990s (Thompson & Hammond 1992). Photo-id images of Cetaceans are useful to assess the prevalence (Hamilton & Marx 2005, Powell *et al.* 2018), the evolution (Gonzalvo *et al.* 2015) and the persistence (Kaplan *et al.* 2009) of different skin lesions. They have been used to better understand the epidemiology of cutaneous diseases such as infection by poxviruses (Van Bresseem *et al.* 2003, Powell *et al.* 2018). Photo-id surveys being relatively inexpensive and easily reproducible, comparison of dermatopathies prevalence can be made between different populations over space (Wilson *et al.* 1999, Van Bresseem *et al.* 2009b, Rowe

et al. 2010) and time (Wilson *et al.* 2000, Van Bressem *et al.* 2003). It has also been suggested that skin condition is a proxy for the health status of cetaceans (Thompson & Hammond 1992, Wilson *et al.* 1997, Wilson *et al.* 1999, Pettis *et al.* 2004, Van Bressem *et al.* 2009a). For instance, in Northern Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*), a study supported the relevance of skin condition and parasitism by Cyamids as indicators of health status (Pettis *et al.* 2004). Health assessments being difficult to perform in free-ranging Cetacean populations, the use of photo-id to study skin lesions was proposed as a non-invasive, low-impact and readily achievable tool to assess the health status of Cetaceans at an individual or population level.

The objectives of this study were (1) to establish a classification system and a nomenclature of skin lesions in belugas based on macroscopic appearance, and (2) to describe the relative frequency of different dermatological conditions observed among individual sightings of belugas in the St. Lawrence Estuary during photo-id surveys.

3. Materials and methods

Photo-identification data collection

Color photographs of belugas in the St. Lawrence Estuary taken during photo-id surveys conducted from 2003–2014 were used in this study. Although black and white photographs had been available since the photo-id program's inception in 1975 and until 2001, images from this period were excluded since they were believed to have less sensitivity for the detection of skin lesions than color photographs. Starting in 2001, the photo-id surveys used color photographs. However, only a sub-sample of photographs of identified belugas taken were available in 2001 and 2002, and were hence excluded; only data from 2003–2014 photo-id surveys was used to avoid biasing the sample towards individuals with distinctive features. Between 2003 and 2014, routine photo-id surveys of belugas were conducted during daytime (between sunrise and sunset), weather permitting navigation and photography, from an 8-meter vessel in the St. Lawrence Estuary, from the end of spring, in May, to the beginning of fall, in October (Michaud 2014). The summer distribution range of the St. Lawrence Estuary population of belugas extends from Battures aux Loups Marins (47°14'N; 70°26'W) to the southern portion of the lower estuary, off Forestville (48°44'N; 69°04'W) on the northern shore and off Rimouski (48°27'N; 68°32'W) on the southern shore, as well as the lower reaches of the Saguenay River, from the

mouth of the river to the Baie Sainte-Marguerite (48°16'N; 69°58'W; Figure 7) (COSEWIC 2014).

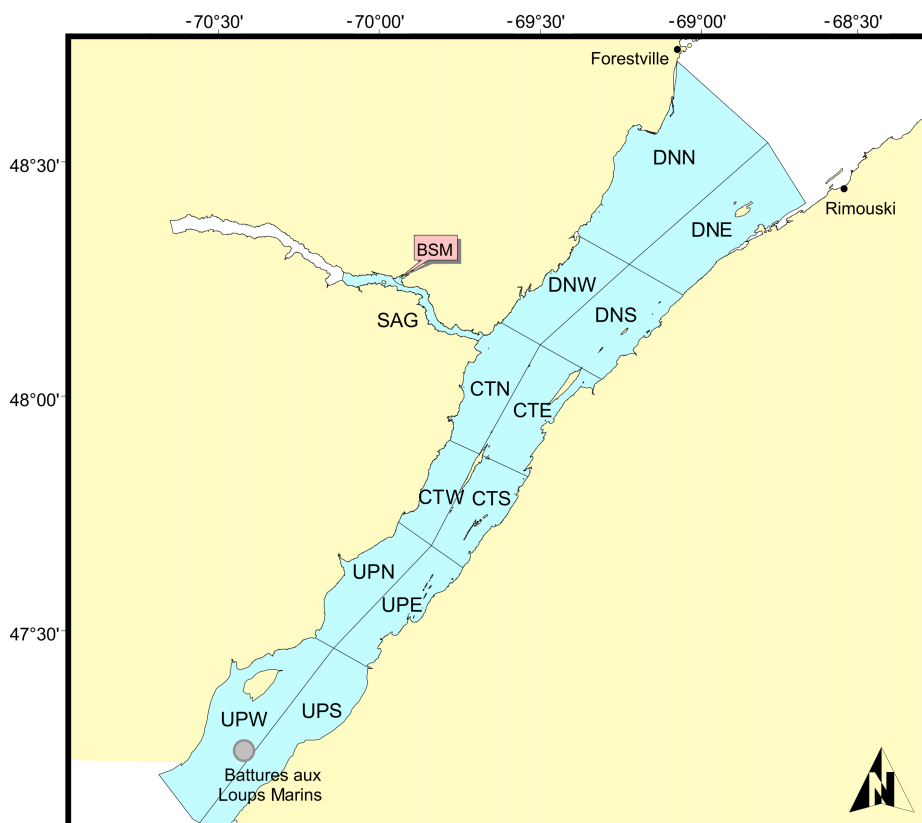


Figure 7. Study area for photo-identification surveys of belugas (*Delphinapterus leucas*) in the St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord (source: Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins). The first two letters of the section indicate the stratum (UP: upstream; CT: central; DN: downstream) and the last letter indicates the cardinal direction (N: north; E: east; S: south; W: west), except for BSM (Baie Sainte-Marguerite) and SAG (Saguenay Fjord).

The portion of the St. Lawrence Estuary inhabited by belugas was divided into three strata. (upstream, central and downstream). Each stratum was divided into four sections (north, east, south, west). A fourth stratum in the lower reaches of the Saguenay Fjord was divided into two sections (SAG and BSM; Figure 7). To limit sampling bias towards certain age and sex categories of the population (Michaud 1993), the area surveyed comprised most of the summer habitat of the St. Lawrence Estuary belugas. SAG, BSM, CTN, CTE, DNW, and DNS sections were extensively sampled annually between 2003 and 2014, whereas CTW and CTS sections were sampled often but irregularly (more than 12 times over the study period, but not annually).

Other sections were sampled exceptionally (less than 12 times over the study period), except for the most upstream section, UPW, which was not sampled between 2003 and 2014. Surveys were neither random nor systematic, but survey routes were alternately chosen to adjust the effort in proportions approaching those of the population found in each stratum and avoid repeated coverage of the same areas in consecutive days. Aboard the vessel, one or two observers, among four trained observers over the total period of study, remained on a platform located 2 m above sea level. Photo-id sessions were conducted at an average speed of 25 km/h but it was reduced to 15 km/h when belugas were located 1,000 m away from the vessel. When the belugas were 500 m away, the survey was paused for 15 minutes during which data on the size and composition of the groups of belugas was collected, while maintaining a distance of 300-500 m with the pod. Henceforward, a pod-follow was initiated by approaching the pod and maximum effort was deployed to photograph as many individuals as possible, without bias towards marked or unmarked individuals (Würsig & Jefferson 1990). Photographs of the whole emerged body surface were taken. Hereafter, the term *encounter* will denote the event of meeting a pod (*i.e.* group of at least 2 individuals) of belugas or an isolated beluga, and hence constitute the spatiotemporal sampling unit used in this study. Photographs were taken using a digital camera and a zoom lens. Over time, several digital cameras (Nikon D1 in 2003; Nikon D100 in 2003–07; Nikon D200 in 2007; Nikon D300 in 2008–15; Nikon D7200 in 2015–16) and zoom lenses (Nikon 80-200mm, f/2.8 in 2001; Sigma 100–300mm, f/4.0 in 2001–10; Nikon 80–400 mm, f/4.5-f/5.6 in 2009–14) were used. An encounter ended when all individuals within the pod had been photographed, three hours after initiating the encounter (arbitrary limit) or due to weather, fuel or daylight constraints.

Photo-id photographs from each encounter were assessed by one experienced observer. Each of them was compared to other images from the same encounter and photographs from a same individual were pieced together. An *individual sighting* will refer from now on to a series of photographs of one individual taken during one encounter. Each individual sighting was attributed a unique number. Individuals photographed were identified to known individuals if possible, belugas being relatively difficult to identify given the lack of dorsal fin and the usual lack of pigmentation patterns as they are uniformly gray to white and due to the fact that they infrequently show their fluke.

Skin anomalies classification and definition

The first stage of this study was to classify, name and define skin lesions in belugas based on macroscopic appearance. In this study, a skin lesion is defined as an anomaly of the macroscopic aspect of the skin, regardless of its pathological significance. Without setting an arbitrary number of categories, the classification system had to include enough skin lesion categories (SLC) to allow classification of all skin anomalies in belugas, while remaining mutually exclusive. Also, efforts were made to avoid over-categorization, preventing difficulty in discriminating nearby categories, in order to maximize the validity of the SLC system while being instinctive and time-efficient.

Skin lesions in belugas were classified using a three-step process. In Step 1, a review of academic journal articles, books and gray literature on skin lesions in belugas was conducted. Gray literature included sources such as government and organizations' reports as well as conference abstracts, for which peer-reviewing processes were unknown. The public database PubMed and the online search engine Google Scholar were used to search the literature, using different keyword combinations, in English and in French, using wildcard and truncation symbols. The following terms were used: [[skin or cutaneous] and [lesion or pathology or disease]] or [dermatosis] and [beluga or white whale or *Delphinapterus* or Monodontidae]. The literature cited in each reference identified was inspected to manually extract additional references that were not collected during the online search. Only studies providing information on skin lesions in belugas with a morphological description or photographs were included. Skin lesions observed on free-ranging and under human care belugas, up to December 2018 were considered given the few references available in beluga dermatology. Based on skin lesions described in the collected references, a preliminary list of SLC in belugas, including a name and a definition for each category, was developed.

In Step 2, an examination of academic journal articles, books and gray literature on skin lesions in other Cetacean species was conducted in order to detect different skin lesions types that were not identified in the literature on belugas. The same search strategy was used except that the keywords used for beluga were replaced: [Cetacea or Odontoceti or Delphinidae or Phocoenidae or dolphin or porpoise or orca]. For this search, only references on free-ranging individuals were included. If a skin lesion reported in another Cetacean species did not correspond to any SLC in the preliminary list developed using the literature specific to belugas,

and if the new SLC was considered biologically plausible in belugas of the St. Lawrence Estuary, a new category was added to the preliminary list of SLC.

In Step 3, the presence or absence of each SLC from the preliminary list was evaluated in the St. Lawrence Estuary beluga population. A subsample of photo-id images of St. Lawrence Estuary belugas was used. Two encounters per year from 2003 to 2016 were randomly selected. Photographs were carefully examined for the presence of skin lesions and an attempt was made to match each observed lesion with one of the SLC on the preliminary list. A new SLC was created if an observed skin lesions did not match any of the SLC in the preliminary list. In contrast, if a SLC was not observed on any of the selected photographs, this SLC was removed from the preliminary list. Throughout the classification exercise, attention was paid to the ability of discriminating between different SLC on photo-id images.

Selection of encounters and individual sightings.

Individual sightings were sampled using non-proportional stratified sampling with two age strata: “neonates” and “gray and white belugas”. The color of the skin is used as a proxy for the age category as belugas are born a gray-cream color, quickly turn to blue-gray then progressively lighter to become pure white around 14 years old for females and 18 years for males (O’Corry-Crowe 2009). White belugas are all adults, but gray belugas include both juveniles and young adults. Within the “gray and white belugas” stratum, a cluster sampling was used. Thirty-five encounters per year were randomly selected and all individual sightings from selected encounters were included. The order of years for evaluation of encounters was random, and encounters sampled each year were assessed successively in random order, so as to minimize learning effect on the association between temporal variables and the outcome (presence or absence of SLC). For the “neonate” stratum, all individual sightings of neonates during the study period were evaluated. Encounters of “gray and white belugas” and of “neonate” were sampled independently. It is therefore possible that a same encounter would be sampled twice: once to evaluate lesions in “gray and white belugas” and once to evaluate among “neonates”.

Photo-identification data analysis

All available images of an individual sighting were screened for the presence of skin lesions using Preview (version 10.0, Apple Inc.). Quality of individual sightings was subjectively

assessed in order to minimize errors in identifying lesions. The best photograph of the individual sighting was attributed a grade, from 1 to 5, taking into account proximity, focus, sharpness, luminosity and splatter (Hupman *et al.* 2017). Grade 1 was given to photographs of very poor quality, and 2, 3 and 4 were respectively attributed to photos of poor, average and good quality. Grade 5 was given to very good photographs. Only individual sightings of average (3), good (4) and very good (5) quality were used for further analyses in this study. The assessment of all photographs was conducted by one analyst (RLN) for consistency in quality grading and identification of lesions. When an individual had multiple SLC, they were all recorded. If a well-defined skin lesion observed on a beluga did not meet any SLC description from the final list, a new SLC would be created. If a lesion could not be confidently classified, it was not recorded and excluded from further analysis.

We measured the proportion of individual sightings positive for each SLC within each age category over the entire study period. For neonates, this proportion corresponds to the census of all sightings during that period.

4. Results

Classification and definition of skin lesion categories in belugas

A preliminary list of 17 potential SLC was created in Step 1 based on the published data on belugas (Margolis *et al.* 1954, Leung *et al.* 1967, Martineau *et al.* 1988, Barr *et al.* 1989, St. Aubin *et al.* 1990, Bowenkamp *et al.* 2001, Dunn *et al.* 2001, Mikaelian *et al.* 2001, St. Aubin *et al.* 2001, Martineau *et al.* 2002, Kaplan *et al.* 2009, Naples *et al.* 2012, Burek-Huntington *et al.* 2015, Krasnova *et al.* 2015) The initial SLC list included “single linear fissure”, “single linear scar”, “multiple curved fissures/scars”, “rake mark”, “notch of the topline”, “Morse code lesion”, “nodule”, “scratches”, “parasite”, “hypopigmented patch”, “hyperpigmented patch”, “yellow patch”, “ulcer-like lesion”, “circular depression”, “map depression”, “target depression”, and “pinhole erosion” (Table III, Supplementary material, p. 86). Step 2, which examined the literature on skin lesions of other Cetacean species, led to four additional SLC namely: “crater-like scar”, “wart-like plaque”, “rhomboid dermal plaque” and “oval scar and skidding mark” (Lockyer and Morris 1990, Van Bresseem *et al.* 1999, Melero *et al.* 2011, Bertulli *et al.* 2012, Samarra *et al.* 2012). In Step 3, the preliminary SLC list was evaluated using a subsample of 1,182 photographs of belugas from 26 encounters over 14 years. This led to the

addition of one more SLC, namely “mass”. In contrast, four of the candidate SLC established following Steps 1 and 2 were discarded: “wart-like plaque”, “rhomboid dermal plaque” and “oval scar and skidding mark”, all SLC only found in the literature on other Cetacean, as they were not seen on any individual, and “scratches”, as they were easily mistaken for smudge (*Annexe 4*, p. xii). A definition and a photographic example for the 18 SLC selected for the final list of skin lesions types in belugas of the St. Lawrence Estuary are given in Figure 8 (p. 65–67).

Figure 8. Skin lesion categories observed in belugas (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary, between May and October (2003–14).



“Notch of the topline”: a transversal V-shaped fresh or healed cut along the dorsal midline.



“Single linear fissure” (arrows): an isolated sharply defined straight to slightly curved tear in the epidermis, with abrupt walls and slightly raised edges.



“Single linear scar” (arrow): an isolated ill-defined straight to slightly curved depression of the epidermis.

“Rake mark” (arrow head): juxtaposition of multiple parallel straight, curved or semi-curved, evenly spaced fissures or scars.



“Multiple curved fissures/scars”: juxtaposition of multiple parallel curved or semi-curved, evenly spaced fissures or scars. Compared to “rake marks”, they are typically deeper in the center of the cuts, and cuts are spaced by more than 2 to 3 cm.



“Morse code lesion”: the alignment of multiple dotted and/or dashed gray to black elements.



“Nodule”: a well-defined elevation of the skin surface, regardless of their consistency, of a few centimeters in diameter.



“Mass”: a well-defined elevation of the skin surface, regardless of their consistency, larger than a “nodule”.



“Yellow patch”: an irregular area of yellowish color, compared to the adjacent skin.

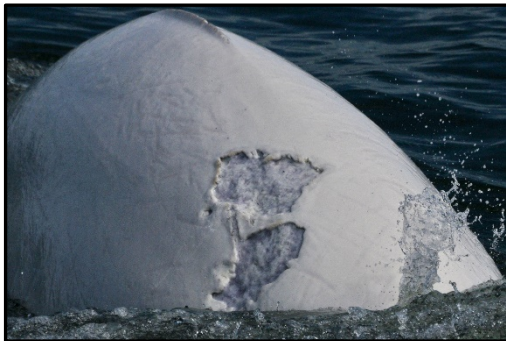


“Hypopigmented patch” (arrow head): flat area of lighter color, compared to the adjacent skin.

“Hyperpigmented patch” (arrow): flat area of darker color, compared to the adjacent skin.



“External parasites”: a macroscopically visible organisms clearly attached to the skin. Their morphology in this study was characteristic of lampreys .



“Ulcer-like lesion”: both irregular erosions and ulcers (Miller *et al.* 2013) of more than 1 cm in length.



“Crater-like scar”: a well-circumscribed irregularly shaped depressed area of more than a few centimeters in diameter that usually appears to extend into the underlying dermis.



“Circular depression”: a well-defined nummular shallow depression of the skin surface of a few centimeters in diameter; the depression is wider than deep. A “map depression” (arrow head) is also visible.



“Map depression”: a lesion similar to “circular depression”, only irregularly shaped and often larger than a few centimeters.



“Target depression” (arrows): a pattern of concentric rings of depressed skin with different heights, forming a target image.



“Pinhole erosion” (arrows): a circular erosion of the skin surface of only a few millimeters in diameter ; the depression is deeper than wide.

Encounters and individual sightings

Between 2003 and 2014, a total of 986 encounters occurred during photo-id surveys of belugas in the St. Lawrence Estuary, among which 420 (43%) were randomly selected for examination of photographs of all individual sightings of gray and white belugas. All 204 encounters where neonates were observed (21% of all encounters) were included for assessment of individual sightings of neonates. A total of 26,504 photos corresponding to 5,632 individual sightings were evaluated. From these, 484 photos (2%) were eliminated due to insufficient quality, leaving 26,020 photographs (98%) from 5,388 individual sightings (96%) to be evaluated (Table I, p. 70). These included 2,534 individual sightings of very good quality, 1,882 of good quality and 972 of average quality. Between 1 and 47 photos were taken per individual sighting (median=3; Q1=2; Q3=6). Over the 2003–14 period, the selected encounters with belugas occurred on May 27 at the earliest and on October 27 at the latest. Most individual sightings occurred in July, August or September while they were rare in May. A total of 568 known individuals were identified in 1,517 sightings, corresponding to about one quarter of all sightings.

Skin lesion categories distribution

Following the examination of all photographs sampled, no new SLC was added to the final list. At least one SLC was present in 50.7%, 96.9% and 93.9% of individual sightings of neonates, gray and white belugas, respectively. Among those, between 1 and 9 SLC were visible on each individual sighting (Figure 9, p. 69). In individual sightings of neonates, “single linear fissure”, “single linear scar” and “ulcer-like lesion” were the three most commonly documented SLC, whereas in individual sightings of gray and white belugas, the three most common SLC were “rake mark”, “single linear scar” and “circular depression” (Table II, p. 71). A smaller number of SLC per individual sighting was generally observed among neonates as compared to older belugas. Moreover, the proportion of individual sightings of gray belugas with at least one SLC seemed higher compared to individual sightings of white belugas, although the difference was small. The proportion of individual sightings positive for “single linear fissure”, “rake mark”, “hypopigmented patch”, “circular depression”, “ulcer-like lesion”, “map depression”, and “pinhole erosion” appeared to be higher for gray belugas compared to white belugas, whereas it seemed to be the opposite for “nodule”, “hyperpigmented patch”, “yellow patch”, and “crater-like lesion”. The proportion of individual sightings of neonates positive for most

SLC seemed lower compared to individual sightings of gray and white belugas, but “ulcer-like lesions” were much more frequent in individual sightings of neonates compared to individual sightings of gray and white belugas. “Morse code lesion”, “nodule”, “mass” and “crater-like lesion” were never observed in the sample of individual sightings of neonates, whereas no “external parasite” was observed in individual sightings of gray belugas.

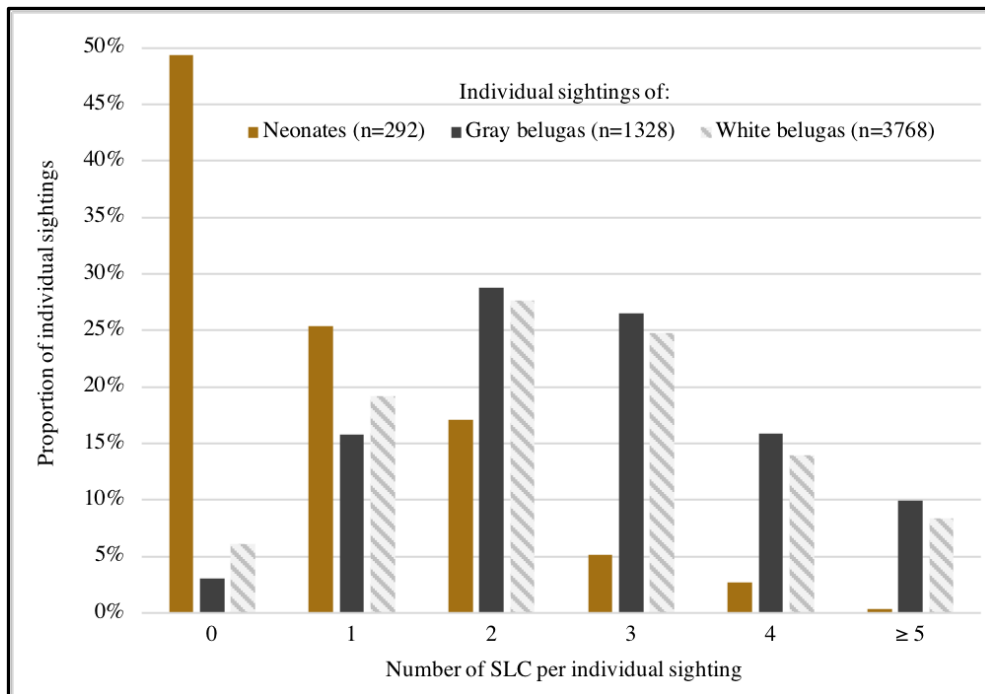


Figure 9. Number of skin lesion categories observed during individual sightings of belugas (*Delphinapterus leucas*), stratified by age category, between 2003 and 2014 in the St. Lawrence Estuary.

Table I. Summary of yearly and monthly sampling of encounters and individual sightings of belugas (*Delphinapterus leucas*) in the St. Lawrence Estuary between 2003 and 2014, stratified by age category, after exclusion of individual sightings of insufficient quality.

	White belugas		Gray belugas		Neonate belugas	
	# encounters (out of 35 per year)	# individual sightings	# encounters (out of 35 per year)	# individual sightings	# encounters	# individual sightings
2003	33	315	21	97	3	4
2004	32	314	27	107	21	24
2005	32	330	26	83	17	22
2006	34	387	30	130	8	9
2007	34	299	29	125	14	16
2008	34	220	29	109	19	23
2009	34	392	28	112	13	20
2010	34	301	35	128	18	25
2011	34	247	28	106	13	17
2012	33	350	31	125	21	35
2013	35	270	29	124	24	38
2014	35	343	24	82	33	59
May	2	21	2	6	0	0
June	41	302	34	131	4	6
July	113	1062	94	338	39	47
Aug.	104	1000	83	306	81	125
Sept.	113	1043	100	407	66	99
Oct.	32	340	24	140	14	16
Total	404	3768	337	1328	204	292

Table II. Proportion of individual sightings positive for each skin lesion categories (SLC) stratified by age category for all SLC detected during photographic individual sightings of belugas (*Delphinapterus leucas*) in the St. Lawrence Estuary, between 2003 and 2014.

Individual sightings of:	Neonate belugas (n=292)	Gray belugas (n=1328)	White belugas (n=3768)
Single linear fissure	21.9%	31.4%	24.3%
Single linear scar	19.2%	55.0%	55.1%
Multiple curves fissures/scars	0.3%	0.1%	0.1%
Rake marks	13.4%	77.2%	69.5%
Notch of the topline	0.7%	1.4%	0.8%
Morse code lesion	0.0%	1.1%	1.2%
Nodule	0.0%	0.5%	3.7%
Mass	0.0%	1.2%	1.3%
External parasite	0.3%	0.0%	0.4%
Hypopigmented patch	2.1%	8.8%	0.5%
Hyperpigmented patch	0.3%	9.1%	11.4%
Yellow patch	2.1%	2.3%	12.9%
Ulcer-like lesion	17.1%	4.7%	2.7%
Crater-like scar	0.0%	2.8%	13.9%
Circular depression	2.4%	39.9%	34.9%
Map depression	6.5%	12.2%	2.2%
Target depression	0.3%	5.3%	3.9%
Pinhole erosion	1.0%	14.7%	7.2%
No SLC	49.3%	3.1%	6.1%

5. Discussion

This study demonstrated that photos used to identify belugas can also be used to identify and categorize skin lesions. A classification system including 18 SLC was developed based on skin lesions described in the literature on belugas and free ranging Cetaceans and verified using more than one thousand pictures of belugas of the St. Lawrence Estuary. This classification scheme proved to be valid upon the review of more than 26,000 photos of neonate and older belugas of the St. Lawrence Estuary among which all 18 SLC were observed, and no new SLC identified, although inter-rater reliability was not assessed.

All SLC found on belugas of the St. Lawrence Estuary had previously been described in other beluga populations or other free-ranging cetaceans, except for “mass”. Some of the SLC described in other Cetacean species (Van Bressemer *et al.* 1999, Melero *et al.* 2011, Bertulli *et al.* 2012, Samarra *et al.* 2012) were not seen among belugas of the St. Lawrence Estuary. Although biologically plausible, these SLC may not be present in that beluga population, might be very rare and our sample of more than 26,000 photo-id images was not large enough to detect them, or because the uniformly white skin of belugas makes it difficult to detect them.

The vast majority of individual sightings involving gray and white belugas showed skin anomalies. However, as described in other Odontocete species (Scott *et al.* 2005, Van Bressemer *et al.* 2009a, Maldini *et al.* 2010) and as expected because of their young age, neonates had much less skin lesions than gray and white belugas. Most skin lesions in St. Lawrence Estuary belugas appeared to be of traumatic origin (“singles linear fissure”, “single linear scar”, “crater-like scar”, “rake mark”). Even if interspecific interactions cannot be completely excluded, “rake marks” are believed to be mostly due to intraspecific interactions in belugas of the St. Lawrence Estuary. As reported previously in the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus* (Scott *et al.* 2005), “rake marks” were not as frequently documented in individual sightings of neonates compared to individual sightings of gray and white belugas. “Single linear fissure” and “single linear scar” could be, at least in part, due to intraspecific interactions as well. It has also been suggested that single lacerations of the tegument could also be due to rubbing behavior against the bottom layer (Smith *et al.* 1992). Occasional observations of belugas covered with sediments suggest they indeed do rub against bottom substrate.

Very few individuals exhibited skin lesions that were suggestive of a boat propeller strike, including “multiple curved fissures”, but also “notches of the topline”. Although St. Lawrence Estuary belugas inhabit waters intensively used by recreational and commercial boating, boat strikes appear to be a marginal cause of skin lesions in this population. This is in contrast to observations made between 1983 and 2012 where a boat or ship collision was confirmed or suspected to be the primary cause of death of eight belugas out of 222 (3.6%) (Lair *et al.* 2016). Solitary young belugas wandering outside the traditional beluga habitat in the St. Lawrence Estuary and showing social behavior towards people have been observed with boat propeller injuries, but these whales would have little probability of returning to their home range and being photographed during photo-id surveys (Robert Michaud 2018, personal communication). Hence, even if the result of this study suggest that boat propeller strike is rare in this population, high mortality rate following boat strikes and reduced sighting of belugas that are more susceptible to boat propeller injuries could bias estimation of boat strike occurrences by photographic assessment of live belugas.

“Crater-like scars” likely remain following substantial loss of epidermal and dermal tissues. They could partly be due to firearm shots, as described by Lockyer and Morris (1990) on a bottlenose dolphin. St. Lawrence Estuary belugas have been fully protected since 1979. Therefore, if impacts by fire arm projectiles were the cause of these “crater-like scars” in St. Lawrence Estuary beluga, the occurrence of this SLC should be higher in older belugas. Our observations seem to support this hypothesis since the proportion of sightings of white (older) belugas positive for “crater-like scar” is much higher than the proportion of sightings of grey belugas positive for this SLC.

Cutaneous lesions caused by fishing gears have been frequently reported in Cetaceans (Read & Murray 2000, Wells *et al.* 2008, Azevedo *et al.* 2009, Luksenburg 2014). In contrast, no cutaneous lesions were observed on belugas of the St. Lawrence Estuary that were clearly suspected to have been caused by fishing gears. Azevedo *et al.* (2009), however, suggested that lesions similar to “notches of the topline” may have been caused by fishing gear entrapment. Also, since belugas only occasionally lift their fluke or pectoral flippers above the water surface, skin lesions or clean-cut amputation of these appendices likely due to fishing gear entrapment (Kirkwood *et al.* 1997, Wells *et al.* 2008) would hardly ever be seen. Yet, fatal interaction with fishing gear has only been documented twice in this population during the last three decades

(Lair *et al.* 2016). “Morse code lesions” were also believed to be of traumatic origin but were relatively rare, as previously observed in the Cook Inlet beluga population (Alaska, USA) (Kaplan *et al.* 2009).

Lesions sharing some morphologic similarities with “pinhole erosions” have been observed on belugas during postmortem examination. These lesions have occasionally been associated with intra-epidermal fragments of urchins’ spines (Stéphane Lair 2018, personal observation). The fact that some of these urchin-related lesions were located in the melon of beluga carcasses suggests that belugas acquire these when they are feeding on benthic preys. Stings by urchins might also occur during rubbing behavior on substrate which would explain the presence of these lesions in the dorsal aspect of the animals as well. The difference in the proportion of individual sightings positive for “pinhole erosions” between gray and white belugas could be associated with a learned behavior of avoidance of urchins as whales mature.

The “external parasites” seen attached to the body of swimming St. Lawrence Estuary belugas are presumed to be sea lampreys (*Petromyzon marinus*), as described on minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in the St. Lawrence Estuary (Nichols & Tschertter 2011). As in other cetacean species, sea lampreys probably leave fresh wounds and scars on the skin of belugas (Pike 1951, Nichols & Tschertter 2011, Samarra *et al.* 2012, Ólafsdóttir & Shinn 2013). Nevertheless, we were not able to confidently attribute any lesion to sea lampreys and we did not identify lesions similar to what is described in the literature on photographs.

In beluga populations of the Hudson Bay (Canada), a yellow hue appears over the surface of their body during winter and disappears in summer (St. Aubin *et al.* 1990, Smith *et al.* 1992). This molting process has never been reported in St. Lawrence Estuary belugas before, but it could be suggested that not only “yellow patch”, but also “circular depression”, “map depression”, and maybe “target depression”, are SLC associated with molting in St. Lawrence Estuary belugas. Alternatively, “map lesions” would sometimes look like healing ulcer-like lesions. The physiologic event of molting would be discrete and gradual, as suspected in Cook Inlet belugas (Kaplan *et al.* 2009), as opposed to synchronous and dramatic in Arctic populations of belugas (St. Aubin *et al.* 1990). “Yellow patches” have been repetitively observed in the field in presumed sick or emaciated belugas (Robert Michaud / Stéphane Lair 2018, personal observation). The persistence of “yellow patches” could be associated with the alteration of proper molting processes. A decrease in the rubbing activity in a sick animal or an alteration of

the silhouette of emaciated belugas caused by the loss of fat and muscular tissue could cause a buildup of superficial epidermal cells resulting in the presence of “yellow patches” and an uneven body surface, reducing hydrodynamics and favoring the proliferation of biofoulers (Hicks *et al.* 1985).

Although “single linear scar” would be expected to be more frequent in sightings of older belugas from accumulation over time, they were as frequent in individual sightings of gray belugas as in sightings of white belugas. This may be due to the fact that “superficial linear scars” fade with seasonal molting. To strengthen this hypothesis, it would be necessary to study seasonal variations in frequency of “single linear scar” over the year.



Figure 10. Suspicion of postnatal molting in two neonate belugas (*Delphinapterus leucas*) with ulcer-like lesions and “map” depression from the St. Lawrence Estuary population.

Erosions and fissures were frequently seen during individual sightings of neonates. They could be due to intraspecific interactions. They could also be signs of physiologic postnatal molting. At birth, epidermis of neonates is indeed thick with an unstable structure and the fetal skin will slough (Bel’kovich 1974). Yet, neither macroscopic nor microscopic skin changes associated with postnatal molting in belugas have been described in the literature. Reeb *et al.* (2005) described the skin of Southern right whale (*Eubalaena australis*) calves as rough, uneven, spongy, broken and light gray in color prior to postnatal ecdysis, or molting; it then turned smooth, uniform and black. The term “molt” is here preferred to “ecdysis”, used for reptiles and arthropods. This event has never been documented in the St. Lawrence Estuary beluga population, yet we believe numerous superficial cutaneous lesions in neonates were from normal molting (Figure 10), overestimating the frequency of pathologic skin lesions in this age

category. This photographic assessment suggests beluga calves turn from light brown to gray following a period where the skin appears uneven and broken. Further assessment focusing on known female belugas with calves is needed to better characterize this process.

Pigmentation defects (*i.e.* “hypopigmented patch” and “hyperpigmented patch”) have been frequently reported in Cetaceans (Thompson & Hammond 1992, Harzen & Brunnick 1997, Wilson *et al.* 1997, Visser *et al.* 2004, Krasnova *et al.* 2015) but their origin remains cryptic. The difference in frequency of individual sightings positive for pigmentation defects between gray and white belugas was probably due to the ability to detect color variations of the skin within each age category: hypopigmented patch would be easier to detect on grey belugas whereas hyperpigmented patch would be easier to detect on white belugas. The origin of “ulcer-like lesion” in gray and white belugas remains enigmatic. Herpesviruses are known to cause ulcers in belugas (Martineau *et al.* 1988, Burek-Huntington *et al.* 2015, Nielsen *et al.* 2018) so herpesvirus infections could partly account for “ulcer-like lesions”. *Fusarium solani* and *Mycobacterium marinum* have also been shown to cause ulcers in belugas under human care (Bowenkamp *et al.* 2001, Naples *et al.* 2012). In other cetacean species, erosions and ulcers due to bacterial (*Erysipelothrix rhusiopathiae*, *Streptococcus* sp. and *Pseudomonas aeruginosa*), viral (Calicivirus), fungal (*Candida* sp.) and parasitic (*Anisakis simplex*) cutaneous infection have been described (Geraci *et al.* 1966, Howard 1983, Smith *et al.* 1983, Dunn 2001, Moeller *et al.* 2003, Van Bresseem *et al.* 2008, Van Beurden *et al.* 2015, Díaz-Delgado *et al.* 2017). The nature and/or cause of other SLC observed on photographs remain undetermined, namely “Morse code lesions”, “nodules” and “masses”.

There are some limitations in using photographs to assess the distribution of skin lesions in this population of belugas. Firstly, for the photographic assessment of skin lesion, the decision was taken to consider individual sightings as the sampling unit rather than identified individuals. Often, individuals encountered and photographed could not be identified. And, since identification of belugas relies not only on nicks of the dorsal ridge and body morphological anomalies, but also long-term skin lesions, the assessment of the frequency of some SLC based on photographs of known individuals only would be highly biased. The sampling approach used in this study implies individuals photographed on multiple occasion could have been sampled and screened more than one time for the presence of SLC over the study period, or even over a year. It should be once again emphasized that the frequency of SLC applies to individual

sightings of St. Lawrence Estuary belugas as part of a photo-id program and may not be identical to the prevalence of SLC in the St. Lawrence Estuary beluga population. Indeed, this sampling might not be fully representative of the beluga population because all belugas may not be as likely to be photographed, as in other Cetacean species (Wells & Scott 1990, Brown *et al.* 2001). Then, our data only included photographs collected between May and October, when photo-id surveys in the St. Lawrence Estuary are logistically possible. In addition, when using photographs to detect skin lesions, quality of the photographs is expected to impact the detection of SLC. Evaluation of the quality of individual sightings was used to exclude low-quality individual sightings from analyses which partly controlled for this bias.

This is the first study which investigates skin conditions in beluga from the St. Lawrence Estuary population based on a photographic assessment. It provides relevant baseline data for comparison in the future. Comparison of frequency of SLC between different beluga populations is currently hampered by the lack of homogenous categorization of skin lesion and by the heterogeneity in methodology (Krasnova *et al.* 2015). We here suggest a nomenclature based on morphology, as opposed to potential cause, to ease comparison and avoid over-interpretation from photographs. In contrast to the survey realized on belugas in Russia by Krasnova *et al.* (2015), during which each beluga was characterized by the most pronounced SLC present, all SLC detected on each animal were documented in our study. Since our study suggests that more than one SLC were observed in over 70% of individual sightings of gray and white belugas, the approach proposed by Krasnova *et al.* (2015) could have markedly underestimated the prevalence of SLC in this population. Also, Krasnova *et al.* (2015) worked on identified individuals for their photographic assessment of skin lesions. Comparison between the two studies should therefore be done with this in mind.

The potential significance of most SLC observed remains largely undetermined. The relative paucity of scientific literature on skin diseases in beluga whales (Margolis *et al.* 1954, Leung *et al.* 1967, Martineau *et al.* 1988, Barr *et al.* 1989, Bowenkamp *et al.* 2001, Mikaelian *et al.* 2001, Martineau *et al.* 2002, Naples *et al.* 2012, Burek-Huntington *et al.* 2015, Nielsen *et al.* 2018) limits our ability to compare the SLC described here with etiologically characterized skin diseases. Other skin anomalies have been described on free-ranging belugas without further understanding of their cause (St. Aubin 2001, Kaplan *et al.* 2009, Krasnova *et al.* 2015). The lack of understanding of the nature, cause and significance of skin lesions limit the proper

interpretation of the observations made through photographic assessments in numerous cetacean species, including beluga. Tentative diagnosis from photographic assessment should be used with caution. Further studies, such as the assessment of the association between SLC occurrence and temporal, individual and environmental factors, or such as survival analyses of skin lesions on known individuals, would help to better understand skin conditions in beluga. Comparative studies with populations of beluga in the Arctic may help assess whether human activities and environmental conditions (e.g., water pollution) are linked to some skin anomalies. Further investigation is also needed to determine to which extent the conditions observed in this cetacean population affect the health of individuals. Development of supplementary tools to assess the health of an individual from afar might be helpful for that purpose.

6. Acknowledgments

The authors thank Michel Moisan and Marie-Hélène d'Arcy from the Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins for their help with photographic data. This study was financially supported by the Fonds du Centenaire, Université de Montréal.

7. Literature cited

- Azevedo, A. F., J. Lailson-Brito, P. R. Dorneles, M. Van Sluys, H. A. Cunha and A. B. L. Fragoso. 2009. Human-induced injuries to marine tucuxis (*Sotalia guianensis*) (Cetacea: Delphinidae) in Brazil. *Marine Biodiversity Records* 2:1-5.
- Barr, B., J. L. Dunn, M. D. Daniel and A. Banford. 1989. Herpes-like viral dermatitis in a beluga whale (*Delphinapterus leucas*). *Journal of Wildlife Diseases* 25:608-611.
- Bel'kovich, V. 1974. The integument and thermoregulation. Pages 24-38 in A. Yablokov, V. Bel'kovich and V. Borisov eds. *Whales and dolphins, Part I and II* [Translation of *Kity i Del'finy*. 1972. *Izd-vo Nauka, Moscow*]. Joint Publications Research Service, Arlington, VA.
- Bertulli, C., A. Cecchetti, M.-F. Van Bresselem and K. Van Waerebeek. 2012. Skin disorders in common minke whales and white-beaked dolphins off Iceland, a photographic assessment. *Journal of Marine Animals and Their Ecology* 5:29-40.

- Bowenkamp, K. E., S. Frasca Jr, A. Draghi, *et al.* 2001. *Mycobacterium marinum* dermatitis and panniculitis with chronic pleuritis in a captive white whale (*Delphinapterus leucas*) with aortic rupture. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* 13:524-530.
- Brown, M. W., S. Brault, P. K. Hamilton, *et al.* 2001. Sighting heterogeneity of right whales in the western North Atlantic: 1980–1992. *Journal of Cetacean Research and Management* 2:245-250.
- Burek-Huntington, K. A., J. L. Dushane, C. E. Goertz, C. H. Romero and S. A. Raverty. 2015. Morbidity and mortality in stranded Cook Inlet beluga whales *Delphinapterus leucas*. *Diseases of Aquatic Organisms* 114:45-60.
- COSEWIC. 2014. COSEWIC assessment and status report on the beluga whale *Delphinapterus leucas*, St. Lawrence Estuary population, in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. xii+64 pp.
- COSEWIC. 2016. Designatable Units for beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. 73 pp.
- Díaz-Delgado, J., E. Sierra, A. I. Vela, M. Arbelo, D. Zucca, K. R. Groch and A. Fernández. 2017. Coinfection by *Streptococcus phocae* and cetacean morbillivirus in a short-beaked common dolphin (*Delphinus delphis*). *Diseases of Aquatic Organisms* 124:247-252.
- Dunn, J. L., J. D. Buck and T. R. Robeck. 2001. Bacterial diseases of Cetaceans and Pinnipeds Pages 309-335 in L. A. Dierauf and F. M. D. Gulland eds. CRC handbook of marine mammal medicine. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Geraci, J., R. Sauer and W. Medway. 1966. Erysipelas in dolphins. *American Journal of Veterinary Research* 27:597-606.
- Gonzalvo, J., I. Giovos and S. Mazzariol. 2015. Prevalence of epidermal conditions in common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Gulf of Ambracia, western Greece. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 463:32-38.
- Hamilton, P. K. and M. K. Marx. 2005. Skin lesions on North Atlantic right whales: categories, prevalence and change in occurrence in the 1990s. *Diseases of Aquatic Organisms* 68:71-82.

- Hammond, P. S., S. A. Mizroch and G. P. Donovan. 1990. Individual recognition of Cetaceans: use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters. Report of the International Whaling Commission, special issue 12. 440 pp.
- Harzen, S. and B. J. Brunnick. 1997. Skin disorders in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), resident in the Sado estuary, Portugal. *Aquatic Mammals* 23:59-68.
- Hicks, B. D., D. J. St. Aubin, J. R. Geraci and W. R. Brown. 1985. Epidermal growth in the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. *Journal of Investigative Dermatology* 85:60-63.
- Howard, E. B., J. O. Britt, G. K. Matsumoto, R. Itahara and C. N. Nagano. 1983. Bacterial diseases. Pages 69-118 in E. B. Howard ed. *Pathobiology of marine mammals diseases*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Hupman, K. E., M. D. Pawley, C. Lea, C. Grimes, S. Voswinkel, W. D. Roe and K. A. Stockin. 2017. Viability of photo-identification as a tool to examine the prevalence of lesions on free-ranging common dolphins (*Delphinus* sp.). *Aquatic Mammals* 43:264.
- Kaplan, C. C., T. L. Mcguire, M. K. Blees and S. W. Raborn. 2009. Longevity and causes of marks seen on Cook Inlet beluga whales. Pages 1-28 in LGL Alaska Research Associates, Inc. eds. *Photo-identification of beluga whales in Upper Cook Inlet, Alaska: mark analysis, mark-resight estimates, and color analysis from photographs taken in 2008*. Report prepared for National Fish and Wildlife Foundation, Chevron, and ConocoPhillips Alaska, Inc.
- Kirkwood, J. K., P. M. Bennett, P. D. Jepson, T. Kuiken, V. R. Simpson and J. R. Baker. 1997. Entanglement in fishing gear and other causes of death in cetaceans stranded on the coasts of England and Wales. *Veterinary Record* 141:94-98.
- Krasnova, V. V., A. D. Chernetsky and O. V. Russkova. 2015. Skin defects in the beluga whale *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776) from the Solovetsky gathering, as revealed by photo-identification analysis. *Russian Journal of Marine Biology* 41:372-383.
- Lair, S., L. Measures and D. Martineau. 2016. Pathologic findings and trends in mortality in the beluga (*Delphinapterus leucas*) population of the St. Lawrence Estuary, Quebec, Canada, from 1983 to 2012. *Veterinary Pathology* 53:22-36.
- Leung, Y.-M. 1967. An illustrated key to the species of whale-lice (Amphipoda, Cyamidae), ectoparasites of Cetacea, with a guide to the literature. *Crustaceana* 12:279-291.

- Lockyer, C. and R. Morris. 1990. Some observations on wound healing and persistence of scars in *Tursiops truncatus*. Pages 113-118 in P. S. Hammond, S. A. Mizroch and G. P. Donovan. Report of the International Whaling Commission, special issue 12.
- Luksenburg, J. A. 2014. Prevalence of external injuries in small cetaceans in Aruban waters, southern caribbean. PloS One 9:e88988.
- Maldini, D., J. Riggin, A. Cecchetti and M. P. Cotter. 2010. Prevalence of epidermal conditions in California coastal bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Monterey Bay. *Ambio* 39:455-462.
- Margolis, L. 1954. *Delphinapterus leucas*, a new host record for the whale-louse, *Paracyamus nodosus* (Lütken). *The Journal of Parasitology* 40:365.
- Martineau, D., A. Lagacé, P. Béland, R. Higgins, D. Armstrong and L. R. Shugart. 1988. Pathology of stranded beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary, Quebec, Canada. *Journal of Comparative Pathology* 98:287-311.
- Martineau, D., K. Lemberger, A. Dallaire, P. Labelle, T. P. Lipscomb, P. Michel and I. Mikaelian. 2002. Cancer in wildlife, a case study: beluga from the St. Lawrence estuary, Quebec, Canada. *Environmental Health Perspectives* 110:285-292.
- Melero, M., C. Rubio-Guerri, J. L. Crespo, *et al.* 2011. First case of erysipelas in a free-ranging bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) stranded in the Mediterranean Sea. *Diseases of Aquatic Organisms* 97:167-170.
- Michaud, R. 1993. Distribution estivale du béluga du St-Laurent : synthèse 1986-1992. Ministère des pêches et des océans, Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 1906. vi+28 pp.
- Michaud, R. 2014. St. Lawrence Estuary beluga (*Delphinapterus leucas*) population parameters based on photo-identification surveys, 1989-2012. DFO Canadian Science Advisory Secretariat, Research document 2013/130. iv + 27 pp.
- Mikaelian, I., J.-M. Lapointe, P. Labelle, R. Higgins, M. Paradis and D. Martineau. 2001. *Dermatophilus*-like infection in beluga whales, *Delphinapterus leucas*, from the St. Lawrence Estuary. *Veterinary Dermatology* 12:59-62.
- Miller, W. H., C. E. Griffin and K. L. Campbell. 2013. Muller and Kirk's small animal dermatology. Elsevier Inc., St. Louis, MI.

- Moeller Jr, R. B. 2003. Pathology of marine mammals with special reference to infectious diseases. Pages 3-37 in J. G. Vos, G. D. Bossart, F. Michael and T. J. O'shea eds. Toxicology of marine mammals. CRC Press, London, UK.
- Mosnier, A., T. Doniol-Valcroze, J.-F. Gosselin, V. Lesage, L. Measures and M. O. Hammill. 2015. Insights into processes of population decline using an integrated population model: The case of the St. Lawrence Estuary beluga (*Delphinapterus leucas*). Ecological Modelling 314:15-31.
- Naples, L. M., C. P. Poll and I. K. Berzins. 2012. Successful treatment of a severe case of fusariomycosis in a beluga whale (*Delphinapterus leucas*). Journal of Zoo and Wildlife Medicine 43:596-602.
- Nichols, O. C. and U. T. Tschertter. 2011. Feeding of sea lampreys *Petromyzon marinus* on minke whales *Balaenoptera acutorostrata* in the St. Lawrence Estuary, Canada. Journal of Fish Biology 78:338-343.
- Nielsen, O., K. A. Burek-Huntington, L. L. Loseto, M. Morell and C. H. Romero. 2018. Alphaherpesvirus: isolation, identification, partial characterisation, associated pathologic findings, and epidemiology in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in Alaska and Arctic Canada. Arctic Science 4:338-357.
- O'Corry-Crowe, G. M. 2009. Beluga whale. Pages 108-112 in W. F. Perrin, B. Würsig and J. G. M. Thewissen eds. Encyclopedia of marine mammals. Academic Press, San Diego, CA.
- Ólafsdóttir, D. and A. P. Shinn. 2013. Epibiotic macrofauna on common minke whales, *Balaenoptera acutorostrata* Lacépède, 1804, in Icelandic waters. Parasites & Vectors 6:105-114.
- Pettis, H. M., R. M. Rolland, P. K. Hamilton, S. Brault, A. R. Knowlton and S. D. Kraus. 2004. Visual health assessment of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) using photographs. Canadian Journal of Zoology 82:8-19.
- Pike, G. C. 1951. Lamprey marks on whales. Journal of the Fisheries Board of Canada 8:275-280.

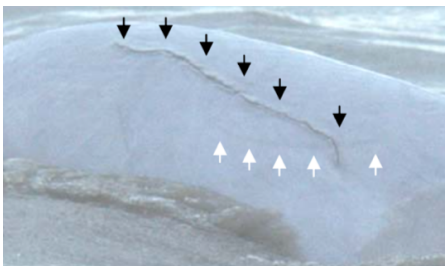

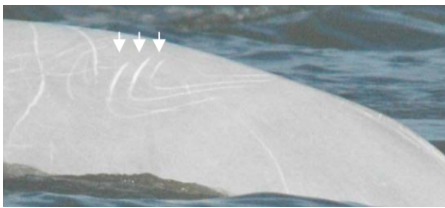
- Pippard, L. and H. Malcolm. 1978. White whales (*Delphinapterus leucas*): observations on their distribution, population and critical habitats in the St. Lawrence and Saguenay Rivers. Department of Indian and Northern Affairs, Parks Canada. 159 pp.
- Powell, S. N., M. M. Wallen, S. Bansal and J. Mann. 2018. Epidemiological investigation of tattoo-like skin lesions among bottlenose dolphins in Shark Bay, Australia. *The Science of the Total Environment* 630:774-780.
- Read, A. J. and K. T. Murray. 2000. Gross evidence of human-induced mortality in small cetaceans. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-15. 21 pp.
- Reeb, D., M. Duffield and P. B. Best. 2005. Evidence of postnatal ecdysis in Southern right whales, *Eubalaena australis*. *Journal of Mammalogy* 86:131-138.
- Rowe, L. E., R. J. C. Currey, S. M. Dawson and D. Johnson. 2010. Assessment of epidermal condition and calf size of Fiordland bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* populations using dorsal fin photographs and photogrammetry. *Endangered Species Research* 11:83-89.
- Samarra, F. I. P., A. Fennell, K. Aoki, V. B. Deecke and P. J. O. Miller. 2012. Persistence of skin marks on killer whales (*Orcinus orca*) caused by the parasitic sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in Iceland. *Marine Mammal Science* 28:395-401.
- Scott, E. M., J. Mann, J. J. Watson-Capps, B. L. Sargeant and R. C. Connor. 2005. Aggression in bottlenose dolphins: evidence for sexual coercion, male-male competition, and female tolerance through analysis of tooth-rake marks and behaviour. *Behaviour* 142:21-44.
- Smith, A. W., D. E. Shilling and S. H. Ridgway. 1983. Calicivirus-induced vesicular disease in cetaceans and probable interspecies transmission. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 183:1123-1225.
- Smith, T. G., D. J. St. Aubin and M. O. Hammill. 1992. Rubbing behaviour of belugas, *Delphinapterus leucas*, in a high Arctic estuary. *Canadian Journal of Zoology* 70:2405-2409.
- St. Aubin, D. J. 2001. Investigation of skin lesions of free-ranging beluga whales in eastern Hudson Bay. World Wildlife Fund Canada. 14 pp.

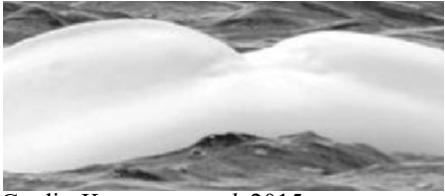

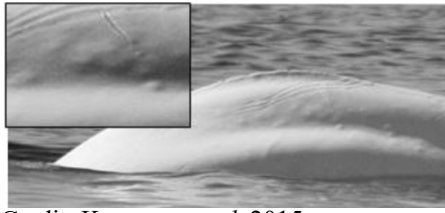

- St. Aubin, D. J., T. G. Smith and J. R. Geraci. 1990. Seasonal epidermal molt in beluga whales, *Delphinapterus leucas*. Canadian Journal of Zoology 68:359-367.
- Thompson, P. M. and P. S. Hammond. 1992. The use of photography to monitor dermal disease in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Ambio 21:135-137.
- Van Beurden, S. J., L. Ijsseldijk, H. Cremers, A. Gröne, M. H. Verheije and L. Begeman. 2015. *Anisakis* spp. induced granulomatous dermatitis in a harbour porpoise *Phocoena phocoena* and a bottlenose dolphin *Tursiops truncatus*. Diseases of Aquatic Organisms 112:257-263.
- Van Bresseem, M.-F., R. A. Kastelein, P. Flamant and G. Orth. 1999. Cutaneous papillomavirus infection in a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) from the North Sea. Veterinary Record 144:592-593.
- Van Bresseem, M.-F., R. Gaspar and F. J. Aznar. 2003. Epidemiology of tattoo skin disease in bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* from the Sado estuary, Portugal. Diseases of Aquatic Organisms 56:171-173.
- Van Bresseem, M.-F., K. Van Waerebeek, L. Flach, *et al.* 2008. Skin diseases in cetaceans. International Whaling Commission, Scientific Committee document SC/60/DW8. 11 pp.
- Van Bresseem, M.-F., K. Van Waerebeek, F. J. Aznar, *et al.* 2009a. Epidemiological pattern of tattoo skin disease: a potential general health indicator for Cetaceans. Diseases of Aquatic Organisms 85:225-237.
- Van Bresseem, M.-F., M. C. De Oliveira Santos and J. E. De Faria Oshima. 2009b. Skin diseases in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) from the Paranaguá estuary, Brazil: a possible indicator of a compromised marine environment. Marine Environmental Research 67:63-68.
- Visser, I. N., D. Fertl and L. T. Pusser. 2004. Melanistic Southern right-whale dolphins (*Lissodelphis peronii*) off Kaikoura, New Zealand, with records of other anomalously all-black cetaceans. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 38:833-836.
- Wells, R. S., J. B. Allen, S. Hofmann, *et al.* 2008. Consequences of injuries on survival and reproduction of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) along the west coast of Florida. Marine Mammal Science 24:774-794.





- Wells, R. S. and M. D. Scott. 1990. Estimating bottlenose dolphin population parameters from individual identification and capture-release techniques. Pages 407-415 *in* P. S. Hammond, S. A. Mizroch and G. P. Donovan. Report of the International Whaling Commission, special issue 12.
- Wilson, B., H. Arnold, G. Bearzi, *et al.* 1999. Epidermal diseases in bottlenose dolphins: impacts of natural and anthropogenic factors. Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences 266:1077-1083.
- Wilson, B., K. Grellier, P. S. Hammond, G. Brown and P. M. Thompson. 2000. Changing occurrence of epidermal lesions in wild bottlenose dolphins. Marine Ecology Progress Series 205:283-290.
- Wilson, B., P. M. Thompson and P. S. Hammond. 1997. Skin lesions and physical deformities in bottlenose dolphins in the Moray Firth: population prevalence and age-sex differences. *Ambio* 26:243-247.
- Würsig, B. and T. A. Jefferson. 1990. Methods of photo-identification for small cetaceans. Pages 43-52 *in* P. S. Hammond, S. A. Mizroch and G. P. Donovan. Report of the International Whaling Commission, special issue 12.

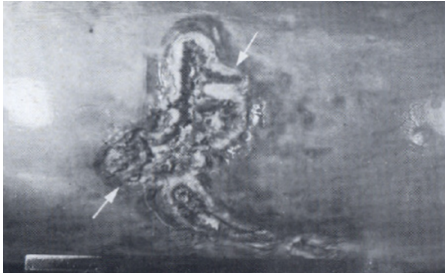

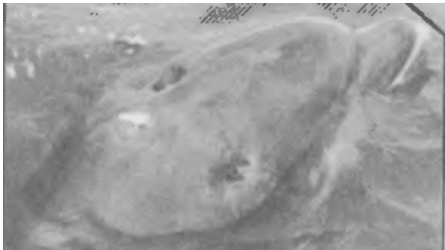

8. Supplementary material

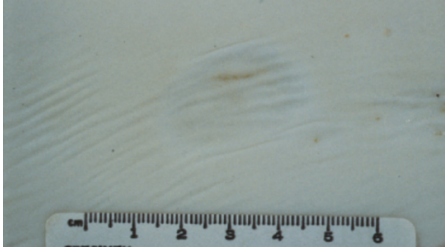
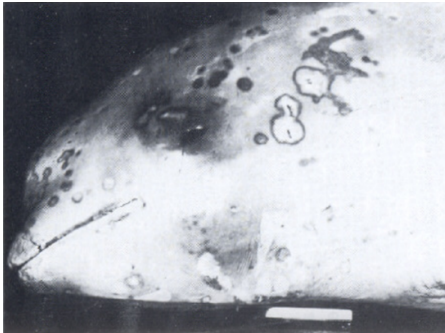
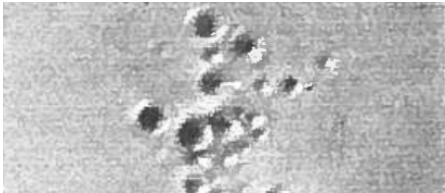

Table III. Preliminary list of skin lesion categories (SLC) established from literature on beluga whales (*Delphinapterus leucas*) as well as other Cetacean species. SLC in bold characters were included in the final list of SLC seen on belugas of the St. Lawrence Estuary (Canada).


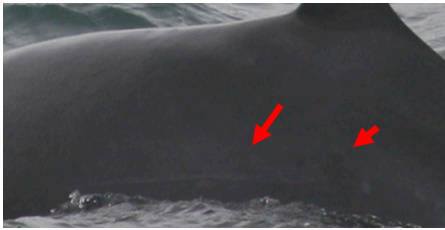
SLC	Macroscopic description	Photographic example	Cause (level of confidence ¹)	Species	Free-ranging or under human care	Geographical location ²	Source ³
“Single linear fissure” (black arrows)	An isolated sharply defined straight to slightly curved tear in the epidermis, with abrupt walls and slightly raised edges	 Credit: Kaplan <i>et al.</i> 2009	Unknown	Beluga	Free-ranging	Cook Inlet (Alaska)	Kaplan <i>et al.</i> 2009
“Single linear scar” (white arrows)	An isolated ill-defined straight to slightly curved depression of the epidermis		Unknown	Beluga	Free-ranging	Cook Inlet (Alaska)	Kaplan <i>et al.</i> 2009
“Multiple curved fissures / scars”	Juxtaposition of multiple parallel curved or semi-curved, evenly spaced fissures or scars. Compared to “rake marks”, they are typically deeper in the center of the cuts, and cuts are spaced by more than 2 to 3 cm.	 Credit: Kaplan <i>et al.</i> 2009	Boat propeller (suggested)	Beluga	Free-ranging	Cook Inlet (Alaska)	Kaplan <i>et al.</i> 2009
“Rake mark”	Juxtaposition of multiple parallel straight, curved or semi-curved, evenly spaced fissures or scars	 Credit: Kaplan <i>et al.</i> 2009	Killer whale, <i>Orcinus orca</i> (confirmed)	Beluga	Free-ranging	Cook Inlet (Alaska)	Kaplan <i>et al.</i> 2009
			Intraspecies interactions (suggested)	Beluga	Free-ranging	Onega Bay, White Sea (Russia)	Krasnova <i>et al.</i> 2015

SLC	Macroscopic description	Photographic example	Cause (level of confidence ¹)	Species	Free-ranging or under human care	Geographical location ²	Source ³
“Notch of the topline”	A transversal V-shaped fresh or healed cut along the dorsal midline	 Credit: Krasnova <i>et al.</i> 2015	Unknown	Beluga	Free-ranging	Onega Bay, White Sea (Russia)	Krasnova <i>et al.</i> 2015
“Morse code lesion”	The alignment of multiple dotted and/or dashed gray to black elements	 Credit: Kaplan <i>et al.</i> 2009	Unknown	Beluga	Free-ranging	Cook Inlet (Alaska)	Kaplan <i>et al.</i> 2009
			Poxvirus (suggested)	Beluga	Free-ranging	Onega Bay, White Sea (Russia)	Krasnova <i>et al.</i> 2015
“Nodule”	A well-defined elevation of the skin surface, regardless of their consistency, of a few centimeters in diameter	 Credit: Krasnova <i>et al.</i> 2015	Squamous cell carcinoma (confirmed)	Beluga	Free-ranging	St. Lawrence Estuary (Canada)	Martineau <i>et al.</i> 2002
			<i>Pseudomonas</i> bacteria (suggested)	Beluga	Free-ranging	Onega Bay, White Sea (Russia)	Krasnova <i>et al.</i> 2015
“Mass”	A well-defined elevation of the skin surface, regardless of their consistency, larger than a “nodule”	 Credit: Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM)	Unknown	Beluga	Free-ranging	St. Lawrence Estuary (Canada)	-

SLC	Macroscopic description	Photographic example	Cause (level of confidence ¹)	Species	Free-ranging or under human care	Geographical location ²	Source ³
“Scratches”	Thin and shallow injuries at the surface of the skin	 Credit: Krasnova <i>et al.</i> 2015	Sharp edges of ice, or at the bottom substrate, etc (suggested)	Beluga	Free-ranging	Onega Bay, White Sea (Russia)	Krasnova <i>et al.</i> 2015
“External parasite”	A macroscopically visible organisms clearly attached to the skin	 Credit: Nichols et Tschertter 2011	<i>Cyamus nodosus</i> , <i>C. monodontis</i> (suggested)	Beluga	Free-ranging	Greenland	Margolis 1954, Leung <i>et al.</i> 1967
			Sea lamprey (<i>Petromyzon marinus</i> ; suspected)	Minke whale (<i>Balaenoptera acutorostrata</i>)	Free-ranging	St. Lawrence Estuary (Canada)	Nichols et Tschertter 2011
			<i>Penella</i> sp.	Minke whale	Free-ranging	Iceland	Bertulli <i>et al.</i> 2012
“Hypo-pigmented patch”	A flat area of lighter color, compared to the adjacent skin	 Credit: Kaplan <i>et al.</i> 2009	Unknown	Beluga	Free-ranging	Cook Inlet (Alaska)	Kaplan <i>et al.</i> 2009
			Unknown or healing of mechanical damage (suggested)	Beluga	Free-ranging	Onega Bay, White Sea (Russia)	Krasnova <i>et al.</i> 2015
“Hyper-pigmented patch”	A flat area of darker color, compared to the adjacent skin	 Credit: Krasnova <i>et al.</i> 2015	Unknown	Beluga	Free-ranging	Onega Bay, White Sea (Russia)	Krasnova <i>et al.</i> 2015
“Yellow patch”	An irregular area of yellowish color, compared to the adjacent skin	Not available	Seasonal molting (suggested)	Beluga	Free-ranging	Hudson Strait (Canada)	St. Aubin <i>et al.</i> 1990

SLC	Macroscopic description	Photographic example	Cause (level of confidence ¹)	Species	Free-ranging or under human care	Geographical location ²	Source ³
“Ulcer-like lesion”	Both irregular erosions and ulcers of more than 1 cm in length	 <p>Credit: Martineau <i>et al.</i> 1988</p>	Herpesvirus (suspected)	Beluga	Free-ranging	St. Lawrence Estuary (Canada)	Martineau <i>et al.</i> 1988
			<i>Mycobacterium marinum</i> (confirmed)	Beluga	Under human care	NA	Bowenkamp <i>et al.</i> 2001
			<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i> (suggested)	Beluga	Unknown	Unknown	Dunn <i>et al.</i> 2001
		 <p>Credit: Naples <i>et al.</i> 2012</p>	<i>Fusarium solani</i> (confirmed)	Beluga	Under human care	NA	Naples <i>et al.</i> 2012
			Herpesvirus (confirmed)	Beluga	Free-ranging	Cook Inlet (Alaska)	Burek-Huntington <i>et al.</i> 2015
			<i>Candida</i> fungi (suggested)	Beluga	Free-ranging	Onega Bay, White Sea (Russia)	Krasnova <i>et al.</i> 2015
“Crater-like scar”	A well-circumscribed irregularly shaped depressed area of more than a few centimeters in diameter that usually appears to extend into the underlying dermis	 <p>Credit: Lockyer and Morris 1990</p>	Gunshot	Bottlenose dolphin	Free-ranging	Great Britain coastal water	Lockyer and Morris (1990)
“Target atrophy”	A pattern of concentric rings of depressed skin with different heights, forming a target image	 <p>Credit: St. Aubin 2001</p>	Unknown	Beluga	Free-ranging	Eastern Hudson Bay (Canada)	St. Aubin 2001
			Herpesvirus (suggested)	Beluga	Free-ranging	Onega Bay, White Sea (Russia)	Krasnova <i>et al.</i> 2015

SLC	Macroscopic description	Photographic example	Cause (level of confidence ¹)	Species	Free-ranging or under human care	Geographical location ²	Source ³
“Circular atrophy”	A well-defined nummular shallow depression of the skin surface of a few centimeters in diameter; the depression is wider than deep	 Credit: Mikaelian <i>et al.</i> 2001	<i>Dermatophilus</i> bacteria (suspected)	Beluga	Free-ranging	St. Lawrence Estuary (Canada)	Mikaelian <i>et al.</i> 2001
			Unknown	Beluga	Free-ranging	Eastern Hudson Bay (Canada)	St. Aubin 2001
			<i>Dermatophilus</i> bacteria (suggested)	Beluga	Free-ranging	Onega Bay, White Sea (Russia)	Krasnova <i>et al.</i> 2015
“Map atrophy”	A lesion similar to “circular depression”, only irregularly shaped and often larger than a few centimeters	 Credit: Martineau <i>et al.</i> 1988	Herpesvirus, chronic lesion (suggested)	Beluga	Free-ranging	St. Lawrence Estuary (Canada)	Martineau <i>et al.</i> 1988
			Herpesvirus (suspected)	Beluga	Under human care	NA	Barr <i>et al.</i> 1989
			Unknown	Beluga	Free-ranging	Cook Inlet (Alaska)	Kaplan <i>et al.</i> 2009
			<i>Dermatophilus</i> bacteria (suggested)	Beluga	Free-ranging	Onega Bay, White Sea (Russia)	Krasnova <i>et al.</i> 2015
“Pinhole erosions”	A circular erosion of the skin surface of only a few millimeters in diameter ; the depression is deeper than wide	 Credit: St. Aubin 2001	Unknown	Beluga	Free-ranging	Eastern Hudson Bay (Canada)	St. Aubin 2001
“Wart-like plaque”	Plate-like lesion, meaning a well-defined elevated area of skin with a surface area greater than its height, more than a few centimeters in diameter	 Credit: Van Bresseem <i>et al.</i> 1999	Papillomavirus (confirmed)	Harbour porpoise (<i>Phocoena phocoena</i>)	Free-ranging	North Sea (Germany)	Van Bresseem <i>et al.</i> 1999
			Unknown	Minke whale	Free-ranging	Iceland	Bertulli <i>et al.</i> 2012

SLC	Macroscopic description	Photographic example	Cause (level of confidence ¹)	Species	Free-ranging or under human care	Geographical location ²	Source ³
“Rhomboid dermal plaque”	Colorless, elevated, 1 to 8 cm long, diamond-shaped skin lesions with well-defined edges	 Credit: Melero <i>et al.</i> 2011	<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	Bottlenose dolphin	Free-ranging	Mediterranean Sea	Melero <i>et al.</i> 2011
“Oval scar”; “skidding marks”	Superficial skin abrasion with a circular shape; parallel, sinuous or linear, light gray sliding marks	 Credit: Bertulli <i>et al.</i> 2012	Bite mark attributed to <i>Petromyzon marinus</i> (suggested)	Minke whale	Free-ranging	Iceland	Bertulli <i>et al.</i> 2012
				Killer whale	Free-ranging	Iceland	Samarra <i>et al.</i> 2012

¹Three levels of confidence, or certainty, are given for the cause of a category of skin lesions: confirmed, if several ancillary tests were performed for infectious agents, through morphological diagnostic for external parasite and if a complete post-mortem examination was performed for intra- or interspecific interactions; suspected if only one ancillary test led to suspect an infectious agent and if only photographic diagnostic was performed for external parasite; suggested if authors believed it could be a cause based on morphology and literature or if no information was provided by authors about diagnostic method. ²NA: Not applicable. ³When no reference is provided, the SLC was created following the examination of the photo-id images from a subsample of encounters with belugas in the St. Lawrence Estuary.

Chapitre 3 – Pathologie des lésions cutanées chez les bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent, de 1983 à 2017

Cette deuxième partie de notre travail consistait en une étude anatomo-pathologique des lésions cutanées des bélugas dans l'estuaire du Saint-Laurent. Elle visait à mieux caractériser les différents types de lésions observés et à tenter d'en identifier les causes.

1. Matériel et méthodes

Le suivi de la santé de la population des bélugas de l'ESL inclut les nécropsies des individus retrouvés morts sur les berges de l'estuaire ou à la dérive. Cette étude porte sur les carcasses de bélugas observées entre 1983 et 2017. Selon l'accessibilité de la carcasse trouvée et son état de conservation, la décision fut prise de la transporter jusqu'au laboratoire de diagnostic de la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal. Après transport, les carcasses furent nécropsiées immédiatement ou conservées à 4°C préalablement à la nécropsie, pour 48h au maximum après le signalement de la carcasse. Les nécropsies furent réalisées sous la supervision d'un pathologiste expérimenté, en suivant une procédure standard relativement stable au cours du temps (17, 20). Entre 1983 et 2017, six pathologistes différents furent amenés à superviser les nécropsies. La catégorie « nouveau-né », « gris » ou « blanc » fut attribuée à la carcasse en fonction de la couleur de la peau et la morphologie de l'animal. Lorsqu'ils naissent, les bélugas sont d'une teinte marron clair à grise et présentent des plis fœtaux, puis ils deviennent gris-bleu avant de s'éclaircir progressivement pour devenir intégralement blanc vers 14 ans pour les femelles et vers 18 ans pour les mâles (32). La couleur fut utilisée comme proxy pour la catégorie d'âge de l'individu. Quelconque anomalie à l'examen macroscopique de la carcasse fut consignée sur le rapport de nécropsie et, de façon non systématique, photographiée.

Au cours de la nécropsie, des échantillons de peau saine et de peau présentant des lésions macroscopiques furent prélevés de façon opportune. Ils furent fixés dans une solution tamponnée de formol 10%, inclus dans de la paraffine, coupés en tranches de 3 à 5 μm d'épaisseur et colorés avec de l'hématoxyline, de la phloxine et du safran. Après montage des coupes histologiques entre lames et lamelles, celles-ci furent observées au microscope optique. Des colorations spéciales furent réalisées sur des coupes histologiques lorsque cela fut jugé nécessaire. Des sections de peau lésée furent occasionnellement conservés à -20°C ou à -80°C.

Les descriptions macroscopique et microscopique des lésions de peau faites par le pathologiste en charge de la nécropsie étaient disponibles dans les rapports de nécropsie. À partir de 2003, des photographies des faces latérales et dorsales des animaux furent réalisées et étaient disponibles pour vérification de la description macroscopique des lésions cutanées. Pour améliorer la cohérence dans la description microscopique des lésions cutanées, les coupes histologiques archivées furent intégralement réexaminées au microscope optique par la chercheuse principale (RLN) sous la supervision d'un pathologiste expérimenté (SL). Les informations et les coupes histologiques de lésions cutanées ayant déjà fait l'objet de publications furent également réexaminées (6, 8, 29). Suite à l'examen microscopique de l'ensemble des coupes histologiques de peau disponibles entre 1983 et 2017, des patrons histologiques de lésions cutanées furent définis selon l'aspect morphologique de ces anomalies.

Suite à l'examen histologique des tissus, sept lésions microscopiquement caractérisées par de la prolifération épithéliale papillomateuse (« papillomes inversés », « carcinome spinocellulaire »; Annexe 6, p. xv) furent sélectionnés pour effectuer une recherche de papillomavirus par immunohistochimie sur des sections de peau incluses dans la paraffine. Ceux-ci ont été soumis à un laboratoire de diagnostic vétérinaire (Prairie Diagnostic Services Inc.). La coloration immunohistochimique a été réalisée grâce à un colorateur de coupes histologiques entièrement automatisé (Autostainer Plus, Dako Canada Inc.). Pour récupérer l'épitope, un prétraitement induit par la chaleur utilisant un tampon de Tris/EDTA pH 9 était effectué pendant 20 min. L'anticorps primaire (anticorps polyclonaux de lapin anti-papillomavirus bovin 1, Dako Canada Inc.) dilué au 1:4000^{ème} était appliqué sur la section de tissu à tester, et le tout était incubé pendant 30 min. La révélation des premiers anticorps était permise par l'utilisation d'un kit de révélation (EnVision+ System HRP-labelled polymer anti-rabbit, Dako Canada Inc.) utilisant le 3,3'-diaminobenzidine-tetrahydrochlorure comme chromogène.

Une recherche d'herpèsvirus par technique de diagnostic moléculaire a aussi été effectuée sur 11 sections de peau présentant des lésions ulcéreuses ou bien pour lesquelles, microscopiquement, la présence de corps d'inclusion intranucléaires était suspectée. Des sections de peau décongelées ou déparaffinées et réhydratées furent soumises pour analyse. Un test par PCR (*polymerase chain reaction*, ou amplification en chaîne par polymérase), utilisant des amorces dégénérées ciblant le gène de l'ADN polymérase, fut utilisé comme cela a préalablement été décrit dans la littérature (326). Les séquences amplifiées étaient récupérées

sur gel agarose 1%, purifiées à l'aide d'un kit d'extraction (QIAquick Gel Extraction Kit, Qiagen Inc.) et séquencé par séquençage Sanger proposé à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal.

2. Résultats

Entre 1983 et 2017, 259 carcasses de bélugas ont été nécropsiées (Tableau IV, p. 95). La présence de lésions cutanées a été évaluée à partir des rapports de nécropsies principalement, et vérifiée à partir de photographies des faces latérales et dorsale prises quasi systématiquement à partir de 2003, soit pour 101 individus

Des anomalies cutanées étaient visibles macroscopiquement sur la majorité des carcasses (n=158), d'après les informations collectées dans les rapports de nécropsies. Des photographies de l'animal étaient disponibles pour 83 d'entre elles. Des lésions cutanées microscopiques ont été visualisées dans 14 cas pour lesquels aucune lésion de peau macroscopique n'avait été rapportée. Aucune lésion microscopique n'était visible sur les coupes histologiques d'échantillons de peau de 46 individus, alors que des lésions macroscopiques avaient été décrites. La plupart des catégories de lésions cutanées macroscopiques (CLC; cf. Chapitre 2, p. 57) établies préalablement à partir des photographies d'identification ont été observées sur les carcasses. Seul des parasites externes n'ont jamais été rencontrés sur les carcasses. Bien que des nodules et des masses étaient fréquemment décrits dans le pannicule adipeux, au pourtour de l'évent et sur les lèvres, une seule masse cutanée visible à l'examen externe de la carcasse a été décrite (Tableau V, p. 101; #98-D126).

La cause des lésions cutanées a pu être clairement établie au cours de l'examen macroscopique en de rares occasions. Des projectiles d'arme à feu ont été retrouvés au sein d'une plaie punctiforme fraîche et au sein du pannicule adipeux sous-jacent à une cicatrice en cratère, chez deux individus distincts. Des petits fragments de matériel brunâtre, dont l'apparence évoquait des morceaux de piquants d'oursin, ont été retrouvés multifocalement incrustés dans l'épiderme du melon de trois individus, et en face cranio-dorsale du tronc chez l'un d'entre eux (Figure 11, p. 96). Des lacérations courbes parallèles caractéristiques d'une blessure par hélice de bateau (146, 156) ont été observées sur une unique carcasse de béluga. En revanche, une lacération isolée profonde, courbe à sigmoïde, possiblement due à une collision avec une hélice de bateau, a été détectée sur quatre carcasses.

Tableau IV. Détection de lésions cutanées macroscopiques et microscopiques sur les carcasses de bélugas (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du Saint-Laurent nécropsiés entre 1983 et 2017 à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal (Québec, Canada).

Lésions cutanées			Sexe			Catégorie d'âge				Total
Observées à l'examen macroscopique	Échantillonnées	Observées à l'examen microscopique	Femelles	Mâles	Intersexués	Blancs	Gris	Nouveau-nés	Inc.	
Non	Non	NA	19	24	0	37	6	0	0	43
		Non	21	20	2	30	3	10	0	43
	Oui	Oui	8	6	0	11	0	3	0	14
		NA	1	0	0	1	0	0	0	1
Oui	Non	NA	9	6	0	11	1	3	0	15
		Non	26	20	0	36	6	4	0	46
	Oui	Oui	53	44	0	71	18	6	2	97
Total			137	120	2	197	34	26	2	259

NA: non applicable.



Figure 11. Fragments de matériel brunâtre incrusté dans l'épiderme du melon du béluga DL2017-04. L'aspect microscopique de ces lésions est visible sur la Figure 12, p. 98-99 (cupule). Échelle = 1 cm.

Un autre individu présentait une « cicatrice en cratère » pour laquelle une ancienne collision avec un bateau était la cause suspectée, étant donné les lésions pleurales et pulmonaires unilatérales sous-jacentes. Ainsi, en 35 ans, cinq individus nécropsiés (1,9%) ont présenté des blessures suggestives de lacération par une hélice de bateau. Cinq autres individus pour lesquels une hypothèse de collision avec un bateau avait été émise présentaient des lésions marquées d'origine traumatique (fractures, hémorragies), mais sans anomalie cutanée associée. Deux individus présentaient de multiples entailles cutanées relativement profondes, de longueur variable, largement espacées, dont l'origine était certainement l'empêchement dans du matériel de pêche, à l'origine de leur mort (confirmé). Ces entailles auraient été classées dans la catégorie « fissures linéaires uniques ». Elles étaient localisées au niveau du pédoncule caudal et au pourtour des nageoires pectorales.

Sept patrons histologiques de lésions cutanées ont été identifiés (Figure 12, p. 98-99). Les « dépressions focales » se caractérisent par une atrophie focalement extensive légère de l'épiderme s'accompagnant d'un léger épaissement de la couche parakératinotique. Un infiltrat inflammatoire peut occasionnellement être visible au sein du tissu interstitiel des papilles dermiques. Une « plaque » correspond à épaissement focalement extensif de la couche parakératinotique de l'épiderme, par dégénérescence précoce des kératinocytes avec hypertrophie, avec ou sans élévation de la surface de la peau. Les « petits cratères » sont des érosions

superficielles avec atrophie focale de l'épiderme, s'accompagnant d'un épaissement marqué de la couche parakératotique (dégénérescence de l'épiderme superficiel). La zone en dépression est aussi, ou plus, profonde que large. Un « papillome inversé » est une plage focale bien délimitée d'hyperplasie et d'hypertrophie des kératinocytes s'accompagnant de la désorganisation marquée de la structure de l'épiderme et du derme sous-jacent, avec formation de papilles dermiques ramifiées, raccourcies et courbées dont la direction est variable. Il s'agit d'une lésion proliférative papilliforme irrégulière endophytique, voire exophytique. La surface de l'épiderme est irrégulière et souvent érodée. Une « plaie » correspond à la perte focale d'épiderme de profondeur variable, avec dégénérescence des couches épidermiques superficielles exposées et, éventuellement, atteinte du derme sous-jacent. Ce terme désigne ici les érosions et les ulcères. Il peut s'accompagner d'inflammation et d'hémorragies. Une « cicatrice » se caractérise par l'altération de la structure de la jonction dermo-épidermique et/ou de l'organisation des papilles dermiques (courbées plutôt que droites, orientation variable, souvent vers le centre de la cicatrice) alors que la structure et l'épaisseur de l'épiderme apparaît saine; la surface de la peau est lisse. Le dernier patron histologique de lésions cutanées décrit est le « carcinome spinocellulaire cutanée », dont l'aspect est comparable à ce qui est décrit dans la littérature chez les espèces domestiques (90). Des gouttelettes intracytoplasmiques et intranucléaires étaient occasionnellement observées dans les kératinocytes sur les coupes histologiques de peau lésée (Tableau V, p. 101). L'hypothèse de corps d'inclusion associés à un poxvirus ou un herpèsvirus était alors émise.

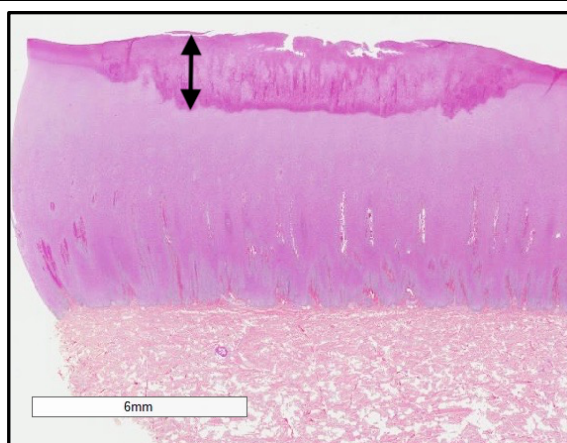
À l'examen des rapports de nécropsie, il apparaissait qu'un examen par microscopie électronique avait été réalisé sur un total de cinq sections de peau provenant de cinq individus distincts; les résultats ont préalablement été décrits dans la littérature pour certains d'entre eux (6, 29). Finalement, des particules intranucléaires dont la morphologie était compatible avec celle d'herpèsvirus ont été observées chez un seul individu qui présentait une dermatite ulcéreuse nécrosante associée à la présence de corps d'inclusion intranucléaires éosinophiliques à amphophiliques au sein des kératinocytes (Tableau V, p. 101; #84-3014) (6). Autrement, l'examen au microscope électronique indiquait que les potentiels corps d'inclusion étaient en réalité des gouttelettes protéiques amorphes ou du réticulum endoplasmique sévèrement distendu par du liquide protéique. Aucune particule virale de morphologie similaire à celle des

poxvirus n'a été observée lorsque des éléments intracytoplasmiques éosinophiliques étaient présents sur les coupes histologiques.

Figure 12. Patrons histologiques de lésions cutanées observées sur les carcasses de bélugas (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du Saint-Laurent nécropsiés entre 1983 et 2017 à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal (Québec, Canada).



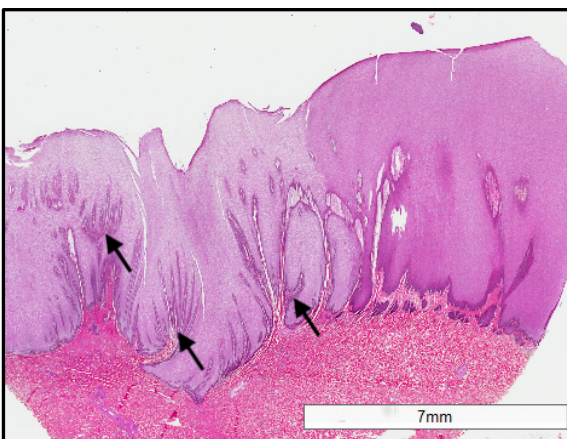
« **Dépression focale** » : atrophie focalement extensive légère de l'épiderme (flèche) s'accompagnant d'un léger épaissement de la couche parakératotique. Il s'agit ici d'une section de dépression nummulaire cutanée.



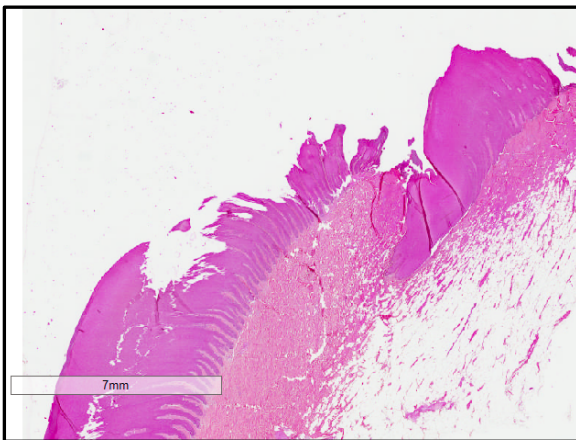
« **Plaque** » : épaissement focalement extensif de la couche parakératotique de l'épiderme, avec une légère élévation de la surface de la peau (entre les flèches). Ici, il s'agit d'une section de peau provenant d'une papule ronde, de teinte beige.



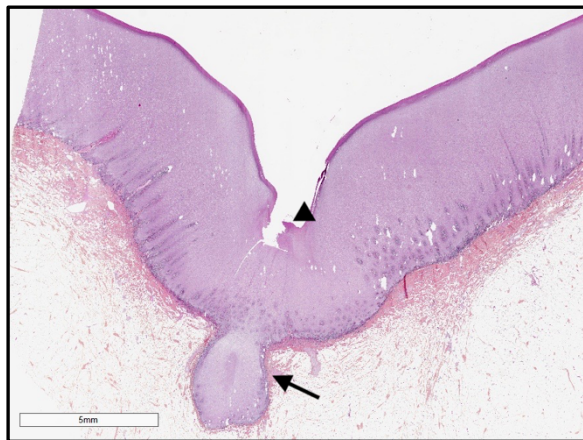
« **Petits cratères** » : érosion superficielle et atrophie focale de l'épiderme s'accompagnant d'un épaissement marqué de la couche parakératotique. La zone en dépression est plus profonde que large. Il s'agit ici d'une section de peau à hauteur de petits corps étrangers piquants incrusté dans l'épiderme, créant occasionnellement des dépressions en pointillé.



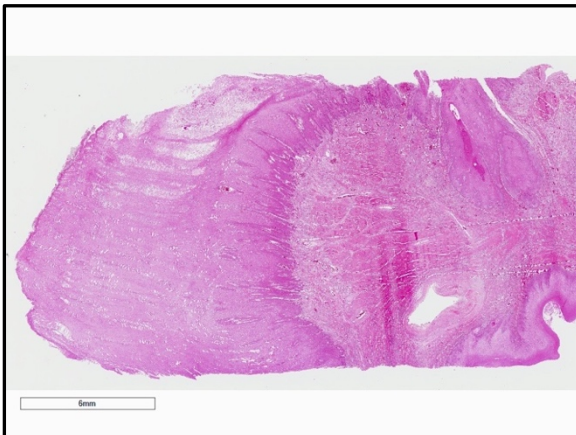
« **Papillome inversé** » : plage focale bien délimitée de prolifération épithéliale endophytique, s'accompagnant de la désorganisation marquée de la structure de la peau, avec formation de papilles dermiques ramifiées, raccourcies et courbées, dont la direction est variable (flèches). La surface de l'épiderme est érodée et irrégulière. Il s'agit ici d'une coupe histologique de petit ulcère (≈ 1 cm).



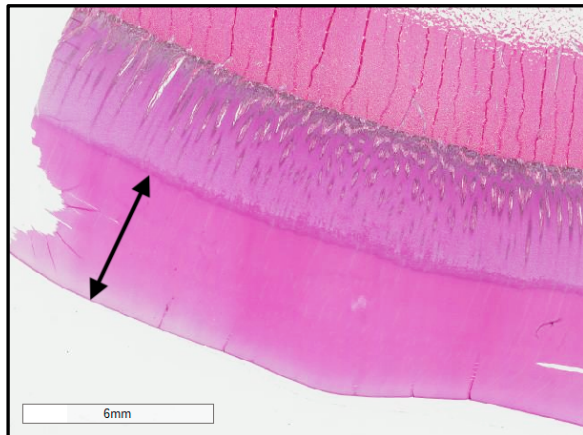
« **Plaie** » : perte focale d'épiderme, avec dégénérescence des couches épidermiques superficielles exposées. Il s'agit ici d'un ulcère car le derme est atteint. La section de peau provient d'une plaie. Un herpesvirus a été mis en évidence par PCR au sein de cette « plaie ».



« **Cicatrice** » : altération de la structure de la jonction dermo-épidermique (flèche) et de l'organisation des papilles dermiques alors que la structure et l'épaisseur de l'épiderme apparaît saine, à l'exception d'une érosion centrale (tête de flèche). Il s'agit ici d'une coupe histologique de cicatrice cutanée ovale légèrement déprimée. La cicatrisation semble être en train de s'achever.



« **Carcinome spinocellulaire cutané** » : masse avec prolifération épithéliale anarchique, désorganisation de la structure de la peau (derme, papilles dermiques et épiderme). Il s'agissait macroscopiquement d'une zone verruqueuse en relief (1-3 cm), de 9 cm de diamètre, au centre ulcéré.



Peau saine chez un nouveau-né : la couche parakératotique est très épaisse (flèche à double tête) comparativement aux bélugas plus âgés (Annexe 1, p. 147). Une ligne de démarcation nette est visible à mi-hauteur de l'épiderme approximativement.

Des bactéries étaient occasionnellement visibles à la surface de l'épiderme ou au sein de lésions cutanées. Certaines de ces bactéries étaient des coccobacilles Gram négatif organisés en chaînettes, formant une image de rails. Des éléments translucides en forme d'aiguilles étaient quelquefois visibles en surface de la couche parakératotique ou entre les premières couches

cellulaires de cette dernière. Ces éléments avaient une morphologie caractéristique de diatomées (244). Aucun de ces organismes n'était associé à des changements microscopiques significatifs; ils étaient considérés comme des organismes colonisateurs opportunistes des couches superficielles de l'épiderme.

Aucune réaction significative, indiquant la présence d'antigènes de papillomavirus, n'a été observée sur les coupes des sept échantillons de peau soumis pour immunohistochimie pour papillomavirus (Tableau V, p. 101). Seul un échantillon s'est avéré positif pour herpèsvirus sur les 11 échantillons de peau, provenant de 10 bélugas différents, testés par PCR pour herpèsvirus. Il provenait d'une lésion de type « plaie » chez un béluga mâle adulte. Les kératinocytes bordant cette « plaie » portaient de larges corps d'inclusion intranucléaires amphophiliques. La séquence amplifiée présentait 100% d'homologie avec celle du gamma-herpèsvirus équin 2. Aucune autre lésion pour laquelle la présence de corps d'inclusion était suspectée ne s'est révélée positive pour herpèsvirus. Une section de peau du béluga #80-3014 chez lequel la présence de particules d'herpèsvirus avait été révélées au sein d'un ulcère par microscopie électronique s'est également avéré négatif pour herpèsvirus par PCR.

Tableau V. Résultats de l'examen microscopique, de l'analyse immunohistochimique (IHC) pour papillomavirus et du test PCR pour herpèsvirus pour un échantillon de lésions cutanées observées sur des carcasses de bélugas (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du Saint-Laurent échouées et nécropsiées entre 1983 et 2017 à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal (Québec, Canada).

#ID	Lésion macroscopique ¹	Lésion microscopique	Gouttelettes dans les kératinocytes ²	IHC papillomavirus	Échantillon soumis pour PCR	PCR herpèsvirus
84-3014	Plaie ulcérée	« Papillome inversé » ulcéré	In, A Ic, E	(-)	P	(-)
89-3809	« Plaie »	« Papillome inversé » ulcéré	(-)	(-)	P	(-)
91-4316	Blessure	« Plaie »	In, A	NE	P	(+)
92-4164	« Lésion type ulcère »	« Plaie »	In, A	NE	P (x2)	(-)
98-8080	« Dépression en pointillé »	« Petit cratère »	In, A	NE	P	(-)
98-D126	« Masse » ulcérée	« Carcinome spinocellulaire »	Ic, B	(-)	P	(-)
00-E914	« Dépression nummulaire »	« Papillome inversé »	Ic, E	(-)	P	NE
01-5794	« Plaie »	« Plaie »	(-)	(-)	P	(-)
02-6827	« Plaie »	« Papillome inversé »	In, B	(-)	P	(-)
P2371-13	« Lésion en code Morse »	« Papillome inversé »	In, B	(-)	P	(-)
P4029-17-8	« Plaie »	« Plaie »	(-)	NE	D (x1) P (x1)	(-) (-)

¹ Quand la description de l'apparence macroscopique de la lésion cutanée dans le rapport de nécropsie n'a pas permis l'attribution d'une catégorie préalablement décrite dans l'atlas, une courte description est donnée. ² Visualisées à l'examen au microscope optique des coupes histologiques de peau. In: intranucléaire. Ic : intracytoplasmique. A : amphophile. E : éosinophile. B : basophile. P : échantillon de peau paraffiné. D : échantillon de peau décongelé. (+) : positif. (-) : négatif. NE : non évalué.

3. Discussion

Des anomalies cutanées étaient présentes sur un grand nombre d'individus, c'est-à-dire 61% des carcasses examinées à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal entre 1983 et 2017. Toutefois, en raison du biais d'échantillonnage possible, cette proportion ne peut être considérée comme une estimation exacte du nombre d'individus présentant des lésions cutanées dans la population de bélugas du Saint-Laurent, ni même parmi les bélugas échoués sur les berges de l'ESL. Des lésions cutanées *ante-mortem* étaient vraisemblablement présentes sur d'autres carcasses, mais elles n'étaient pas toujours décrites dans le rapport de nécropsie si elles n'étaient pas considérées par le pathologiste comme ayant un impact significatif sur l'état de santé de l'animal (*e.g.* marques en dents de râteau, anomalies de pigmentation). Ceci explique peut-être en partie la présence de lésions microscopiques à l'examen de coupes histologiques de peau provenant d'un animal pour lequel aucune lésion cutanée macroscopique n'était rapportée (5,4% des individus nécropsiés). Ceci peut également s'expliquer par l'observation sur la section de peau d'un infiltrat inflammatoire sans autre changement microscopique majeur. De plus, des lésions cutanées plus discrètes auraient bien pu être masquées par la présence de changements *post-mortem* souvent importants. Inversement, dans chez 17,8% des individus nécropsiés, des lésions macroscopiques étaient décrites mais aucune anomalie microscopique n'était observée sur les coupes histologiques parce que la lésion n'avait pas été échantillonnée ou parce que la coupe histologique de la section de peau préparée n'était pas exactement située au niveau de la lésion.

À partir des rapports de nécropsie et des photographies, il était parfois difficile d'évaluer si certaines anomalies cutanées étaient d'origine *ante-mortem* ou *post-mortem*. Étant donné que des photographies de l'aspect extérieur des carcasses n'étaient disponibles qu'à partir de 2003, l'évaluation rétrospective des lésions cutanées macroscopiques reposait principalement sur la description qui en avait été faite initialement dans le rapport de nécropsie. Pour cette raison, il ne fut pas toujours possible d'attribuer aux lésions macroscopiques une CLC selon la liste établie précédemment (cf. Chapitre 2, p. 57).

À partir de la morphologie microscopique des lésions, sept patrons histologiques de lésions cutanées ont été définis, sans tentative d'associer ces patrons avec les CLC macroscopiques. La difficulté pour clairement catégoriser les lésions macroscopiques à partir des rapports de

nécropsie a en effet limité la possibilité d'étudier la correspondance entre catégories de lésions cutanées macroscopiques et patrons histologiques de lésions cutanées. Toutefois, il est clair que la diversité des types de lésions cutanées microscopiques est bien moindre que celle des catégories de lésions cutanées macroscopiques, ce qui suggère qu'à un patron histologique peuvent correspondre plusieurs CLC.

De la même façon que cela avait été décrit par Lockyer et Morris (128), la « cicatrice en cratère » portée par un des bélugas était apparue suite à une blessure par arme à feu. L'un des cas décrit ici suggère que les cicatrices en cratère peuvent également être secondaires à une collision avec un bateau. Les « cicatrices en cratère » persistent probablement suite à une perte importante de tissu cutané, voire musculaire. En effet, la présence ou non d'une cicatrice et sa persistance dépendent de la profondeur de la blessure et de l'ampleur de la perte de matière (127, 128). En revanche, chez les bélugas, aucune différence de teinte n'a été observée au niveau des cicatrices en cratères, contrairement aux Cétacés de couleur sombre (128, 135), à l'exception d'une occasionnelle teinte jaunâtre, possiblement due à une perturbation de la desquamation de l'épiderme au niveau de cette irrégularité de la surface du tégument.

Aucun parasite observé en surface de la peau de bélugas nageant dans l'estuaire n'a été retrouvé sur les carcasses. L'identification des parasites observés sur des bélugas vivants photographiés dans l'estuaire du Saint-Laurent (cf. Chapitre 2, p. 57) n'a donc pas été possible. Il s'agit vraisemblablement d'un parasite temporaire et qui se détachera suite à l'échouage de la carcasse, comportement compatible avec le diagnostic présomptif proposé précédemment d'une infestation par des lamproies marines (*Petromyzon marinus*) (257). Aucune lésion cutanée suggérant l'attachement antérieur d'une lamproie (256-258, 327) n'a été visualisée sur aucune carcasse.

Il nous a été possible de mettre en évidence une infection à herpèsvirus à l'origine d'une dermatite ulcéreuse chez un individu, comme cela avait déjà été décrit chez des bélugas (6, 133, 231). En revanche, les « ulcères » ne semblent pas pathognomoniques d'une infection cutanée à herpèsvirus. Parmi huit ulcères cutanés testés par PCR pour herpèsvirus, sept se sont avérés négatifs. Ce test PCR s'est notamment avéré négatif sur une section de lésion cutanée du béluga atteint de dermatite ulcéreuse à herpèsvirus, confirmée par microscopie électronique, décrit par Martineau *et al.* (6). Il est possible que l'altération de l'échantillon, formolé, paraffiné puis déparaffiné, ait gêné la détection du virus par test PCR (moindre sensibilité). Aussi, ce béluga

présentait des lésions au sein desquelles des particules d'herpèsvirus étaient présentes, et d'autres où elles étaient absentes; la section de peau testée se trouvait peut-être en dehors de la zone d'infection active (6). Le séquençage des séquences amplifiées a révélé une homologie de 100% avec le gamma-herpèsvirus équin 2. Pourtant, les cas d'infection à herpèsvirus précédemment décrits chez les bélugas, lorsque le virus a pu être caractérisé, font état d'une infection par un alpha-herpèsvirus, à l'origine de lésions cutanées et des muqueuses (16, 231). Un gamma-herpèsvirus a été mis en évidence au sein de lésions des muqueuses orales et génitales principalement, mais aussi de la peau chez des Odontocètes : grands dauphins, dauphin de Risso, cachalot nain (*Kogia sima*), baleine à bec de Blainville (*Mesoplodon densirostris*), dauphins bleus et blancs et marsouin commun (233, 276, 328-331). Par ailleurs, des anticorps anti-gamma-herpèsvirus ont été préalablement décrits chez des bélugas en Russie (332). Le séquençage complet du génome serait pertinent pour mieux caractériser le gamma-herpèsvirus détecté chez ce béluga de l'ESL.

Les papillomes et lésions verruqueuses ont fréquemment été associés à des papillomavirus chez les Mammifères (333). Chez les Cétacés, une plaque cutanée verruqueuse a été associée à un papillomavirus chez un marsouin commun (222). Par ailleurs, chez le chien et la panthère des neiges, une association entre infection à papillomavirus et carcinome spinocellulaire est suspectée (90). Pour cette raison, une analyse immunohistochimique pour papillomavirus a été réalisée sur des sections de « papillomes inversés », couramment décrits chez les bélugas du Saint-Laurent, et sur une coupe de « carcinome spinocellulaire ». Toutefois, aucun papillomavirus n'a été mis en évidence, malgré l'utilisation d'anticorps polyclonaux de lapin contre le papillomavirus bovin 1, qui avait permis de révéler la présence d'antigène de papillomavirus au sein du papillome cutané chez le marsouin commun (222). Les « papillomes inversés » étaient observés microscopiquement sur des sections de peau prélevées au sein de plaies (plaque ulcérée, ulcère, « lésion en code Morse »). Aucun herpèsvirus n'a été détecté sur des échantillons de ces lésions. Ce phénomène pourrait correspondre au processus de cicatrisation cutanée chez les bélugas, et donc ne pas avoir d'association causale avec un agent viral. L'apparence histologique des « papillomes inversés » n'a pas été décrite dans les études sur la cicatrisation cutanée chez le grand dauphin (122) et chez le béluga (123), bien qu'une hypertrophie des cellules de la couche épineuse fût décrite. Toutefois, ces études suivaient la cicatrisation de lacérations épidermiques superficielles iatrogènes. Chez une baleine boréale, un

épaississement, un raccourcissement et une irrégularité des papilles dermiques étaient visibles au niveau d'une cicatrice (135). Quelques éléments suggèrent donc que les « papillomes inversés » pourraient correspondre à l'aspect histologique d'un stade intermédiaire de la cicatrisation des plaies cutanées chez les bélugas.

L'examen histologique des lésions décrites comme des « dépressions nummulaires », incluant celles décrites préalablement comme étant associées à des infections à *Dermatophilus* sp. (29), ne nous a pas permis de confirmer ce diagnostic présumé. Des bactéries étaient bien occasionnellement visualisées en surface ou au sein des premières couches cellulaires de sections de peau saine ou lésée, mais contrairement à ce qui a été décrit par Mikaelian *et al.* (29), ces bactéries étaient Gram négatif et n'appartenaient donc pas au genre *Dermatophilus*, un genre Gram positif (334). De plus, les structures décrites comme des nématocystes dans cette série de cas avaient plutôt une morphologie caractéristique de diatomées. Bien qu'une infiltration du derme par des cellules inflammatoires fût souvent présente, il ne semble pas y avoir d'association entre la sévérité de cette inflammation et la présence de ces structures dans les zones épidermiques superficielles. Par conséquent, la présence de ces organismes, qui sont régulièrement retrouvés en superficie de la peau saine de Cétacés (67, 105, 108), n'est pas considérée comme pathologique. Il semblait s'agir de prolifération opportuniste, voire de surinfection, et non pas de la cause primaire de la lésion.

Enfin, nos observations n'appuient pas l'hypothèse d'une étiologie virale pour les « dépressions nummulaires » et les « dépressions en carte géographique », contrairement à ce qui a été suggéré précédemment chez les bélugas (134) ou à ce qui est observé chez d'autres espèces de Cétacés, suite à une infection par un poxvirus (85, 211, 214-216). Des éléments intracytoplasmiques ou intranucléaires suggestifs de corps d'inclusion étaient régulièrement rencontrés au sein des kératinocytes sur les coupes histologiques, mais les lésions histologiques n'étaient pas suggestives d'une infection par poxvirus. Certaines sections de peau incluse dans la paraffine furent préparés pour un examen au microscope électronique selon une technique préalablement décrite (6, 11). Mais les examens au microscope électronique, bien que réalisés chez seulement trois individus présentant des « dépressions nummulaires » ou des « dépressions en carte géographique », n'ont pas permis de mettre en évidence des particules virales.

L'étude rétrospective des anomalies cutanées observées sur les carcasses de bélugas de 1983 à 2017 a permis de déterminer la cause de certaines lésions, ou bien de réfuter certaines

hypothèses étiologiques pour d'autres. Les limites à notre compréhension des lésions cutanées à partir des carcasses collectées sont toutefois indéniables. Des informations étaient rarement disponibles pour des lésions qui n'étaient pas considérées significatives pour l'état de santé de l'animal (anomalies de pigmentation, « marques en dents de râteau »). Il était également difficile d'étudier la corrélation entre CLC et patrons histologiques, étant donné la variabilité des informations disponibles dans les rapports de nécropsie. Ce constat suggère la nécessité de standardiser la description de la condition cutanée des carcasses dans les rapports de nécropsie. Les causes établies pour la plupart des lésions cutanées restent souvent spéculatives, notamment pour l'origine des lésions traumatiques. Une meilleure compréhension des processus physiologiques de cicatrisation des lésions cutanées chez les bélugas aiderait également à mieux discerner les anomalies pathologiques et les changements associés à la cicatrisation.

Discussion générale

L'exercice réalisé ici nous a permis de proposer une nomenclature pour les lésions cutanées macroscopiques (CLC) observées à partir de photographies prises dans le cadre d'un programme de photo-identification du béluga du Saint-Laurent. Cette standardisation nous a permis d'estimer la fréquence d'observation de chaque CLC lors de captures photographiques de bélugas de l'ESL dans le cadre du programme de photo-identification et d'évaluer les variations de ces proportions en fonction du groupe d'âge. L'évaluation rétrospective des rapports de nécropsies et l'examen histologique et moléculaire du matériel archivé nous a permis de faire une description des principaux patrons histologiques présents et d'explorer plusieurs hypothèses étiologiques pour les différents types de lésions observés sur les bélugas. La prévalence des lésions cutanées dans la population des bélugas de l'ESL ne pouvait toutefois pas être évaluée à partir des données de nécropsie, du fait de biais d'échantillonnage.

Les lésions macroscopiques présentes étaient essentiellement similaires à ce qui a été décrit chez d'autres espèces de Cétacés. La présence de lésions cutanées sur les bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent était très fréquente, notamment chez les individus gris et les individus blancs. Il était aussi relativement fréquent d'observer des lésions cutanées sur les carcasses de bélugas échoués.

Comme cela a été observé chez d'autres espèces d'Odontocètes pour certains types de lésions (124, 212, 335), les nouveau-nés présentaient moins fréquemment de lésions cutanées. Chez les grands dauphins, la fréquence des marques en dents de râteau était moindre chez les nouveau-nés comparativement aux individus plus âgés (124). De façon similaire, dans cette étude, la fréquence d'observation de « marques en dents de râteau » sur les captures photographiques de nouveau-nés était moindre comparativement à celle mesurée à partir des captures photographiques de bélugas gris et blancs. Il semble que la fréquence d'observation des ulcères soit plus élevée lors de captures photographiques de nouveau-nés (17.1%) que lors de captures photographiques d'individus gris (4.7%) et blancs (2.7%).

La plupart des lésions observées sur les bélugas semblaient d'origine traumatique (« fissures linéaires uniques », « cicatrices linéaires uniques » et en « cratère », « marques en dents de râteau », « bris de la ligne du dos »). Pour les « lésions en code Morse », une origine traumatique était également suspectée. Cette CLC a effectivement été observée sur une unique

carcasse, celle d'un adulte blanc, et elle correspondait à la succession d'ulcères au pourtour desquels l'épiderme était pigmenté. Chez les bélugas du Saint-Laurent, les marques en dents de râteau sont vraisemblablement dues aux interactions intraspécifiques essentiellement; l'existence d'interactions interspécifiques ne peut toutefois être exclue. Les « fissures linéaires uniques », et secondairement les « cicatrices linéaires uniques », pourraient en partie être dues à des interactions intraspécifiques et à des frottements sur le substrat du fond marin (98), voire des frottements ou des collisions avec des morceaux de glace. Aussi, certaines des « fissures linéaires uniques » observées sur les photographies de bélugas réalisées lors des sessions de photo-identification pourraient être dues à des empêtrement dans du matériel de pêche, comme cela a été noté sur deux carcasses. Il convient toutefois de souligner que ces lésions étaient éparpillées et certaines se trouvaient au pourtour des nageoires pectorales, comme cela est fréquemment décrit dans les cas d'empêtrement dans du matériel de pêche chez les Cétacés (146, 150). À partir de photographies d'un animal vivant en eaux libres, il aurait probablement été difficile de suspecter un empêtrement dans un filet de pêche. Autrement, aucun béluga observé dans l'ESL ne portait des lésions cutanées suggestives d'un empêtrement dans du matériel de pêche. Azevedo *et al.* (322) ont toutefois suggéré que, chez des dauphins de Guyane (*Sotalia guianensis*), des lésions semblables au « bris de la ligne du dos » pouvaient être causées par l'enchevêtrement dans du matériel de pêche. Par ailleurs, un empêtrement dans du matériel de pêche a causé la mort de deux bélugas de l'ESL (17). Ces constatations suggèrent que l'évaluation de l'impact des activités halieutiques sur des bélugas de l'ESL à partir des données de photo-identification et de l'évaluation de la condition cutanée est limitée.

Au cours des sessions de photo-identification des bélugas dans l'ESL, comme au cours de l'examen des carcasses, très peu d'individus présentaient des lésions cutanées caractéristiques d'une collision avec une hélice de bateau, à savoir des « fissures/cicatrices arquées parallèles », telles que décrites dans la littérature (151, 152, 154). Des lésions caractéristiques d'une blessure par hélice de bateau ont été observées sur une unique carcasse parmi les bélugas nécropsiés. Cette collision, considérée relativement peu significative pour la santé de l'animal, était probablement survenue chez un individu débilité par une intoxication à la saxitoxine (18). Le transport fluvial, les activités de pêche et les activités récréatives sont importantes dans l'estuaire du Saint-Laurent. Il semble pourtant que l'impact des engins motorisés comme source de lésions cutanées chez les bélugas de l'ESL soit modeste. Toutefois, les résultats du programme d'examen

post-mortem des bélugas de l'ESL suggéraient qu'une collision avec un bateau pouvait aussi causer des lésions cutanées moins caractéristiques, à l'instar de « cicatrices en cratères » ou de « fissures linéaires uniques ». La fréquence des collisions des bélugas avec des bateaux dans l'ESL à partir des données de photo-identification serait alors sous-estimée par la difficulté d'attribuer certaines lésions cutanées à cette cause. De plus, on suspectait une collision avec un bateau d'être la cause primaire de la mort de huit individus entre 1983 et 2014, parmi lesquels certains ne présentaient pas de lésion cutanée (17). La mortalité associée aux collisions avec des bateaux constitue un biais dans l'évaluation de l'impact direct des navires sur les bélugas par l'examen des photographies d'individus vivants. Il convient d'également prendre en compte les cas de collisions mortelles documentés. Il est aussi intéressant de noter que des bélugas solitaires, observés en dehors de l'aire de répartition habituelle des bélugas de l'ESL, et se montrant engageants vis-à-vis des humains, présentaient des lésions cutanées potentiellement dues à l'hélice d'un moteur de bateau (Robert Michaud 2018, communication personnelle). Or, ces individus, qui pourraient présenter un risque accru de collision avec les bateaux, ont peu de probabilité d'être photographiés lors des sessions de photo-identification puisqu'ils n'utilisent pas l'aire où ces excursions sont menées. Ces éléments suggèrent que chez les bélugas de l'ESL, la présence de lésions cutanées caractéristiques d'une collision n'est pas un indicateur représentatif de la fréquence des collisions et de l'impact direct des bateaux qui circulent sur le Saint-Laurent. Il n'est toutefois pas exclu que le suivi de ce type de lésions, via le programme de photo-identification notamment, permettent de détecter des variations saisonnières ou annuelles de la fréquence des collisions, comme cela a été observé par Wells et Scott (152) chez les grands dauphins en Floride.

Les résultats des analyses de données des examens *post-mortem* et de photo-identification indiquent que les « cicatrices en cratère » pourraient, pour certaines, être secondaires à un tir par arme à feu, comme cela a été décrit chez un grand dauphin (128). La fréquence d'observation de cette CLC lors des captures photographiques d'individus gris (2.8%), nés après 1985 pour ceux observés au cours de cette étude, laisse toutefois suspecter que d'autres causes existent pour cette CLC. Une erreur de classification de certains individus pour la catégorie d'âge ne peut pas être exclue, étant donné le changement de couleur de peau très graduel chez les bélugas et les variations importantes de luminosité lors des excursions de photo-identification, selon les conditions météorologiques. Certaines lésions décrites comme des « cicatrices en cratère »

peuvent perdurer suite au marquage d'un individu avec un émetteur, comme le LIMPET, pour *low impact minimally percutaneous electronic transmitter*, comme en atteste l'observation de deux bélugas de l'ESL marqué en 2015 et revus en 2016 (Annexe 5, p. xiii; Robert Michaud 2018, communication personnelle). Toutefois, cette cause peut être considérée comme négligeable étant donné le peu d'individus marqués et elle ne concernait pas les individus observés dans cette étude, photographiés auparavant, entre 2003 et 2014. Enfin, les observations faites sur l'un des individus nécropsiés portant une « cicatrice en cratère » suggéraient qu'elle était secondaire à une collision avec un bateau.

Les « parasites externes » attachés sur le corps de certains bélugas dans l'ESL n'ont pas pu être identifiés puisqu'aucun d'entre eux n'a été retrouvé sur les carcasses collectées. D'après leur morphologie, il s'agit probablement de lamproies marines (*Petromyzon marinus*), comme celles qui ont été observées sur les petits rorquals dans l'estuaire du Saint-Laurent (257). Comme chez d'autres espèces de Cétacés, les lamproies laissent probablement des lésions cutanées (256-258, 327). Toutefois, aucune lésion cutanée décrite chez les bélugas de l'ESL n'a pu être attribuée avec certitude aux lamproies. Aucune lésion similaire à ce qui a été décrit dans la littérature n'a été observée sur les bélugas photographiés ou nécropsiés.

Des petits fragments de matériel brunâtres, semblables à des piquants d'oursin, ont été observés ponctuellement sur les carcasses, incrustés dans l'épiderme superficiel. Certains étaient enchâssés au centre de « dépressions en pointillé ». Cette découverte fortuite était le plus souvent localisée au niveau du melon, voire sur la face dorsale du tronc de l'animal. Il est raisonnable de penser que ces « échardes » apparaissent lorsque le béluga se nourrit sur le fond marin (32), ou bien lorsqu'il se frotte sur le substrat de l'estuaire (98).

La présence de fissures et d'érosions était relativement fréquente lors des observations sur le terrain de nouveau-nés. Bien que d'autres causes soient possibles, l'apparence de ces lésions nous évoquait un phénomène de mue post-natale. Ce phénomène a été succinctement décrit dans la littérature (56) mais aucune description des changements macroscopiques et microscopiques qui y sont associés ne sont décrits chez le béluga. Les changements cutanés visibles lors de la mue post-natale sont en revanche décrits chez le veau de la baleine noire australe (336). Certaines lésions observées chez les bélugas nouveau-nés de l'ESL ne seraient donc pas systématiquement pathologiques mais pourraient être associées à la mue post-natale (Figure 10,

p. 75). Un suivi photographique de femelles identifiées et suivies serait pertinent pour confirmer cette hypothèse.

Il a été suggéré au cours de cette étude que les « plages jaunâtres », les « dépressions nummulaires », les « dépressions en carte géographique », voire les « dépressions en cible » pouvaient être, au moins en partie, associées à un phénomène de mue saisonnière physiologique. Dans la baie d'Hudson, une coloration jaunâtre apparaît en surface du tégument au cours de l'hiver et disparaît en été (94, 98). La desquamation de lanière de peau est conjointement observée. Ce phénomène de mue n'a jusqu'à présent jamais été constaté chez les bélugas de l'ESL. Il est toutefois raisonnable de suggérer que les plages jaunâtres apparaissent au cours de l'hiver, par l'accumulation en surface de couches épidermiques anciennes, et qu'au printemps, des modifications du relief de la surface cutanée apparaissent à mesure que la mue survient (« dépressions nummulaires », « dépressions en carte géographique », « dépressions en cible »). Ce phénomène physiologique serait alors plutôt discret et progressif, à l'instar de ce qui est suspecté chez les bélugas de Cook Inlet (139), contrairement à la mue considérable et subite décrite chez les bélugas de l'Arctique. Il serait intéressant de suivre l'évolution de la condition cutanée des bélugas au cours de l'année, d'une saison à l'autre, pour étayer cette hypothèse.

Un nouveau cas de dermatite ulcérate à herpèsvirus a été décrit au cours de cette étude; ces éléments viennent conforter les précédents cas décrits dans la littérature (6, 133, 231). Le séquençage complet de l'herpèsvirus détecté ici serait pertinent pour mieux le caractériser.

La recherche de la cause de certaines CLC et de certains patrons histologiques à partir des tissus collectés au cours des nécropsies et archivés n'a parfois pas permis de la mettre en évidence. Aucun papillomavirus n'a été détecté au sein des lésions papillomateuses, malgré le recours à une méthode éprouvée auparavant chez un marsouin commun (222). Malgré ce qui a été décrit précédemment, les « dépressions nummulaires » ne semblent pas être associées à des organismes semblables au genre *Dermatophilus* (29). Nos observations ne permettent pas non plus d'appuyer l'hypothèse d'un agent étiologique viral pour les « dépressions nummulaires » et les « dépressions en carte géographique » comme d'autres l'ont suggérée (134) ou par comparaison avec ce qui est observé chez d'autres espèces d'Odontocètes (poxvirose chez les dauphins et les marsouins).

La cause des autres catégories de lésions cutanées (défauts de pigmentation, « lésions en code Morse », « nodules » et « masses ») reste indéterminée, que ce soit à partir de l'examen de

photographies ou à partir de l'examen de tissus collectés sur des carcasses. La signification pour la santé de l'individu de la plupart des lésions cutanées reste également largement indéterminée.

La classification et la création d'une nomenclature des lésions cutanées macroscopiques aidera au suivi dans le temps des dermatopathies chez les bélugas par photographie. Les fréquences d'observation des CLC déterminées au cours de cette étude pourront servir de point de référence pour des comparaisons dans le cadre d'un suivi photographique sur le long terme des bélugas de l'ESL, ou entre populations de bélugas. Mais, pour le moment, la comparaison des fréquences de lésions entre populations de bélugas est limitée par le manque d'homogénéité dans la classification des anomalies cutanées et des méthodes d'évaluation de leur distribution, et par la difficulté à obtenir un échantillon représentatif de la population étudiée (134). Une classification basée sur l'aspect morphologique des lésions cutanées macroscopiques, et non pas sur leur cause possible, est proposée pour faciliter les comparaisons et éviter la surinterprétation à partir des photographies. Contrairement à l'étude menée par Krasnova *et al.* (134) en Russie, au cours de laquelle seule la lésion cutanée la plus proéminente sur le corps d'un béluga était prise en compte, dans l'étude présentée ici, toutes les catégories de lésions cutanées visibles sur un béluga étaient comptabilisées. Étant donné que chez les bélugas du Saint-Laurent, plus d'une catégorie de lésions cutanées étaient visibles lors de 74.7% des captures photographiques de bélugas blancs et de 81.1% des captures photographiques de bélugas gris, la fréquence de certaines catégories de lésions cutanées a vraisemblablement été sous-estimée dans la population de bélugas étudiée par Krasnova *et al.* (134). Enfin, l'évaluation photographique des lésions cutanées chez les bélugas de la Mer Blanche par Krasnova *et al.* (134) s'appuyait sur des photographies d'individus identifiés. Toute comparaison de la distribution des lésions cutanées chez les bélugas obtenue au cours de chacune des études devrait être faite avec précaution, en gardant à l'esprit ces différences méthodologiques majeures.

Par ailleurs, la classification et la création d'une nomenclature des CLC et des patrons histologiques aidera à l'évaluation et au suivi dans le temps des dermatopathies rencontrées chez les bélugas nécropsiés. Cela doit toutefois s'accompagner d'une standardisation du protocole de nécropsie pour l'examen des lésions cutanées. Il semble également pertinent de souligner la difficulté d'associer un agent étiologique aux patrons histologiques, à l'exception peut-être des cas de dermatite ulcérate à herpèsvirus.

Conclusion

Alors que de nombreuses études ont évalué les lésions cutanées chez les Cétacés à partir de données de photographies d'identification ou bien à partir d'individus échoués ou capturés accidentellement dans des filets de pêche, peu d'études ont associé des données d'anatomopathologie et des données de photo-identification à partir d'un nombre d'individus aussi important et sur une période de temps aussi longue. Cette étude a mis en avant la pertinence d'utiliser ce double jeu de données pour étudier les dermatopathies chez les Cétacés. Il a notamment été possible de mieux envisager les causes possibles des lésions cutanées chez les bélugas du Saint-Laurent et de souligner les limites de chaque approche. Ce travail a également fourni des données de référence pour suivre l'évolution de la condition des bélugas du Saint-Laurent à l'avenir. Il est toutefois juste de souligner les parts d'ombres qui persistent malgré l'abondance d'information obtenue. Les causes de certaines catégories de lésions cutanées demeurent inconnues et pour d'autres, seules des suppositions peuvent être émises. La signification pour la santé des bélugas, à l'échelle individuelle ou populationnelle, de la plupart des catégories de lésions cutanées reste indéterminée. Étant donné les difficultés rencontrées pour identifier les causes des lésions cutanées et la signification pour la santé de l'individu, même à partir des examens *post-mortem*, il convient d'être vigilant à l'heure de poser un diagnostic pour les lésions cutanées observées à partir de photographies, afin d'éviter la surinterprétation. Nos observations nous poussent également à suggérer que plusieurs CLC sont en fait le résultat de processus de mue physiologiques et ne devraient donc pas être considérées comme pathologiques.

Les comparaisons de la condition cutanée des bélugas entre différentes populations à travers le monde permettront vraisemblablement de mieux comprendre les lésions cutanées dans chacune de ces populations et les enjeux auxquels elles font face. Il serait notamment pertinent de comparer la condition cutanée des bélugas du Saint-Laurent avec celle des bélugas de l'Arctique, dont l'environnement, incluant la cohabitation avec les activités humaines et la pollution, est tout autre. Cependant, il est pour l'heure difficile de comparer la distribution des différentes catégories de lésions cutanées avec celles chez d'autres populations de bélugas. Peu d'informations ont été publiées à ce sujet jusqu'à présent. De plus, il n'existe pas de consensus sur la classification des différentes catégories de lésions cutanées et les méthodes d'étude employées sont hétérogènes. Une première étape préalable était donc l'uniformisation du

système de classification des lésions cutanées chez le beluga, accompagné d'une nomenclature commune, ce que nous proposons ici. De la même façon, il est délicat de comparer la distribution des lésions cutanées avec celles chez d'autres espèces d'Odontocètes.

Ce travail doit se poursuivre par l'évaluation de l'association entre des facteurs individuels (âge), environnementaux (secteurs géographiques, température de l'eau, exposition aux rayons UV) et temporeux (mois, année) et la présence des différentes catégories de lésions cutanées. Il serait pertinent d'étudier l'évolution des catégories de lésions cutanées à partir des séries de photographies successives des bélugas du Saint-Laurent clairement identifiés et régulièrement rencontrés. Il serait également intéressant de comparer la condition cutanée des bélugas avec celle d'autres espèces de Cétacés occupant les eaux du Saint-Laurent, à l'instar des rorquals communs et des baleines bleues pour lesquels des campagnes de photo-indentification sont également menées. Finalement, les recherches doivent être poursuivies pour mieux comprendre dans quelle mesure la condition cutanée d'un béluga reflète son état de santé.

Bibliographie

1. COSEPAC. Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur le béluga (*Delphinapterus leucas*), population de l'estuaire du Saint-Laurent, au Canada. Ottawa (ON): Comité sur la situation des espèces en péril au Canada; 2014.
2. Pêches et Océans Canada. Le béluga de l'estuaire du Saint-Laurent : un examen scientifique de l'efficacité des mesures de rétablissement pour trois populations de baleines en péril. Ottawa (ON): Pêches et Océans Canada; 2017.
3. Geraci JR, Lounsbury VJ. Marine mammals ashore: a field guide for strandings. Baltimore (MD): National Aquarium in Baltimore; 1993.
4. Martineau D, Lagacé A, Massé R, Morin M, Béland P. Transitional cell carcinoma of the urinary bladder in a beluga whale (*Delphinapterus leucas*). *Can Vet J.* 1985;26(10):297-302.
5. Martineau D, Lagacé A, Béland P, Desjardins C. Rupture of a dissecting aneurysm of the pulmonary trunk in a beluga whale (*Delphinapterus leucas*). *J Wildl Dis.* 1986;22(2):289-94.
6. Martineau D, Lagacé A, Béland P, Higgins R, Armstrong D, Shugart LR. Pathology of stranded beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary, Quebec, Canada. *J Comp Pathol.* 1988;98:287-311.
7. Martineau D, De Guise S, Fournier M, Shugart L, Girard C, Lagacé A, *et al.* Pathology and toxicology of beluga whales from the St. Lawrence Estuary, Quebec, Canada. Past, present and future. *Sci Total Environ.* 1994;154(2):201-15.
8. Martineau D, Lemberger K, Dallaire A, Labelle P, Lipscomb TP, Michel P, *et al.* Cancer in wildlife, a case study: beluga from the St. Lawrence Estuary, Quebec, Canada. *Environ Health Perspect.* 2002;110(3):285-92.
9. De Guise S, Lagacé A, Béland P. Gastric papillomas in eight St. Lawrence beluga whales (*Delphinapterus leucas*). *J Vet Diagn Invest.* 1994;6(3):385-8.
10. De Guise S, Lagacé A, Béland P. Tumors in St. Lawrence beluga whales (*Delphinapterus leucas*). *Vet Pathol.* 1994;31(4):444-9.
11. De Guise S, Lagacé A, Béland P, Girard C, Higgins R. Non-neoplastic lesions in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) and other marine mammals from the St Lawrence Estuary. *J Comp Pathol.* 1995;112(3):257-71.

12. Measures L, Béland P, Martineau D, De Guise S. Helminths of an endangered population of belugas, *Delphinapterus leucas*, in the St. Lawrence estuary, Canada. *Can J Zool.* 1995;73(8):1402-9.
13. Mikaelian I, Tremblay M-P, Montpetit C, Tessaro SV, Cho HJ, House C, et al. Seroprevalence of selected viral infections in a population of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in Canada. *Vet Rec.* 1999;144:50-1.
14. Lebeuf M, Measures L, Noël M, Raach M, Trottier S. A twenty-one-year temporal trend of persistent organic pollutants in St. Lawrence Estuary beluga, Canada. *Sci Total Environ.* 2014;485:377-86.
15. Scarratt M, Michaud S, Measures L, Starr M. Phytotoxin analyses in St. Lawrence Estuary beluga. Ottawa (ON): DFO Canada Science Advisory Secretariat; 2014. Research document 2013/124.
16. Bellehumeur C, Lair S, Romero CH, Provost C, Nielsen O, Gagnon CA. Identification of a novel herpesvirus associated with a penile proliferative lesion in a beluga (*Delphinapterus leucas*). *J Wildl Dis.* 2015;51(1):244-9.
17. Lair S, Measures L, Martineau D. Pathologic findings and trends in mortality in the beluga (*Delphinapterus leucas*) population of the St Lawrence Estuary, Quebec, Canada, from 1983 to 2012. *Vet Pathol.* 2016;53(1):22-36.
18. Starr M, Lair S, Michaud S, Scarratt M, Quilliam M, Lefaivre D, et al. Multispecies mass mortality of marine fauna linked to a toxic dinoflagellate bloom. *PLoS One.* 2017;12(5):e0176299.
19. Iqbal A, Lair S, Dixon B. *Toxoplasma gondii* infection in stranded St. Lawrence Estuary beluga *Delphinapterus leucas* in Quebec, Canada. *Dis Aquat Organ.* 2018;130(3):165-75.
20. Measures L. Compte rendu de l'atelier sur le béluga de l'estuaire du Saint-Laurent – Revue du programme des carcasses, Série des comptes rendus 2007/005. Atelier sur le béluga de l'estuaire du Saint-Laurent – Revue du programme des carcasses; 14-17 nov 2005; Mont-Joli (QC): Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO; 2007.
21. Lesage V, Measures L, Mosnier A, Lair S, Michaud R, Béland P. Mortality patterns in St. Lawrence Estuary beluga (*Delphinapterus leucas*), inferred from the carcass recovery data, 1983-2012. Ottawa (ON): DFO Canadian Science Advisory Secretariat; 2014. Research document 2013/118.

22. Nollens H, Venn-Watson S, Gill C, McBain J. Cetacean medicine. Dans: Gulland FMD, Dierauf LA, Whitman KL, rédacteurs. CRC handbook of marine mammal medicine. 3^e éd. Boca Raton (FL): CRC Press; 2001. p. 887-907.
23. Thompson PM, Hammond PS. The use of photography to monitor dermal disease in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). *Ambio*. 1992;21(2):135-7.
24. Harzen S, Brunnick BJ. Skin disorders in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), resident in the Sado estuary, Portugal. *Aquat Mamm*. 1997;23(1):59-68.
25. Wilson B, Thompson PM, Hammond PS. Skin lesions and physical deformities in bottlenose dolphins in the Moray Firth: population prevalence and age-sex differences. *Ambio*. 1997;26(4):243-7.
26. Wilson B, Arnold H, Bearzi G, Fortuna CM, Gaspar R, Ingram S, *et al.* Epidermal diseases in bottlenose dolphins: impacts of natural and anthropogenic factors. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*. 1999;266(1423):1077-83.
27. Wilson B, Grellier K, Hammond PS, Brown G, Thompson PM. Changing occurrence of epidermal lesions in wild bottlenose dolphins. *Mar Ecol Prog Ser*. 2000;205:283-90.
28. Michaud R. St. Lawrence Estuary beluga (*Delphinapterus leucas*) population parameters based on photo-identification surveys, 1989-2012. Ottawa (ON): DFO Canadian Science Advisory Secretariat; 2014. Research document 2013/130.
29. Mikaelian I, Lapointe J-M, Labelle P, Higgins R, Paradis M, Martineau D. *Dermatophilus*-like infection in beluga whales, *Delphinapterus leucas*, from the St. Lawrence Estuary. *Vet Dermatol*. 2001;12:59-62.
30. Sergeant DE, Brodie PF. Body size in white whales, *Delphinapterus leucas*. *J Fish Res Board Can*. 1969;26(10):2561-80.
31. Harington CR. Marine mammals in the Champlain Sea and the Great Lakes. *Ann N Y Acad Sci*. 1977;288(1):508-37.
32. O’Corry-Crowe GM. Beluga whale. Dans: Perrin WF, Würsig B, Thewissen JGM, rédacteurs. *Encyclopedia of marine mammals*. 2^e éd. San Diego (CA): Academic Press; 2009. p. 108-12.
33. Pêches et Océans Canada [En Ligne]. Ottawa (CA): Pêches et Océans Canada; 2018. [Image], Adapté de Michaud, R. 1993. Distribution estivale du béluga du St-Laurent : synthèse

1986-1992. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 1906. 28p. [cité le 2018-12-11]; [Environ 3 écrans]. Disponible: <http://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/profiles-profils/belugaStLa-fra.html>

34. COSEPAC. Unités désignables du béluga (*Delphinapterus leucas*) au Canada. Ottawa (ON): Comité sur la situation des espèces en péril au Canada; 2016.

35. Mosnier A, Doniol-Valcroze T, Gosselin J-F, Lesage V, Measures L, Hammill MO. Insights into processes of population decline using an integrated population model: the case of the St. Lawrence Estuary beluga (*Delphinapterus leucas*). *Ecol Modell.* 2015;314:15-31.

36. Plourde S, Galbraith P, Lesage V, Grégoire F, Bourdage H, Gosselin J-F, *et al.* Ecosystem perspective on changes and anomalies in the Gulf of St. Lawrence: a context in support of the management of the St. Lawrence beluga whale population. Ottawa (ON): DFO Canadian Science Advisory Secretariat; 2014. Research Document 2013/129.

37. Williams R, Lacy RC, Ashe E, Hall A, Lehoux C, Lesage V, *et al.* Predicting responses of St. Lawrence beluga to environmental change and anthropogenic threats to orient effective management actions. Ottawa (ON): DFO Canadian Science Advisory Secretariat; 2017. Research Document 2017/027.

38. Pêches et Océans Canada. Programme de rétablissement du béluga (*Delphinapterus leucas*), population de l'estuaire du Saint-Laurent au Canada, Série de Programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril. Ottawa (ON): Pêches et Océans Canada; 2012.

39. Gosselin J-F, Hammill MO, Mosnier A, Lesage V. Abundance index of St. Lawrence beluga, *Delphinapterus leucas*, from visual line transect surveys in August 2014. Ottawa (ON): DFO Canada Science Advisory Secretariat; 2017. Research document 2017/019.

40. Mosnier A, Doniol-Valcroze T, Gosselin J-F, Lesage V, Measures L, Hammill MO. An age structured Bayesian population model for St. Lawrence Estuary beluga (*Delphinapterus leucas*). Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO; 2014. Document de recherche 2013/127.

41. Mosnier A, Lesage V, Gosselin J-F, Lemieux Lefebvre S, Hammill MO, Doniol-Valcroze T. Information pertinente à la documentation de l'utilisation de l'habitat par le béluga du St-Laurent (*Delphinapterus leucas*) et à la quantification de la qualité de l'habitat. Ottawa (ON): Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO; 2010. Document de recherche 2009/098.

42. Lebeuf M, Gouteux B, Measures L, Trottier S. Levels and temporal trends (1988–1999) of polybrominated diphenyl ethers in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary, Canada. *Environ Sci Technol*. 2004;38(11):2971-7.
43. Lebeuf M, Noël M, Trottier S, Measures L. Temporal trends (1987–2002) of persistent, bioaccumulative and toxic (PBT) chemicals in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary, Canada. *Sci Total Environ*. 2007;383(1):216-31.
44. Simond AE, Houde M, Lesage V, Verreault J. Temporal trends of PBDEs and emerging flame retardants in belugas from the St. Lawrence Estuary (Canada) and comparisons with minke whales and Canadian Arctic belugas. *Environ Res*. 2017;156:494-504.
45. Lesage V, McQuinn IH, Carrier D, Gosselin J-F, Mosnier A. Exposure of the beluga (*Delphinapterus leucas*) to marine traffic under various scenarios of transit route diversion in the St. Lawrence Estuary. Ottawa (ON): DFO Canadian Science Advisory Secretariat; 2014. Research Document 2013/125.
46. Gervaise C, Simard Y, Roy N, Kinda B, Ménard N. Shipping noise in whale habitat: characteristics, sources, budget, and impact on belugas in Saguenay–St. Lawrence Marine Park hub. *J Acoust Soc Am*. 2012;132(1):76-89.
47. Béland P, Michaud R, Martineau D. Recensements de la population de bélugas, *Delphinapterus leucas*, du Saint-Laurent par embarcation en 1985. Rimouski (QC): Ministère des Pêches et Océans; 1986. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 1545.
48. Michaud R, Vézina A, Rondeau N, Vigneault Y. Distribution annuelle et caractérisation préliminaire des habitats du béluga (*Delphinapterus leucas*) du Saint-Laurent. Cap Diamant (QC): Ministère des Pêches et des Océans; 1990. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 1756.
49. Bonin W, Vladykov VD. Étude sur les mammifères marins - I. La peau du marsouin blanc (*Delphinapterus leucas*). *Le Naturaliste Canadien*. 1940;67(10-11):253-87.
50. Bel'kovich VM. Some properties of the skin structure of *Delphinapterus leucas* (*Nekotorye osobennosti stroenia kozhi belukhi*). *Trudy I Konf Molodykh Nauchn Sotr INZH AN SSSR*: M. 1959.

51. Bel'kovich VM. On the mechanism of coloration change in *Delphinapterus leucas* (*O mekhanizme smeny okraski u belukhi*). Dokl AN SSSR. 1959;127(4).
52. Bel'kovich VM. Some ecomorphological properties of the skin of *Delphinapterus leucas* (*Nekotorye ekologo-morfologicheskie osobennosti kozhi belukhi*). Tez Dokl III Nauchn Molodezhn Konf IMZH AN SSSR: M. 1959.
53. Bel'kovich VM. Some properties of the blood supply and heat emission of *Delphinapterus leucas* (*Nekotorye osobennosti krovosnabzheniya i teplootdachi kozhi belukhi*). Tez Dokl III Nauchn Molodezhn Konf IMZH AN SSSR: M. 1960.
54. Bel'kovich VM. On physical thermoregulation in *Delphinapterus leucas* (*O fizicheskoi termoregulyatsii belukhi*) Trudy Soveshaniya Ikhtiol Komissii AN SSSR. 1961;12.
55. Bel'kovich VM. Skin and physical thermoregulation (*Kozhny pokrov i fizicheskaya termoregulyatsia*). Dans: Kleinenberg SE, Yablokov AV, Balkovy VM, Tarasevy MN, rédacteurs. Belukha: Nauka. Moscou (RU): Izdatelstvo "Nauka"; 1964.
56. Bel'kovich VM. The integument and thermoregulation. Dans: Yablokov AV, Bel'kovich VM, Borisov VI, rédacteurs. Whales and dolphins, Part I and II [Translation of *Kity i Del'finy* 1972 Izd-vo Nauka, Moscow]. Arlington (VA) : Joint Publications Research Service; 1974. p. 24-38.
57. Sokolov VE. Mammal skin. Berkeley (CA): University of California Press; 1982.
58. Grills JJ, Skoch EJ, Hoste R. Comparative histological investigations of the epidermis of five species of Cetaceans. Communication au: 15th Annual Conference of the International Association for Aquatic Animal Medicine; 30 Avr - 2 mai 1984; Tampa, FL.
59. Shoemaker P, Ridgway S. Cutaneous ridges in Odontocetes. Mar Mamm Sci. 1991;7(1):66-74.
60. Sokolov VE, Kalashnikova MM, Rodionov VA. Micro- and ultrastructure of the skin in the harbor porpoise (*Phocoena phocoena relicta abel.*) Dans: Chapskii KK, Sokolov VE, rédacteurs. Morphology and ecology of marine mammals (*Morfologiya i ekologiya morskikh mlekopita yushchikh and Prispoblanie tyuenei k obitaniyu v Arktike*). New York: John Wiley; 1973. p. 82-101.
61. Sokolov W. Some similarities and dissimilarities in the structure of the skin among the members of the suborders Odontoceti and Mysticoceti (Cetacea). Nature. 1960;185:745-7.

62. Sokolov VE. Structure of the skin cover in some Cetacea. Dans: Chapskii KK, Sokolov VE, rédacteurs. Morphology and ecology of marine mammals (*Morfologiya i ekologiya morskikh mlekopita yushchikh* and *Prisposoblanie tyuenei k obitaniyu v Arktike*). New York: John Wiley; 1973. p. 102-18.
63. Palmer E, Weddell G. The relationship between structure, innervation and function of the skin of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). J Zool. 1964;143(4):553-68.
64. Jamison D, Thurley K, Harrison R. Ultrastructure of the skin and encapsulated nerve endings of the delphinid snout. J Anat. 1972;111(Pt 3):513.
65. Simpson JG, Gardner MB. Comparative microscopic anatomy of selected marine mammals. Dans: Ridway S, rédacteur. Mammals of the sea: biology and medicine. Springfield (IL): Charles C. Thomas; 1972. p. 298-418.
66. Spearman RI. The epidermal *stratum corneum* of the whale. J Anat. 1972;113(Pt 3):373-81.
67. Greenwood AG, Harrison RJ, Whitting HW. Functionnal and pathological aspects of the skin of marine mammals. Dans: Harrison R, rédacteur. Functional anatomy of marine mammals. Londres (UK) and New York: Academic Press; 1974. p. 73-110.
68. Ling JK. The integument of marine mammals. Dans: Harrison R, rédacteur. Functional anatomy of marine mammals. Londres (UK) and New York: Academic Press; 1974. p. 1-44.
69. Harrison R, Thurley K. Structure of the epidermis in *Tursiops*, *Delphinus*, *Orcinus* and *Phocoena*. Dans: Harrison R, rédacteur. Functional anatomy of marine mammals. Londres (UK) and New York: Academic Press; 1974. p. 45-71.
70. Geraci JR, St. Aubin DJ, Hicks BD. The epidermis of Odontocetes: a view from within. Dans: Bryden MM, Harrison RJ, rédacteurs. Research on dolphins. Oxford (UK): Clarendon Press; 1986. p. 3-21.
71. Stromberg MW. Dermal-epidermal relationships in the skin of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). Anat Histol Embryol. 1989;18(1):1-13.
72. Behrmann G, rédacteur. The peripheral nerve endings in the skin of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* (Linné, 1758). Dans: Symoens JJ, rédacteur. Proceedings of the symposium "Whales: biology - threats - conservation"; 5-7 June 1991; Brussels (BE). Brussels (BE): Royal Academy of Overseas Sciences; 1992. p. 149-156.

73. Behrmann G. Calcareous concretions in the skin of toothed whales (Odontoceti). Arch Fish Mar Res. 1996;43(2):183-93.
74. Behrmann G. The origin of the skin colour of toothed whales (Odontoceti). Übersee-Museum Bremen Jahrbuch. 1998;7:131-41.
75. Ridgway SH, Carder DA. Features of dolphin skin with potential hydrodynamic importance. IEEE Eng Med Biol Mag. 1993;12(3):83-8.
76. Zabka TS, Romano TA. Distribution of MHC II (+) cells in skin of the Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*): an initial investigation of dolphin dendritic cells. Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol. 2003;273A(1):636-47.
77. Reidenberg JS, Laitman JT. Cetacean prenatal development. Dans: Perrin WF, Würsig B, Thewissen JGM, rédacteurs. Encyclopedia of marine mammals. 2^e éd. San Diego (CA): Academic Press; 2009. p. 220-30.
78. Cozzi B, Huggenberger S, Oelschläger H. Chapter 2 - General appearance and hydrodynamics (including skin anatomy). Dans: Cozzi B, Huggenberger S, Oelschläger H, rédacteurs. Anatomy of dolphins: insight into body structure and function. San Diego (CA): Academic Press; 2017. p. 21-31.
79. Lauriano ER, Silvestri G, Kuciel M, Żuwała K, Zaccone D, Palombieri D, *et al.* Immunohistochemical localization of Toll-like receptor 2 in skin Langerhans' cells of striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*). Tissue Cell. 2014;46(2):113-21.
80. Jones FM, Pfeiffer CJ. Morphometric comparison of the epidermis in several cetacean species. Aquat Mamm. 1994;20:29-34.
81. Pfeiffer CJ, Jones FM. Epidermal lipid in several cetacean species: ultrastructural observations. Anat Embryol (Berl). 1993;188(3):209-18.
82. Baum C, Stelzer R, Meyer W, Fleischer L-G, Siebers D. A cryo-scanning electron microscopic study of the skin surface of the pilot whale *Globicephala melas*. Aquat Mamm. 2000;26(1):7-16.
83. Baum C, Simon F, Meyer W, Fleischer L-G, Siebers D, Kacza J, *et al.* Surface properties of the skin of the pilot whale *Globicephala melas*. Biofouling. 2003;19(sup1):181-6.
84. Harrison RJ, Thurley K. Fine structural features of delphinid epidermis. J Anat. 1972;111(3):498-500.

85. Geraci JR, Hicks BD, St. Aubin DJ. Dolphin pox: a skin disease of Cetaceans. *Can J Comp Med.* 1979;43:399-404.
86. Martinez-Levasseur LM, Gendron D, Knell RJ, O'Toole EA, Singh M, Acevedo-Whitehouse K. Acute sun damage and photoprotective responses in whales. *Proc R Soc Lond B Biol Sci.* 2011;278(1711):1581-6.
87. Martinez-Levasseur LM, Birch-Machin MA, Bowman A, Gendron D, Weatherhead E, Knell RJ, *et al.* Whales use distinct strategies to counteract solar ultraviolet radiation. *Sci Rep.* 2013;3:2386.
88. Giacometti L. The skin of the whale (*Balaenoptera physalus*). *Anat Rec.* 1967;159(1):69-75.
89. Bel'kovich V. The eye and other sense organs. Dans: Yablokov AV, Bel'kovich VM, Borisov VI, rédacteurs. Whales and dolphins, Part I and II [Translation of *Kity i Del'finy* 1972 Izd-vo Nauka, Moscow]. Arlington (VA): Joint Publications Research Service; 1974. p. 291-317.
90. Mauldin EA, Peters-Kennedy J. Chapter 6 - Integumentary System. Dans: Maxie MG, rédacteur. Jubb, Kennedy & Palmer's pathology of domestic animals. 1. 6^e éd. Saunders Ltd.; 2016. p. 509-736.
91. Thewissen JGM, Cooper LN, George JC, Bajpai S. From land to water: the origin of whales, dolphins, and porpoises. *Evolution (N Y).* 2009;2(2):272-88.
92. Doidge D. Integumentary heat loss and blubber distribution in the beluga, *Delphinapterus leucas*, with comparisons to the narwhal, *Monodon monoceros*. Dans: Smith TG, St. Aubin DJ, Geraci JR, rédacteurs. Advances in research on the beluga whale, *Delphinapterus leucas*. *Can Bull Fish Aquat Sci.* 1990;224:129-40.
93. Brown WR, Geraci JR, Hicks BD, Aubin DJS, Schroeder JP. Epidermal cell proliferation in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Can J Zool.* 1983;61(7):1587-90.
94. St. Aubin DJ, Smith TG, Geraci JR. Seasonal epidermal molt in beluga whales, *Delphinapterus leucas*. *Can J Zool.* 1990;68(2):359-67.
95. Hicks BD, St. Aubin DJ, Geraci JR, Brown WR. Epidermal growth in the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*. *J Invest Dermatol.* 1985;85(1):60-3.

96. Kleinenberg SE. Beluga (*Delphinapterus leucas*); investigation of the species (*Belukha; opyt monograficheskogo issledovaniya vida*). Jerusalem (IL): Israel Program for Scientific Translations; 1969.
97. Finley K. The estuarine habitat of the beluga or white whale, *Delphinapterus leucas*. *Cetus*. 1982;4(2):4-5.
98. Smith TG, St. Aubin DJ, Hammill MO. Rubbing behaviour of belugas, *Delphinapterus leucas*, in a high Arctic estuary. *Can J Zool*. 1992;70(12):2405-9.
99. Gaydos JK, St. Leger J, Raverty S, Nollens H, Haulena M, Emmons C, *et al*. Epidemiology of skin disease in Southern resident killer whales. Communication au: 48th Annual Conference of the International Association for Aquatic Animal Medicine; 20-24 mai 2017; Cancun, MX.
100. St. Aubin DJ. Investigation of skin lesions of free-ranging beluga whales in eastern Hudson Bay. World Wildlife Fund Canada; 2001.
101. Fish FE. The myth and reality of Gray's paradox: implication of dolphin drag reduction for technology. *Bioinspir biomim*. 2006;1:R17-R25.
102. Bushnell DM, Moore K. Drag reduction in nature. *Annu Rev Fluid Mech*. 1991;23(1):65-79.
103. Baum C, Meyer W, Roessner D, Siebers D, Fleischer L-G. A zymogel enhances the self-cleaning abilities of the skin of the pilot whale (*Globicephala melas*). *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2001;130(4):835-47.
104. Meyer W, Seegers U. A preliminary approach to epidermal antimicrobial defense in the Delphinidae. *Mar Biol*. 2004;144(5):841-4.
105. Apprill A, Robbins J, Eren AM, Pack AA, Reveillaud J, Mattila D, *et al*. Humpback whale populations share a core skin bacterial community: towards a health index for marine mammals? *PLoS One*. 2014;9(3):e90785.
106. Bik EM, Costello EK, Switzer AD, Callahan BJ, Holmes SP, Wells RS, *et al*. Marine mammals harbor unique microbiotas shaped by and yet distinct from the sea. *Nat Commun*. 2016;7:10516.

107. Chiarello M, Villéger S, Bouvier C, Auguet JC, Bouvier T. Captive bottlenose dolphins and killer whales harbor a species-specific skin microbiota that varies among individuals. *Sci Rep.* 2017;7(1):15269.
108. Hooper R, Brealey JC, Van Der Valk T, Alberdi A, Durban JW, Fearnbach H, *et al.* Host-derived population genomics data provides insights into bacterial and diatom composition of the killer whale skin. *Mol Ecol.* 2018:1-19.
109. Mathieu A, Delmont TO, Vogel TM, Robe P, Nalin R, Simonet P. Life on human surfaces: skin metagenomics. *PLoS One.* 2013;8(6):e65288.
110. McKenzie RL, Aucamp PJ, Bais AF, Björn LO, Ilyas M. Changes in biologically-active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Photochem Photobiol Sci.* 2007;6(3):218-31.
111. Gallagher RP, Lee TK. Adverse effects of ultraviolet radiation: a brief review. *Prog Biophys Mol Biol.* 2006;92(1):119-31.
112. Morales-Guerrero B, Barragán-Vargas C, Silva-Rosales GR, Ortega-Ortiz CD, Gendron D, Martinez-Levasseur LM, *et al.* Melanin granules melanophages and a fully-melanized epidermis are common traits of odontocete and mysticete cetaceans. *Vet Dermatol.* 2017;28(2):213-e50.
113. Bowman A, Martinez-Levasseur LM, Acevedo-Whitehouse K, Gendron D, Birch-Machin MA. The simultaneous detection of mitochondrial DNA damage from sun-exposed skin of three whale species and its association with UV-induced microscopic lesions and apoptosis. *Mitochondrion.* 2013;13(4):342-9.
114. Yamaguchi Y, Beer JZ, Hearing VJ. Melanin mediated apoptosis of epidermal cells damaged by ultraviolet radiation: factors influencing the incidence of skin cancer. *Arch Dermatol Res.* 2008;300(1):43-50.
115. Hashimoto O, Ohtsuki H, Kakizaki T, Amou K, Sato R, Doi S, *et al.* Brown adipose tissue in cetacean blubber. *PLoS One.* 2015;10(2):e0116734.
116. Kershaw JL, Botting CH, Brownlow A, Hall AJ. Not just fat: investigating the proteome of cetacean blubber tissue. *Conservation physiology.* 2018;6(1):coy003.
117. Lockyer C. Body fat condition in northeast atlantic fin whales, *Balaenoptera physalus*, and its relationship with reproduction and food resource. *Can J Fish Aquat Sci.* 1986;43(1):142-7.

118. Miller CA, Reeb D, Best PB, Knowlton AR, Brown MW, Moore MJ. Blubber thickness in right whales *Eubalaena glacialis* and *Eubalaena australis* related with reproduction, life history status and prey abundance. *Mar Ecol Prog Ser.* 2011;438:267-83.
119. Koopman HN, Pabst DA, McLellan WA, Dillaman RM, Read AJ. Changes in blubber distribution and morphology associated with starvation in the harbor porpoise (*Phocoena phocoena*): evidence for regional differences in blubber structure and function. *Physiol Biochem Zool.* 2002;75(5):498-512.
120. Koopman HN. Topographical distribution of the blubber of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*). *J Mammal.* 1998;79(1):260-70.
121. Gómez-Campos E, Borrell A, Correas J, Aguilar A. Topographical variation in lipid content and morphological structure of the blubber in the striped dolphin. *Sci Mar.* 2015;79(2):9.
122. Bruce-Allen LJ, Geraci JR. Wound healing in the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Can J Fish Aquat Sci.* 1985;42(2):216-28.
123. Geraci JR, Bruce-Allen LJ. Slow process of wound repair in beluga whales, *Delphinapterus leucas*. *Can J Fish Aquat Sci.* 1987;44(9):1661-5.
124. Scott EM, Mann J, Watson-Capps JJ, Sargeant BL, Connor RC. Aggression in bottlenose dolphins: evidence for sexual coercion, male-male competition, and female tolerance through analysis of tooth-rake marks and behaviour. *Behaviour.* 2005;142(1):21-44.
125. Geraci J, Smith G. Cutaneous response to implants, tags, and marks in beluga whales, *Delphinapterus leucas*, and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Can Bull Fish Aquat Sci.* 1990;8:1-95.
126. Zasloff M. Observations on the remarkable (and mysterious) wound-healing process of the bottlenose dolphin. *J Invest Dermatol.* 2011;131(12):2503-5.
127. Corkeron P, Morris R, Bryden M. A note on healing of large wounds in bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Aquat Mam.* 1987;13(3):96-8.
128. Lockyer C, Morris R. Some observations on wound healing and persistence of scars in *Tursiops truncatus*. Dans: Hammond PS, Mizroch SA, Donovan GP, rédacteurs. Reports of the International Whaling Commission, special issue 12: incorporating the proceedings of the symposium and workshop on individual recognition and the estimation of cetacean population

parameters; 1-4 mai 1988; La Jolla, CA. Cambridge, UK: The International Whaling Commission; 1990. p.113-8.

129. Becker SW. Melanin pigmentation through the ages. *J Invest Dermatol.* 1946;7(6):381-99.
130. Baker J. Skin disease in wild cetaceans from British waters. *Aquat Mam.* 1992;18(1):27-32.
131. Auger-Méthé M, Marcoux M, Whitehead H. Nicks and notches of the dorsal ridge: promising mark types for the photo-identification of narwhals. *Mar Mamm Sci.* 2010;26(3):663-78.
132. Bertulli C, Cecchetti A, Van Bresselem M-F, Van Waerebeek K. Skin disorders in common minke whales and white-beaked dolphins off Iceland, a photographic assessment. *J Mar Anim Ecol.* 2012;5(2):29-40.
133. Burek-Huntington KA, Dushane JL, Goertz CE, Romero CH, Raverty SA. Morbidity and mortality in stranded Cook Inlet beluga whales *Delphinapterus leucas*. *Dis Aquat Organ.* 2015;114(1):45-60.
134. Krasnova VV, Chernetsky AD, Russkova OV. Skin defects in the beluga whale *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776) from the Solovetsky gathering, as revealed by photo-identification analysis. *Russ J Mar Biol.* 2015;41(5):372-83.
135. Albert TF, Migaki G, Casey HW, Philo LM. Healed penetrating injury of a bowhead whale. *Mar Fish Rev.* 1980;42(9-10):92-6.
136. Orams M, Deakin R. Report on the healing of a large wound in a bottlenose dolphin *Tursiops truncatus*. *Marine mammal research in the southern hemisphere.* 1997;1:170-3.
137. Bowenkamp KE, Frasca Jr S, Draghi A, Tsongalis GJ, Koerting C, Hinckley L, *et al.* *Mycobacterium marinum* dermatitis and panniculitis with chronic pleuritis in a captive white whale (*Delphinapterus leucas*) with aortic rupture. *J Vet Diagn Invest.* 2001;13(6):524-30.
138. Naples LM, Poll CP, Berzins IK. Successful treatment of a severe case of fusariomycosis in a beluga whale (*Delphinapterus leucas*). *J Zoo Wildl Med.* 2012;43(3):596-602.
139. LGL Alaska Research Associates, Inc. Photo-identification of beluga whales in Upper Cook Inlet, Alaska: mark analysis, mark-resight estimates, and color analysis from photographs

taken in 2008. Anchorage (AK); 2009. Commandité par National Fish and Wildlife Foundation, Chevron et ConocoPhillips Alaska, Inc.

140. Krasnova VV, Chernetsky AD, Russkova OV, Bel'kovich VM. Assessment of health of belugas (*Delphinapterus leucas*) in Solovetsky reproductive gathering in the White Sea basing on results of photo identification in 2010–2011. Dans: VII International Conference “Marine Mammals of the Holarctic”, Collection of scientific papers; 24-28 sept 2012; Suzdal, Russia. Moscow (RU): Marine Mammals Council; 2012. p.333-7.

141. Russkova OV, Shpak OV, Krasnova VV, Kuznetsov GV, Tarasevy MN, Glazov DM, *et al.* Type of skin lesions of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in Russian waters based on photoID data. Dans: VII International Conference “Marine Mammals of the Holarctic”, Collection of scientific papers; 24-28 sept 2012; Suzdal, Russia. Moscow (RU): Marine Mammals Council; 2012. p.195-8.

142. Alzieu C, Duguay R, Babin P. Pathologie des Delphinidés : contamination foetale et néo-natale par les PCB. Lésions cutanées ulcératives. Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes. 1982;46(2):157-66.

143. Read AJ, Murray KT. Gross evidence of human-induced mortality in small cetaceans. Washington (DC): US Department of Commerce; 2000. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-15.

144. Norman SA, Flynn KR, Zerbini AN, Gulland FM, Moore MJ, Raverty S, *et al.* Assessment of wound healing of tagged gray (*Eschrichtius robustus*) and blue (*Balaenoptera musculus*) whales in the eastern North Pacific using long-term series of photographs. Mar Mamm Sci. 2018;34(1):27-53.

145. Migaki G. 21 Selected dermatoses of marine mammals. Clin Dermatol. 1987;5(3):155-64.

146. Wells RS, Allen JB, Hofmann S, Bassos-Hull K, Fauquier DA, Barros NB, *et al.* Consequences of injuries on survival and reproduction of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) along the west coast of Florida. Mar Mamm Sci. 2008;24(4):774-94.

147. Bogomolni AL, Pugliares KR, Sharp SM, Patchett K, Harry CT, LaRocque JM, *et al.* Mortality trends of stranded marine mammals on Cape Cod and southeastern Massachusetts, USA, 2000 to 2006. Dis Aquat Organ. 2010;88(2):143-55.

148. Lane EP, de Wet M, Thompson P, Siebert U, Wohlsein P, Plön S. A systematic health assessment of Indian Ocean bottlenose (*Tursiops aduncus*) and Indo-Pacific humpback (*Sousa plumbea*) dolphins incidentally caught in shark nets off the KwaZulu-Natal Coast, South Africa. PLoS One. 2014;9(9):e107038.
149. Luksenburg JA. Prevalence of external injuries in small cetaceans in Aruban waters, southern caribbean. PLoS One. 2014;9(2):e88988.
150. Kirkwood JK, Bennett PM, Jepson PD, Kuiken T, Simpson VR, Baker JR. Entanglement in fishing gear and other causes of death in cetaceans stranded on the coasts of England and Wales. Vet Rec. 1997;141:94-8.
151. Bloom P, Jager M. The injury and subsequent healing of a serious propeller strike to a wild bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) resident in cold waters off the Northumberland coast of England. Aquat Mamm. 1994;20:59-64.
152. Wells RS, Scott MD. Seasonal incidence of boat strikes on bottlenose dolphins near Sarasota, Florida. Mar Mamm Sci. 1997;13(3):475-80.
153. Visser IN. Propeller scars on and known home range of two orcas (*Orcinus orca*) in New Zealand waters. N Z J Mar Freshwater Res. 1999;33(4):635-42.
154. Byard RW, Winskog C, Machado A, Boardman W. The assessment of lethal propeller strike injuries in sea mammals. J Forensic Leg Med. 2012;19(3):158-61.
155. Arbelo M, Espinosa de los Monteros A, Herráez P, Andrada M, Sierra E, Rodríguez F, *et al.* Pathology and causes of death of stranded cetaceans in the Canary Islands (1999–2005). Dis Aquat Organ. 2013;103(2):87-99.
156. Van Waerebeek K, Baker AN, Félix F, Gedamke J, Iñiguez M, Sanino GP, *et al.* Vessel collisions with small cetaceans worldwide and with large whales in the Southern Hemisphere, an initial assessment. Lat Am J Aquat Mamm. 2007;6(1):43-69.
157. Campbell-Malone R, Barco SG, Daoust P-Y, Knowlton AR, McLellan WA, Rotstein DS, *et al.* Gross and histologic evidence of sharp and blunt trauma in North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) killed by vessels. J Zoo Wildl Med. 2008;39(1):37-55.
158. Kügler A, Orbach DN. Sources of notch and scar patterns on the dorsal fins of dusky dolphins (*Lagenorhynchus obscurus*). Aquat Mamm. 2014;40(3):260-73.

159. Orbach DN, Packard JM, Piwetz S, Würsig B. Sex-specific variation in conspecific-acquired marking prevalence among dusky dolphins (*Lagenorhynchus obscurus*). *Can J Zool.* 2015;93(5):383-90.
160. Barnett J, Davison N, Deaville R, Monies R, Loveridge J, Tregenza N, *et al.* Postmortem evidence of interactions of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) with other dolphin species in south-west England. *Vet Rec.* 2009;165(15):441-4.
161. Weller DW. Predation on Marine Mammals. Dans: Würsig B, Thewissen JGM, Kovacs KM, rédacteurs. *Encyclopedia of Marine Mammals*. 3^e éd. San Diego (CA): Academic Press; 2018. p. 772-80.
162. Corkeron P, Morris R, Bryden M. Interactions between bottlenose dolphins and sharks in Moreton Bay, Queensland. *Aquatic Mammals.* 1987;13(3):109-13.
163. Heithaus MR. Shark attacks on bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) in Shark Bay, Western Australia: attack rate, bite scar frequencies, and attack seasonality. *Mar Mamm Sci.* 2001;17(3):526-39.
164. Burns JJ, Seaman GA. Investigations of belukha whales in coastal waters of western and northern Alaska - II. Biology and ecology. Fairbanks (AK): Alaska Department of Fish and Game; 1985. Contract No.: NA 81 RAC 00049. Commandité par NOAA.
165. Lesage V, Gosselin J-F, Hammill MO, Kingsley MCS, Lawson J. Ecologically and biologically significant areas (EBSAs) in the Estuary and Gulf of St. Lawrence – A marine mammal perspective. Ottawa (ON): DFO Canadian Science Advisory Secretariat; 2007. Document de recherche 2007/046.
166. Lawson JW, Stevens TS. Historic and current distribution patterns, and minimum abundance of killer whales (*Orcinus orca*) in the north-west Atlantic. *J Mar Biol Assoc UK.* 2014;94(6):1253-65.
167. Baleinesendirect.org [En ligne]. 2015. Épaulard [modifié en avr 2015; cité le 2018-12-12]; [environ 5 écrans]. Disponible: <https://baleinesendirect.org/les-baleines-du-saint-laurent/les-13-especes-du-saint-laurent/epaulard/>
168. Britt JO, Howard EB. Anatomic variants of marine mammals. Dans: Howard EB, rédacteur. *Pathobiology of marine mammals diseases*. Boca Raton (FL): CRC Press; 1983. p. 7-46.

169. McGuire T, Stephens A. Summary Report: status of previously satellite-tagged Cook Inlet beluga whales. 2016. Anchorage (AK): LGL Alaska Research Associates, Inc.; 2016. Commandité par National Marine Fisheries Services et Alaska region.
170. Moeller Jr RB. Pathology of marine mammals with special reference to infectious diseases. Dans: Vos JG, Bossart GD, Michael F, O'Shea TJ, rédacteurs. Toxicology of marine mammals. Londres (UK): CRC Press; 2003. p. 3-37.
171. Sweeney J, Ridgway S. Common diseases of small cetaceans. J Am Vet Med Assoc. 1975;167(7):533-40.
172. Seibold H, Neal J. *Erysipelothrix* septicemia in the porpoise. J Am Vet Med Assoc. 1956;128:537-9.
173. Simpson C, Wood F, Young F. Cutaneous lesions on a porpoise with erysipelas. J Am Vet Med Assoc. 1958;133(11 Part 1):558-60.
174. Nakajima M, Takikawa I. Swine erysipelas in the dolphin. Japanese Assoc of Zoological Gardens and Aquariums Journal (Dōbutsuen suizokukan zasshi). 1961;3:69-73.
175. Geraci J, Sauer R, Medway W. Erysipelas in dolphins. Am J Vet Res. 1966;27(117):597-606.
176. Provost A. Infection of whales by the swine erysipelas bacillus. La Nouvelle Presse Médicale. 1976;5:276-7.
177. Thurman G, Downes S, Fothergill M, Goodwin N, Hegarty M. Diagnosis and successful treatment of subacute erysipelas in a captive dolphin. J S Afr Vet Assoc. 1983;54(3):193-200.
178. Buck JD, Spotte S. Microbiology of captive white-beaked dolphins (*Lagenorhynchus albirostris*) with comments on epizootics. Zoo Biol. 1986;5(4):321-9.
179. Bossart GD, Eimstad EA. *Erysipelothrix* vesicular glossitis in a killer whale (*Orcinus orca*). J Zoo Wildl Med. 1988;19(1-2):42-7.
180. Kinsel MJ, Boehm JR, Harris B, Murnane RD. Fatal *Erysipelothrix rhusiopathiae* septicemia in a captive Pacific white-sided dolphin (*Lagenorhynchus obliquidens*). J Zoo Wildl Med. 1997;28(4):494-7.
181. Dunn JL, Buck JD, Robeck TR. Bacterial diseases of cetaceans and pinnipeds Dans: Dierauf LA, Gulland FMD, rédacteurs. CRC handbook of marine mammal medicine. 2^e éd. Boca Raton (FL): CRC Press; 2001. p. 309-35.

182. Van Bonn WG, Poll CP, Boehm JR, Davis MR, Carmack T. Successful treatment of erysipelas septicemia in a Pacific white-sided dolphin *Lagenorhynchus obliquidens*: a case for the aquatic animal hygiene hypothesis? Communication au: 38th Annual Conference of the International Association for Aquatic Animal Medicine; 5-9 mai 2007; Orlando, FL.
183. Calle PP, Kenny DE, Cook RA. Successful treatment of suspected erysipelas septicemia in a beluga whale (*Delphinapterus leucas*). *Zoo Biol.* 1993;12(5):483-90.
184. Medway W. Some bacterial and mycotic diseases of marine mammals. *J Am Vet Med Assoc.* 1980;177(9):831-4.
185. Chastel C, Masure O, Balouet G, Laban P, Lucas A. The student, the cetacean and swine-fever: a minor epidemic after dissection of a globicephale. *La Nouvelle Presse Médicale.* 1975;4(24):1803.
186. Young SJF, Huff DG, Ford JKB, Anthony JMG, Ellis G, Lewis RL. First case report - mortality of wild resident killer whale (*Orcinus orca*) from *Erysipelothrix rhusopathiae*. Communication au: 28th Annual Conference of the International Association for Aquatic Animal Medicine; 3-7 mai 1997; Harderwijk, NL. (
187. Wünschmann A, Siebert U, Frese K, Weiss R, Lockyer C, Heide-Jørgensen M, *et al.* Evidence of infectious diseases in harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) hunted in the waters of Greenland and by-caught in the German North Sea and Baltic Sea. *Vet Rec.* 2001;148:715-20.
188. Boseret G, Jauniaux T, Mainil J. *Erysipelothrix rhusiopathiae* infection in stranded harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) and harbour seal (*Phoca vitulina*). Communication au: 4th scientific meeting of the European Association of Zoo and Wildlife Veterinarians and 5th meeting of the European Wildlife Disease Association; 8-12 mai 2002; Heidelberg, DE.
189. Melero M, Rubio-Guerri C, Crespo JL, Arbelo M, Vela AI, García-Párraga D, *et al.* First case of erysipelas in a free-ranging bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) stranded in the Mediterranean Sea. *Dis Aquat Organ.* 2011;97(2):167-70.
190. Díaz-Delgado J, Arbelo M, Sierra E, Vela A, Domínguez M, Paz Y, *et al.* Fatal *Erysipelothrix rhusiopathiae* septicemia in two Atlantic dolphins (*Stenella frontalis* and *Tursiops truncatus*). *Dis Aquat Organ.* 2015a;116(1):75-81.

191. Case records of the Massachusetts General Hospital. Case 16-1978: *Erysipelothrix rhusiopathiae* septicemia (erysipeloid). N Engl J Med. 1978;298:957-62.
192. Suer LD, Vedros NA. *Erysipelothrix rhusiopathiae*. I. Isolation and characterization from pinnipeds and bite/abrasion wounds in humans. Dis Aquat Organ. 1988;5:1-5.
193. Van Bresse M-F, Van Waerebeek K, Flach L, Reyes JC, de Oliveira Santos MC, Siciliano S, *et al.* Skin diseases in cetaceans. Scientific Committee document SC/60/DW8. Santiago (CL): International Whaling Commission; June 2008.
194. Wünschmann A, Armien A, Harris NB, Brown-Elliott BA, Wallace RJ, Rasmussen J, *et al.* Disseminated panniculitis in a bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) due to *Mycobacterium chelonae* infection. J Zoo Wildl Med. 2008;39(3):412-20.
195. Marcondes M, Van Bresse M-F. Report of the workshop on cetacean skin diseases. J Cetacean Res Manag. 2009;11:503-14.
196. Petrini B. *Mycobacterium marinum*: ubiquitous agent of waterborne granulomatous skin infections. Eur J Clin Microbiol Infect Dis. 2006;25(10):609-13.
197. Cusick P, Bullock B. Ulcerative dermatitis and pneumonia associated with *Aeromonas hydrophila* infection in the bottle-nosed dolphin. J Am Vet Med Assoc. 1973;163(6):578.
198. Pier GB, Madin SH. *Streptococcus iniae* sp. nov., a beta-hemolytic streptococcus isolated from an Amazon freshwater dolphin, *Inia geoffrensis*. Int J Syst Evol Microbiol. 1976;26(4):545-53.
199. Pier GB, Madin SB, Al-Nakeeb S. Isolation and characterization of a second isolate of *Streptococcus iniae*. Int J Syst Evol Microbiol. 1978;28(2):311-4.
200. Diamond S, Ewing D, Cadwell G. Fatal bronchopneumonia and dermatitis caused by *Pseudomonas aeruginosa* in an Atlantic bottle-nosed dolphin. J Am Vet Med Assoc. 1979;175(9):984-7.
201. Bonar CJ, Wagner RA. A third report of "golf ball disease" in an Amazon river dolphin (*Inia geoffrensis*) associated with *Streptococcus iniae*. J Zoo Wildl Med. 2003;34(3):296-301.
202. Choi Y-K, Kang M-S, Sohn H-R, Kim D-Y. Disseminated ciliated protozoan infection in a Pacific dolphin (*Tursiops gill*). Vet Rec. 2003;153(23):714-5.
203. Frasca S, Dunn JL, Cooke JC, Buck JD. Mycotic dermatitis in an Atlantic white-sided dolphin, a pygmy sperm whale, and two harbor seals. J Am Vet Med Assoc. 1996;208:727-9.

204. Díaz-Delgado J, Sierra E, Vela AI, Arbelo M, Zucca D, Groch KR, *et al.* Coinfection by *Streptococcus phocae* and cetacean morbillivirus in a short-beaked common dolphin (*Delphinus delphis*) Dis Aquat Organ. 2017;124(3):247-52.
205. Howard EB, Britt JO, Matsumoto GK, Itahara R, Nagano CN. Bacterial diseases. Dans: Howard EB, rédacteur. Pathobiology of marine mammals diseases. Boca Raton (FL): CRC Press; 1983. p. 69-118.
206. Varaldo PE, Kilpper-Bälz R, Biavasco F, Satta G, Schleifer KH. *Staphylococcus delphini* sp. nov., a coagulase-positive species isolated from dolphins. Int J Syst Evol Microbiol. 1988;38(4):436-9.
207. Buck J, Overstrom N, Patton G, Anderson H, Gorzelany J. Bacteria associated with stranded cetaceans from the northeast USA and southwest Florida Gulf coasts. Dis Aquat Organ. 1991;10(2):147-52.
208. Buck JD, Shepard LL, Bubucis PM, Spotte S, McClave K, Cook RA. Microbiological characteristics of white whale (*Delphinapterus leucas*) from capture through extended captivity. Can J Fish Aquat Sci. 1989;46(11):1914-21.
209. Flom JO, Houk EJ. Morphologic evidence of poxvirus in “tattoo” lesions from captive bottlenosed dolphins. J Wildl Dis. 1979;15(4):593-6.
210. Van Bresse M-F, Van Waerebeek K, Reyes J, Dekegel D, Pastoret P-P. Evidence of poxvirus in dusky dolphin (*Lagenorhynchus obscurus*) and Burmeister's Porpoise (*Phocoena spinipinnis*) from coastal Peru. J Wildl Dis. 1993;29(1):109-13.
211. Van Bresse M-F, Van Waerebeek K, Raga JA. A review of virus infections of cetaceans and the potential impact of morbilliviruses, poxviruses and papillomaviruses on host population dynamics. Dis Aquat Organ. 1999;38(1):53-65.
212. Van Bresse M-F, Van Waerebeek K, Aznar FJ, Raga JA, Jepson PD, Duignan P, *et al.* Epidemiological pattern of tattoo skin disease: a potential general health indicator for cetaceans. Dis Aquat Organ. 2009;85(3):225-37.
213. Van Bresse M-F, Van Waerebeek K. Epidemiology of poxvirus in small cetaceans from the eastern South Pacific. Mar Mamm Sci. 1996;12(3):371-82.
214. Bracht A, Brudek R, Ewing R, Manire C, Burek K, Rosa C, *et al.* Genetic identification of novel poxviruses of cetaceans and pinnipeds. Arch Virol. 2006;151(3):423-38.

215. Blacklaws BA, Gajda AM, Tippelt S, Jepson PD, Deaville R, Van BresseM M-F, *et al.* Molecular characterization of poxviruses associated with tattoo skin lesions in UK cetaceans. PLoS One. 2013;8(8):e71734.
216. Barnett J, Dastjerdi A, Davison N, Deaville R, Everest D, Peake J, *et al.* Identification of novel cetacean poxviruses in cetaceans stranded in South West England. PLoS One. 2015;10(6):e0124315.
217. Robinson AJ, Kerr PJ. Poxvirus infections. Dans: Williams ES, Barker IK, rédacteurs. Infectious diseases of wild mammals. 3^e éd. Ames (IA): Blackwell Publishing; 2001. p. 179-201.
218. Britt JO, Howard EB. Virus diseases. Dans: Howard EB, rédacteur. Pathobiology of marine mammals diseases. Boca Raton (FL): CRC Press; 1983. p. 47-67.
219. Smith AW, Shilling DE, Ridgway SH. Calicivirus-induced vesicular disease in Cetaceans and probable interspecies transmission. J Am Vet Med Assoc. 1983;183(11):1123-225.
220. Geraci JR, Palmer NC, Aubin DJS. Tumors in Cetaceans: analysis and new findings. Can J Fish Aquat Sci. 1987;44(7):1289-300.
221. Van BresseM M-F, Van Waerebeek K, Piérard GE, Desaintes C. Genital and lingual warts in small cetaceans from coastal Peru. Dis Aquat Organ. 1996;26:1-10.
222. Van BresseM M-F, Kastelein RA, Flamant P, Orth G. Cutaneous papillomavirus infection in a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) from the North Sea. Vet Rec. 1999;144:592-3.
223. Sundberg JP, Junge RE, Lancaster WD. Immunoperoxidase localization of papillomaviruses in hyperplastic and neoplastic epithelial lesions of animals. Am J Vet Res. 1984;45(7):1441-6.
224. Bossart GD, Cray C, Solorzano JL, Decker SJ, Cornell LH, Altman NH. Cutaneous papillomavirral-like papillomatosis in a killer whale (*Orcinus orca*). Mar Mamm Sci. 1996;12(2):274-81.
225. MacLachlan NJ. Papillomaviridae and Polyomaviridae. Dans: Maclachlan NJ, Dubovi EJ, Barthold SW, Swayne DF, Winton JR, rédacteurs. Fenner's Veterinary Virology. 5^e éd. Cambridge, MA: Elsevier Inc.; 2017. p. 229-43.

226. Kennedy S, Lindstedt IJ, McAliskey MM, McConnell SA, McCullough SJ. Herpesviral encephalitis in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*). J Zoo Wildl Med. 1992;23(3):374-9.
227. Van Bresse M-F, Van Waerebeek K, Garcia-Godos A, Dekegel D, Pastoret P-P. Herpes-like virus in dusky dolphins, *Lagenorhynchus obscurus*, from coastal Peru. Mar Mamm Sci. 1994;10(3):354-9.
228. Blanchard TW, Santiago NT, Lipscomb TP, Garber RL, McFee WE, Knowles S. Two novel alphaherpesviruses associated with fatal disseminated infections in bottlenose dolphins. J Wildl Dis. 2001;37(2):297-305.
229. Manire CA, Smolarek KA, Romero CH, Kinsel MJ, Clauss TM, Byrd L. Proliferative dermatitis associated with a novel alphaherpesvirus in an Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). J Zoo Wildl Med. 2006;37(2):174-81.
230. Sierra E, Sánchez S, Saliki JT, Blas-Machado U, Arbelo M, Zucca D, *et al.* Retrospective study of etiologic agents associated with nonsuppurative meningoencephalitis in stranded cetaceans in the Canary Islands. J Clin Microbiol. 2014;52(7):2390-7.
231. Nielsen O, Burek-Huntington KA, Loseto LL, Morell M, Romero CH. Alphaherpesvirus: isolation, identification, partial characterisation, associated pathologic findings, and epidemiology in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in Alaska and Arctic Canada. Arctic Science. 2018;4(3):338-57.
232. Barr B, Dunn JL, Daniel MD, Banford A. Herpes-like viral dermatitis in a beluga whale (*Delphinapterus leucas*). J Wildl Dis. 1989;25(4):608-11.
233. Smolarek Benson KA, Manire CA, Ewing RY, Saliki JT, Townsend FI, Ehlers B, *et al.* Identification of novel alpha- and gammaherpesviruses from cutaneous and mucosal lesions of dolphins and whales. J Virol Methods. 2006;136(1-2):261-6.
234. Burek-Huntington KA, Nielsen O, Romero C, Goldstein T, Goertz CEC, Hobbs R. A novel herpesvirus in Bristol Bay beluga whales (*Delphinapterus leucas*). 45th Annual Conference of the International Association for Aquatic Animal Medicine; 17-21 mai 2014; Gold Coast, AU.
235. Howard EB. Miscellaneous diseases. Dans: Howard EB, rédacteur. Pathobiology of marine mammals diseases. Boca Raton (FL): CRC Press; 1983. p. 163-225.

236. Schulman FY, Lipscomb TP. Dermatitis with invasive ciliated protozoa in dolphins that died during the 1987–1988 Atlantic bottlenose dolphin morbilliviral epizootic. *Vet Pathol.* 1999;36(2):171-4.
237. Bossart GD, Meisner R, Varela R, Mazzoil M, McCulloch SD, Kilpatrick D, *et al.* Pathologic findings in stranded atlantic bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from the Indian river lagoon, Florida. *Fla Sci.* 2003;66(3):226-38.
238. Reidarson TH, McBain JF, Dalton LM, Rinaldi MG. Mycotic diseases. Dans: Dierauf LA, Gulland FMD, rédacteurs. *CRC handbook of marine mammal medicine.* 2^e éd. Boca Raton (FL): CRC Press; 2001. p. 337-55.
239. Birkun A, Miloserdova NA. On the character of the Black Sea Cetaceans microflora. *Mikrobiol Zh.* 1989;50(1):80-3.
240. Higgins R. Bacteria and fungi of marine mammals: a review. *Can Vet J.* 2000;41(2):105-16.
241. Birkun A (Laboratory of Ecology and Experimental Pathology, S.I. Georgievsky Crimean State Medical University, Crimea, UA). Natural mortality factors affecting Cetaceans in the Black Sea. Dans: Notarbartolo di Sciara G, rédacteur. *Cetaceans of the Mediterranean and Black Seas: state of knowledge and conservation strategies.* Section 16. Monaco (MC): ACCOBAMS Secretariat; 2002. p. 16.1-16.13.
242. Tanaka M, Izawa T, Kuwamura M, Nakao T, Maezono Y, Ito S, *et al.* Deep granulomatous dermatitis of the fin caused by *Fusarium solani* in a false killer whale (*Pseudorca crassidens*). *J Vet Med Sci.* 2012;74(6):779-82.
243. Hoshina T, Sugiura Y. On a skin disease and a nematode parasite of a dolphin (*Tursiops truncatus*). *Sci Repts Whales Res Inst, Tokyo.* 1956;11:133-8.
244. Nemoto T. On the diatoms of the skin film of whales in the northern Pacific. *Sci Repts Whales Res Inst, Tokyo.* 1956;11:99-132.
245. Pitman RL, Ensor P. Three forms of killer whales (*Orcinus orca*) in Antarctic waters. *J Cetacean Res Manag.* 2003;5(2):131-40.
246. Birkun A, Goldin E. Microphytic algae in the pathology of the Cetaceans. *Mikrobiol Zh.* 1997;59:96-105.

247. Goldin E, Birkun A. Microalgae in Cetaceans: pathogens, parasites or bioindicators. Dans: Evans PGH, Parsons ECM, rédacteurs. European Research on Cetaceans - 12: Proceedings of the 12th Annual Conference of the European Cetacean Society; 20-24 jan 1998, Monaco (MC). Valencia (SP): sn.; 1999.
248. Holmes R, Nagasawa S, Takano H. Morphology and geographic distribution of epidermal diatoms of the Dall's porpoise (*Phocoenoides dalli* True) in the northern Pacific Ocean. Bull Natl Sci Mus Ser B Bot. 1993; 19(1):1-18.
249. Norman SA, Raverty S, McLellan B, Pabst A, Ketten D, Fleetwood M, *et al.* Multidisciplinary investigation of stranded harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) in Washington State with an assessment of acoustic trauma as a contributory factor (2 May – 2 June 2003). Washington (DC): US Department of Commerce; 2004. NOAA Technical Memorandum NMFS-NWR-34.
250. Goldin E. The black sea bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and overgrowing microalgae: some aspects of interrelations. Dans: Öztürk B. Proceedings of the 1st International Symposium on the Marine Mammals of the Black Sea, Istanbul; 27-30 juin 1994; Istanbul (TR). 1996. p. 24-7.
251. Goldin E. Some problems of interrelations between Cetaceans and skin overgrowing microalgae and their investigation. Dans: Evans PGH. European Research on Cetaceans - 10: Proceedings of the 10th Annual Conference of the European Cetacean Society; 11-13 mars 1996, Lisbon (PT). Kiel (DE): ECS; 1997. p. 269-71.
252. Leung Y-M. An illustrated key to the species of whale-lice (Amphipoda, Cyamidae), ectoparasites of Cetacea, with a guide to the literature. Crustaceana. 1967;12(3):279-91.
253. Pfeiffer CJ. Whale lice. Dans: Perrin WF, Würsig B, Thewissen JGM, rédacteurs. Encyclopedia of marine mammals. 2^e éd. San Diego (CA): Academic Press; 2009. p. 1220-3.
254. COSEWIC. COSEWIC Assessment and Update Status Report on the Narwhal (*Monodon Monoceros*) in Canada. Ottawa (ON): Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada; 2004.
255. de Boer MN. First record of a white rough-toothed dolphin (*Steno bredanensis*) off West Africa including notes on rough-toothed dolphin surface behaviour. Mar Biodivers Rec. 2010;3. p. 1-4.

256. Pike GC. Lamprey marks on whales. J Fish Res Board Can. 1951;8(4):275-80.
257. Nichols OC, Tscherter UT. Feeding of sea lampreys *Petromyzon marinus* on minke whales *Balaenoptera acutorostrata* in the St Lawrence Estuary, Canada. J Fish Biol. 2011;78(1):338-43.
258. Ólafsdóttir D, Shinn AP. Epibiotic macrofauna on common minke whales, *Balaenoptera acutorostrata* Lacépède, 1804, in Icelandic waters. Parasit Vectors. 2013;6:105-14.
259. Best PB, Photopoulou T. Identifying the “demon whale-biter”: patterns of scarring on large whales attributed to a cookie-cutter shark *Isistius* sp. PLoS One. 2016;11(4):e0152643.
260. Vecchione A, Aznar FJ. The mesoparasitic copepod *Pennella balaenopterae* and its significance as a visible indicator of health status in dolphins (Delphinidae): a review. J Mar Anim Ecol. 2014;7(1):4-11.
261. Cornaglia E, Rebora L, Gili C, Guardo GD. Histopathological and immunohistochemical studies on cetaceans found stranded on the coast of Italy between 1990 and 1997. Transbound Emerg Dis. 2000;47(3):129-42.
262. Aznar F, Perdiguero D, Pérez del Olmo A, Repullés A, Agustí C, Raga J. Changes in epizootic crustacean infestations during cetacean die-offs: the mass mortality of Mediterranean striped dolphins *Stenella coeruleoalba* revisited. Dis Aquat Organ. 2005;67(3):239-47.
263. Danyer E, Tonay A, Aytemiz I, Dede A, Yildirim F, Gurel A. First report of infestation by a parasitic copepod (*Pennella balaenopterae*) in a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) from the Aegean Sea: a case report. Vet Med (Praha). 2014;59(8):403-7.
264. Delaney MA, Ford JK, Tang K, Gaydos JK. Mesoparasitic copepod (*Pennella balaenopterae*) infestation of a stranded offshore orca (*Orcinus orca*) in southeast Alaska: a review of significance as a health indicator in Cetaceans. Communication au: 47th Annual Conference of the International Association for Aquatic Animal Medicine; 21-26 mai 2016; Virginia Beach, VA.
265. Birincioglu SS, Aypak S, Avci H, Birincioglu B, Ipek E, Akkoç AN. Pathological and parasitological investigations in an adult bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). Kafkas Üniv Vet Fak Derg. 2017;23(6):1011-4.
266. Dhermain F, Soulier L, Bompar J-M. Natural mortality factors affecting Cetaceans in the Mediterranean Sea. Dans: Notarbartolo di Sciara G, rédacteur. Cetaceans of the

- Mediterranean and Black Seas: state of knowledge and conservation strategies. Section 15. Monaco (MC): ACCOBAMS Secretariat; 2002. p. 15.1-15.14.
267. de Wet M. A systematic health assessment of two dolphin species by-caught in shark nets off the KwaZulu-Natal coast, South Africa [mémoire]. Pretoria (ZA): University of Pretoria; 2013.
268. Van Beurden SJ, IJsseldijk LL, Cremers HJWM, Gröne A, Verheije MH, Begeman L. *Anisakis* spp. induced granulomatous dermatitis in a harbour porpoise *Phocoena phocoena* and a bottlenose dolphin *Tursiops truncatus*. *Dis Aquat Organ*. 2015;112(3):257-63.
269. Geraci JR. Physiologic and toxic effects on Cetaceans. Dans: Geraci JR, St Aubin DJ, rédacteurs. *Sea mammals and oil: confronting the risks*. San Diego (CA): Academic Press; 1990. p. 167-97.
270. Schwacke LH, Smith CR, Townsend FI, Wells RS, Hart LB, Balmer BC, *et al.* Health of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Barataria Bay, Louisiana, following the Deepwater Horizon oil spill. *Environ Sci Technol*. 2014;48(1):93-103.
271. Maderson PFA. Unpublished data from Marine Bioscience Facility, Pt. Mugu, California. 1967.
272. Gulland FM, Nutter FB, Dixon K, Calambokidis J, Schorr G, Barlow J, *et al.* Health assessment, antibiotic treatment, and behavioral responses to herding efforts of a cow-calf pair of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Sacramento River Delta, California. *Aquat Mamm*. 2008;34(2):182.
273. Barry KP, Gorgone AM, Mase B. Lake Pontchartrain, Louisiana bottlenose dolphin survey summary (28 April 2008–10 May 2008). Miami (FL): Southeast Fisheries Science Center, National Marine Fisheries Service, NOAA. 2008.
274. Simpson JG, Cornell LH. Diseases associated with stranding and captivity. Dans: Howard EB, rédacteur. *Pathobiology of marine mammals diseases*. Boca Raton (FL): CRC Press; 1983. p. 29-64.
275. Bearzi M, Rapoport S, Chau J, Saylan C. Skin lesions and physical deformities of coastal and offshore common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Santa Monica Bay and adjacent areas, California. *Ambio*. 2009;38(2):66-71.

276. Burdett Hart L, Rotstein DS, Wells RS, Allen J, Barleycorn A, Balmer BC, *et al.* Skin lesions on common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from three sites in the Northwest Atlantic, USA. PLoS One. 2012;7(3):e33081.
277. Fertl D, Pusser L, Long J. First record of an albinos bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Gulf of Mexico, with a review of anomalously white cetaceans. Mar Mamm Sci. 1999;15(1):227-34.
278. Fertl D, Barros NB, Rowlett RA, Estes S, Richlen M. An update on anomalously white cetaceans, including the first account for the pantropical spotted dolphin (*Stenella attenuata graffmani*). Lat Am J Aquat Mamm. 2004;3(2):163-6.
279. Nascimento L, Spinelli L, Santos E, Queiroz R, Pansard K, Medeiros P, *et al.* Atypical coloration in a specimen of estuarine dolphin, *Sotalia guianensis*, on the littoral of the state of Rio Grande do Norte, north-east Brazil. Mar Biodivers Rec. 2008;1.
280. Andreu Cazalla E, Fernández-Maldonado C. Primer caso de delfín listado (*Stenella coeruleoalba*) con coloración aberrante observado en el estrecho de Gibraltar. Aljaranda. 2014;85:34-37.
281. Funasaka N, Kirihata T, Hosono M, Kato H, Ohsumi S. Three cases of anomalously White Risso's Dolphins *Grampus griseus* in Japan. Mammal Study. 2017;42(3):173-8.
282. Visser IN, Fertl D, Pusser LT. Melanistic southern right-whale dolphins (*Lissodelphis peronii*) off Kaikoura, New Zealand, with records of other anomalously all-black cetaceans. N Z J Mar Freshwater Res. 2004;38(5):833-6.
283. Alves F, Dias L, Nicolau C, Ferreira R, Sousa D, Moura C, *et al.* Rare records of hypo- and hyper-pigmented individuals in two delphinid species off Madeira island. Hystrix. 2017;28(1):116-118.
284. Newman SJ, Smith SA. Marine mammal neoplasia: a review. Vet Pathol. 2006;43(6):865-80.
285. Bossart GD, Ewing RY, Lowe M, Sweat M, Decker SJ, Walsh CJ, *et al.* Viral papillomatosis in Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). Exp Mol Pathol. 2002;72(1):37-48.
286. Howard EB. Pathobiology of marine mammals diseases. Boca Raton (FL): CRC Press; 1983.

287. Van Bressem M-F, Van Waerbeek K, Reyes JC, Félix F, Echegaray M, Siciliano S, *et al.* A preliminary overview of skin and skeletal diseases and traumata in small cetaceans from South American waters. *Lat Am J Aquat Mamm.* 2007a;6(1):7-42.
288. Van Bressem M-F, de Oliveira Santos MC, de Faria Oshima JE. Skin diseases in Guiana dolphins (*Sotalia guianensis*) from the Paranaguá estuary, Brazil: a possible indicator of a compromised marine environment. *Mar Environ Res.* 2009;67(2):63-8.
289. Pettis HM, Rolland RM, Hamilton PK, Brault S, Knowlton AR, Kraus SD. Visual health assessment of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*) using photographs. *Can J Zool.* 2004;82(1):8-19.
290. Van Bressem M-F, Van Waerebeek K, Raga JA, Gaspar R, Di Benedetto AP, Ramos R, *et al.* Tattoo disease of odontocetes as a potential indicator of a degrading or stressful environment: a preliminary report. Scientific Committee Document SC/55/E1. Berlin (DE): International Whaling Commission; May-June 2003.
291. Hammond PS, Mizroch SA, Donovan GP. Individual recognition of Cetaceans: use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters. Reports of the International Whaling Commission, special issue 12: incorporating the proceedings of the symposium and workshop on individual recognition and the estimation of cetacean population parameters; 1-4 mai 1988; La Jolla, CA. Cambridge, UK: The International Whaling Commission; 1990.
292. Wells RS, Scott MD. Estimating bottlenose dolphin population parameters from individual identification and capture-release techniques. Dans: Hammond PS, Mizroch SA, Donovan GP, rédacteurs. Reports of the International Whaling Commission, special issue 12: incorporating the proceedings of the symposium and workshop on individual recognition and the estimation of cetacean population parameters; 1-4 mai 1988; La Jolla, CA. Cambridge, UK: The International Whaling Commission; 1990. p. 407-416.
293. Hammond PS, Mizroch SA, Donovan GP. Report of the workshop on individual recognition and the estimation of cetacean population parameters. Dans : Hammond PS, Mizroch SA, Donovan GP, rédacteurs. Reports of the International Whaling Commission, special issue 12: incorporating the proceedings of the symposium and workshop on individual recognition and the estimation of cetacean population parameters; 1-4 mai 1988; La Jolla, CA. Cambridge, UK: The International Whaling Commission; 1990. p. 3-40.

294. Würsig B, Jefferson TA. Methods of photo-identification for small cetaceans. Dans: Hammond PS, Mizroch SA, Donovan GP, rédacteurs. Reports of the International Whaling Commission, special issue 12: incorporating the proceedings of the symposium and workshop on individual recognition and the estimation of cetacean population parameters; 1-4 mai 1988; La Jolla, CA. Cambridge, UK: The International Whaling Commission; 1990. p. 43-52.
295. Caron L, Smith T. Preliminary results on the status and behavior of a hunted herd of belugas (*Delphinapterus leucas*) in eastern Hudson Bay. Communication au: 6th Conference on the Biology of Marine Mammals; 22-26 nov 1985; Vancouver, BC.
296. Würsig B, Würsig M. The photographic determination of group size, composition, and stability of coastal porpoises (*Tursiops truncatus*). Science. 1977;198(4318):755-6.
297. Irvine A, Weller D, Scott M. An evaluation of techniques for tagging small Odontocete Cetaceans. Fish Bull. 1982;80(1):135-43.
298. Scott M, Wells RS, Irvine A. A long-term study of bottlenose dolphins on the west coast of Florida. Dans: Leatherwood S, Reeves R, rédacteurs. The bottlenose dolphin. San Diego (CA): Academic Press; 1990. p. 235-44.
299. Agler BA. Testing the reliability of photographic identification of individual fin whales (*Balaenoptera physalus*). Report of the International Whaling Commission. 1992;42:731-7.
300. Araabi BN, Kehtarnavaz N, McKinney T, Hillman GR, Würsig B. A string matching computer-assisted system for dolphin photo-identification. Ann Biomed Eng. 2000;28:1269–79.
301. Hillman G, Würsig B, Gailey G, Kehtarnavaz N, Drobyshevsky A, Araabi B, *et al.* Computer-assisted photo-identification of individual marine vertebrates: a multi-species system. Aquat Mamm. 2003;29(1):117-23.
302. Bolger DT, Morrison TA, Vance B, Lee D, Farid H. A computer-assisted system for photographic mark–recapture analysis. Methods Ecol Evol. 2012;3(5):813-22.
303. Wilson B, Hammond PS, Thompson PM. Estimating size and assessing trends in a coastal bottlenose dolphin population. Ecol Appl. 1999;9(1):288-300.
304. Hartman KL, Wittich A, Cai JJ, van der Meulen FH, Azevedo JMN. Estimating the age of Risso’s dolphins (*Grampus griseus*) based on skin appearance. J Mammal. 2016;97(2):490-502.

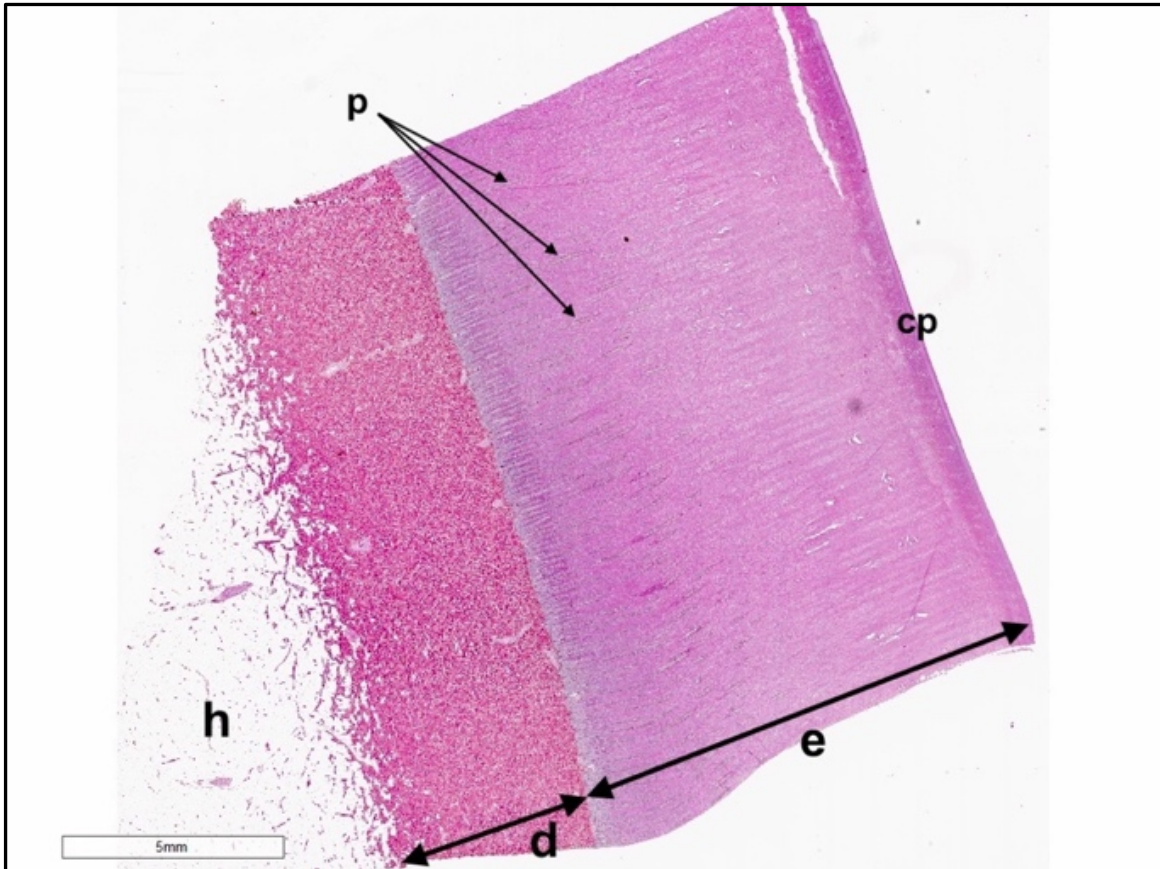
305. Rowe LE, Dawson SM. Determining the sex of bottlenose dolphins from Doubtful Sound using dorsal fin photographs. *Mar Mamm Sci.* 2009;25(1):19-34.
306. Markowitz TM, Harlin AD, Würsig B, McFadden CJ. Dusky dolphin foraging habitat: overlap with aquaculture in New Zealand. *Aquat Conserv.* 2004;14(2):133-49.
307. Calambokidis J, Barlow J, Ford JKB, Chandler TE, Douglas AB. Insights into the population structure of blue whales in the eastern North Pacific from recent sightings and photographic identification. *Mar Mamm Sci.* 2009;25(4):816-32.
308. Stevick P, Aguayo-Lobo A, Allen J, Ávila IC, Capella J, Castro C, *et al.* Migrations of individually identified humpback whales between the Antarctic Peninsula and South America. *J Cet Res Manag.* 2004;6(2):109-13.
309. Johnston DR, Rayment W, Slooten E, Dawson SM. A time-based method for defining associations using photo-identification. *Behaviour.* 2017;154(9-10):1029-50.
310. Stolk A. Some tumours in whales I. Dans: Proceedings of Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Amsterdam (NL): North-Holland Publishing Company; 1952. p. 275-8.
311. Stolk A. Some tumours in whales II. Dans: Proceedings of Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen. Amsterdam (NL): North-Holland Publishing Company; 1953. p. 369-74.
312. Cockrill WR. Pathology of the Cetacea: a veterinary study on whales - Part I. *Br Vet J.* 1960;116(5):133-44.
313. Uys CJ, Best PB. Pathology of lesions observed in whales flensed at Saldanha Bay, South Africa. *J Comp Pathol.* 1966;76(4):407-12.
314. Van Bresse M-F, Gaspar R, Aznar FJ. Epidemiology of tattoo skin disease in bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* from the Sado estuary, Portugal. *Dis Aquat Organ.* 2003;56:171-3.
315. Van Bresse M-F, Flach L, Reyes JC, Echegaray M, Santos M, Vididi F, *et al.* Epidemiological characteristics of skin disorders in Cetaceans from South American waters. *Lat Am J Aquat Mamm.* 2015;10(1):20-32.
316. Bradford AL, Weller DW, Ivashchenko YV, Burdin AM, Brownell JRL. Anthropogenic scarring of western gray whales (*Eschrichtius robustus*). *Mar Mamm Sci.* 2009;25(1):161-75.

317. Yang W-C, Chang W-L, Kwong K-H, Yao Y-T, Chou L-S. Prevalence of epidermal conditions in critically endangered Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*) from the waters of western Taiwan. *Pak Vet J.* 2013;33(4).
318. Kiszka J, Van Bresselem M-F, Pusineri C. Lobomycosis-like disease and other skin conditions in Indo-Pacific bottlenose dolphins *Tursiops aduncus* from the Indian Ocean. *Dis Aquat Organ.* 2009;84(2):151-7.
319. Dwyer SL, Visser IN. Cookie cutter shark (*Isistius* sp.) bites on cetaceans, with particular reference to killer whales (*Orcinus orca*). *Aquat Mamm.* 2011;37(2):111-38.
320. Knowlton AR, Hamilton PK, Marx MK, Pettis HM, Kraus SD. Monitoring North Atlantic right whale *Eubalaena glacialis* entanglement rates: a 30 yr retrospective. *Mar Ecol Prog Ser.* 2012;466:293-302.
321. Hupman KE, Pawley MD, Lea C, Grimes C, Voswinkel S, Roe WD, *et al.* Viability of photo-identification as a tool to examine the prevalence of lesions on free-ranging common dolphins (*Delphinus* sp.). *Aquat Mamm.* 2017;43(3):264.
322. Azevedo AF, Lailson-Brito J, Dorneles PR, Van Sluys M, Cunha HA, Fragoso ABL. Human-induced injuries to marine tucuxis (*Sotalia guianensis*) (Cetacea: Delphinidae) in Brazil. *Mar Biodivers Rec.* 2009;2:1-5.
323. Bossart GD. Marine mammals as sentinel species for oceans and human health. *Vet Pathol.* 2011;48(3):676-90.
324. Brown MW, Brault S, Hamilton PK, Kenney RD, Knowlton AR, Marx MK, *et al.* Sighting heterogeneity of right whales in the western North Atlantic: 1980–1992. *J Cet Res Manag.* 2001;2(Special Issue):245-50.
325. Kryukova NV, Bel’kovich VM. Development of method for photoidentification of white whales (*Delphinapterus leucas*) in the White Sea. Dans: III International Conference “Marine Mammals of the Holarctic”, Collection of Scientific Papers; 11-17 oct 2004; Koktebel, UA. Moscow (RU): Marine Mammals Council. p. 297-9.
326. VanDevanter DR, Warrenner P, Bennett L, Schultz ER, Coulter S, Garber RL, *et al.* Detection and analysis of diverse herpesviral species by consensus primer PCR. *J Clin Microbiol.* 1996;34(7):1666-71.

327. Samarra FIP, Fennell A, Aoki K, Deecke VB, Miller PJO. Persistence of skin marks on killer whales (*Orcinus orca*) caused by the parasitic sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in Iceland. *Mar Mamm Sci.* 2012;28(2):395-401.
328. Van Elk CE, Van de Bildt MWG, de Jong AAW, Osterhaus ADME, Kuiken T. Genital herpesvirus in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): cultivation, epidemiology and associated pathology. *J Wildl Dis.* 2009;45(4):895-906.
329. Cruz D, Rodríguez M, Kouri V, Soto Y, Zamora L, Rodríguez D, *et al.* Concurrent papillomavirus- and herpesvirus-infection in Atlantic bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) inhabiting the Cuban coast. *Mar Mamm Sci.* 2014;30(4):1564-72.
330. Sierra E, Díaz-Delgado J, Arbelo M, Andrada M, Sacchini S, Fernández A. Herpesvirus-associated genital lesions in a stranded striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*) in the Canary islands, Spain. *J Wildl Dis.* 2015;51(3):696-702.
331. Van Beurden SJ, IJsseldijk LL, Ordonez SR, Förster C, de Vrieze G, Gröne A, *et al.* Identification of a novel gammaherpesvirus associated with (muco)cutaneous lesions in harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Arch Virol.* 2015;160(12):3115-20.
332. Alekseev AY, Shpak O, Adamenko L, Glazov D, Galkina I, Schelkanov MY, *et al.* Serological detection of causative agents of infectious and invasive diseases in the beluga whale *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776)(Cetacea: Monodontidae) from Sakhalinsky Bay. *Russ J Mar Biol.* 2017;43(6):485-90.
333. Sundberg JP, Van Ranst M, Bennett J. Papillomavirus infections. Dans: Williams ES, Barker IK, rédacteurs. *Infectious diseases of wild mammals.* 3^e éd. Ames (IA): Iowa State University Press; 2001. p. 223-31.
334. Stackebrandt E. The family Dermatophilaceae. Dans: Dworkin M, Falkow S, Rosenberg E, Schleifer K-H, rédacteurs. *The Prokaryotes.* 3. 3^e éd. New York (NY): Springer; 2006. p. 1002-12.
335. Maldini D, Riggin J, Cecchetti A, Cotter MP. Prevalence of epidermal conditions in California coastal bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Monterey Bay. *Ambio.* 2010;39(7):455-62.
336. Reeb D, Duffield M, Best PB. Evidence of postnatal ecdysis in Southern right whales, *Eubalaena australis*. *J Mammal.* 2005;86(1):131-8.

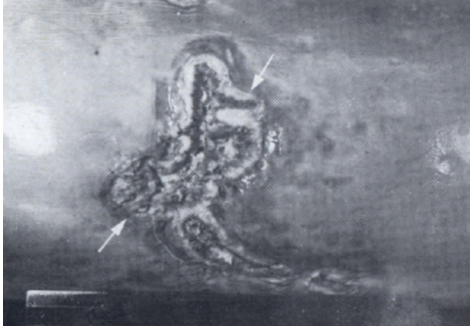
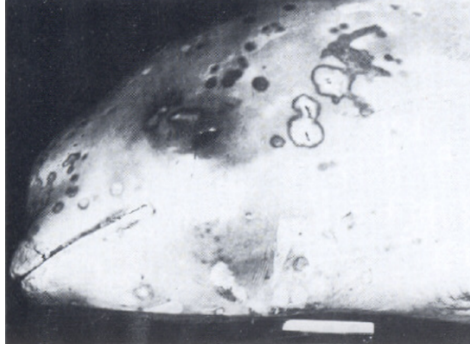
337. Margolis L. *Delphinapterus leucas*, a new host record for the whale-louse, *Paracyamus nodosus* (Lütken). J Parasitol. 1954 ;40(3):365.
338. Howard EB, Britt JO, Simpson JG. Neoplasms in marine mammals. Dans: Howard EB, rédacteur. Pathobiology of marine mammals diseases. Boca Raton (FL): CRC Press; 1983. p. 95-162.
339. Dover SR, rédacteur. Laser as a treatment for squamous cell carcinoma in a Pacific white sided dolphin. Communication au: 25th Annual Conference of the International Association for Aquatic Animal Medicine; Vallejo, CA.
340. Calzada N, Domingo M. Squamous cell carcinoma of the skin in a Striped Dolphin *Stenella coeruleoalba*. Communication au: 4th annual conference of the European Cetacean Society; 2-4 March 1990; Palma de Mallorca, SP.
341. Van Bresse M-F, Minton G, Sutaria D, Kelkar N, Peter C, Zulkarnaen M, *et al.* Cutaneous nodules in Irrawaddy dolphins: an emerging disease in vulnerable populations. Dis Aquat Organ. 2014;107(3):181-9.
342. Clarke R. Sperm whale of the Azores. Discover Rep. 1956;28:237-298.

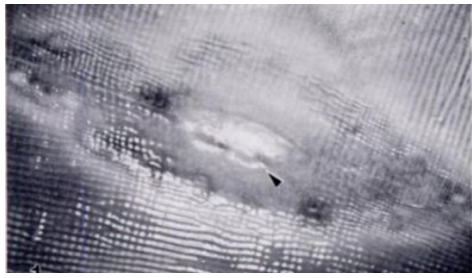
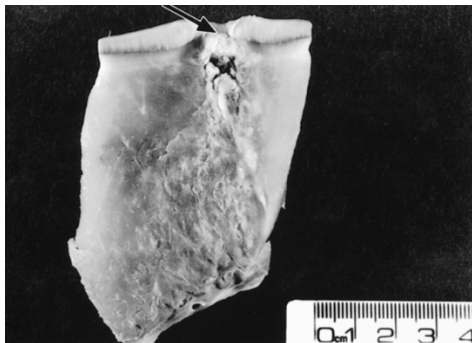
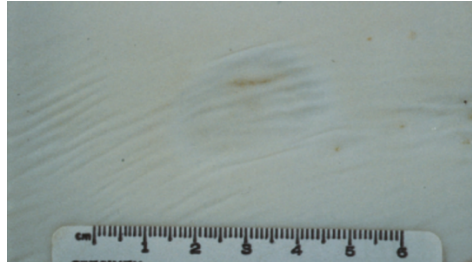
Annexe 1 – Coupe histologique de peau de béluga juvénile saine

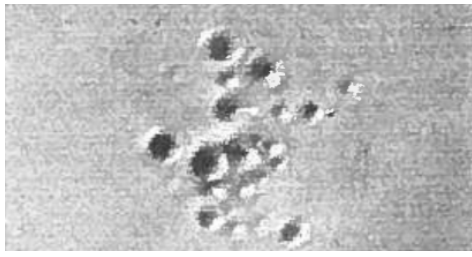


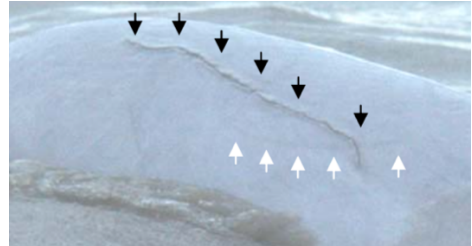


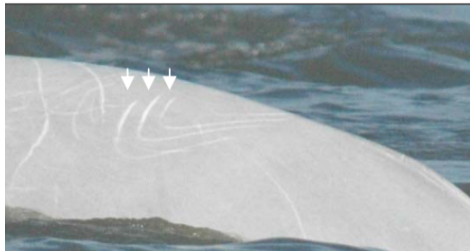



cp : couche parakératotique; e : épiderme; p : papilles dermiques; d : derme sous-papillaire; h : hypoderme.




Annexe 2 – Synthèse des types de lésions cutanées rapportées chez les bélugas dans la littérature

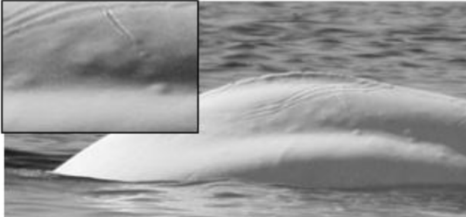
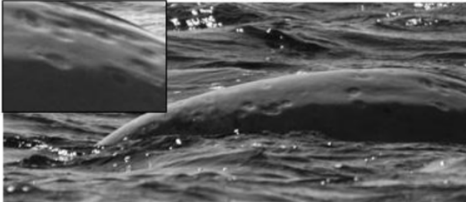


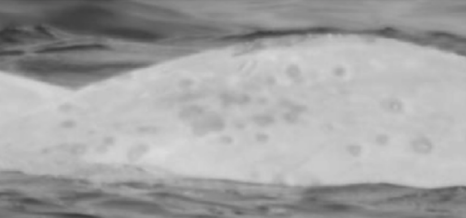
Description morphologique	Aspect macroscopique	Cause (niveau de confiance ¹)	Individu à l'état sauvage ou en garde	Zone géographique ²	Source	Catégorie de lésion ³
Infestation parasitaire	Non disponible	<i>Cyamus nodosus</i> , <i>C. monodontis</i> (notes de recherche publiées, diagnostic morphologique)	État sauvage	Groenland	(252, 337)	PAR
Ulcère		Herpèsvirus (suspicion par microscopie électronique)	État sauvage (individu échoué mort)	Estuaire du Saint-Laurent (Canada)	(6)	ULC
Dépressions nummulaires et en carte géographique		Herpèsvirus, aspect chronique (suggestion des auteurs)	État sauvage (individu échoué mort)	Estuaire du Saint-Laurent (Canada)	(6)	NUM, MAP




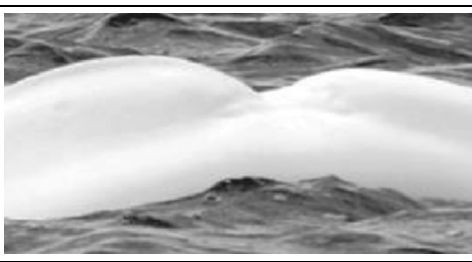

Description morphologique	Aspect macroscopique	Cause (niveau de confiance ¹)	Individu à l'état sauvage ou en garde	Zone géographique ²	Source	Catégorie de lésion ³
Dépression elliptique rugueuse aux contours pâles surélevés de 6 x 15 cm		Herpèsvirus (suspicion par microscopie électronique)	En garde	NA	(232)	MAP
Plages jaunâtres	Non disponible	Mue saisonnière	État sauvage	Détroit d'Hudson (Canada)	(94)	JAU
Ulcères profonds purulents de 1 à 3 cm de diamètre		<i>Mycobacterium marinum</i> (confirmation par culture et PCR sur plusieurs échantillons)	En garde (individu mort)	NA	(137)	ULC
Ulcères suppurés chroniques et lésions cutanées indurées	Non disponible	<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i> (données non publiées, dires d'expert)	Inconnu	Inconnu	(181)	ULC
Dépressions nummulaires légères grisâtres de 0.5 à 4 cm de diamètre		Bactérie s'apparentant au genre <i>Dermatophilus</i> (suspicion par microscopie optique)	État sauvage (individu échoué mort)	Estuaire du Saint-Laurent	(29)	NUM

Description morphologique	Aspect macroscopique	Cause (niveau de confiance ¹)	Individu à l'état sauvage ou en garde	Zone géographique ²	Source	Catégorie de lésion ³
Dépressions en pointillé de moins de 5 mm de diamètre aux contours surélevés		Inconnue	État sauvage (individus chassés)	Baie d'Hudson orientale (Canada)	(100)	PIN
Dépressions nummulaires légères de 5 à 25 mm de diamètre aux contours nets		Inconnue	État sauvage (individus chassés)	Baie d'Hudson orientale (Canada)	(100)	NUM
Dépressions nummulaires marquées (jusque 3 mm de profondeur) de 5 à 25 mm de diamètre aux contours nets		Inconnue	État sauvage (individus chassés)	Baie d'Hudson orientale (Canada)	(100)	CIB
Carcinome spinocellulaire	Non disponible	Tumeur cutanée (confirmation par examen histopathologique)	État sauvage	Estuaire du Saint-Laurent	(8)	-
Entaille fraîche (flèches noires) et entaille cicatrisée (flèches blanches)		Inconnue	État sauvage	Cook Inlet (Alaska)	(139)	LAC, CIC

Description morphologique	Aspect macroscopique	Cause (niveau de confiance ¹)	Individu à l'état sauvage ou en garde	Zone géographique ²	Source	Catégorie de lésion ³
Marques en dents de râteau		Orque (suggestion des auteurs)	État sauvage	Cook Inlet (Alaska)	(139)	MDR
Marques en dents de râteau et amputation		Orque (confirmation par examen post-mortem)	État sauvage	Cook Inlet (Alaska)	(139)	MDR
Cicatrices arquées parallèles, chacune étant plus épaisse au centre qu'aux extrémités		Hélice de moteur de bateau (suggestion des auteurs)	État sauvage	Cook Inlet (Alaska)	(139)	CAP
Marques blanches		Inconnue	État sauvage	Cook Inlet (Alaska)	(139)	HYO

Description morphologique	Aspect macroscopique	Cause (niveau de confiance ¹)	Individu à l'état sauvage ou en garde	Zone géographique ²	Source	Catégorie de lésion ³
Dépressions sombres aux contours surélevés (photo du haut); lésions nivelées et pâles deux mois plus tard (photo du bas)		Inconnue	État sauvage	Cook Inlet (Alaska)	(139)	MAP
Marques sombres		Inconnue	État sauvage	Cook Inlet (Alaska)	(139)	MOR
Ulcère multifocalemment recouvert de plaques irrégulières jaunâtres à brunâtres et bordé par un liseré hyperkératosique et tuméfié		<i>Fusarium solani</i> (confirmation par examen histopathologique et PCR)	En garde	NA	(138)	ULC

Description morphologique	Aspect macroscopique	Cause (niveau de confiance ¹)	Individu à l'état sauvage ou en garde	Zone géographique ²	Source	Catégorie de lésion ³
Nodules sphériques et fermes, présentant fréquemment une zone centrale nécrotique		Bactéries du genre <i>Pseudomonas</i> (suggestion des auteurs)	État sauvage	Baie d'Onega, Mer Blanche (Russie)	(134, 140)	NOD
Plages circulaires en dépression de petite taille		Bactéries du genre <i>Dermatophilus</i> (suggestion des auteurs)	État sauvage	Baie d'Onega, Mer Blanche (Russie)	(134, 140)	NUM, MAP
Plages cutanées ponctuées de pointillés noirs, puis ulcères bordés de peau jaune-orangée		Agent fongique du genre <i>Candida</i> (suggestion des auteurs)	État sauvage	Baie d'Onega, Mer Blanche (Russie)	(134, 140)	NUM, MAP
Marques cutanées noirâtres, grisâtres ou jaunâtres, ayant l'aspect de tirets et/ou d'un pointillé, ayant l'aspect de tatouage		Poxvirus (suggestion des auteurs)	État sauvage	Baie d'Onega, Mer Blanche (Russie)	(134, 140)	MOR
Renflements ou plages planes circulaires gris foncé bordées par un contour sombre avec une tache sombre centrale (jusqu'à deux centimètres de diamètre)		Herpèsvirus (suggestion des auteurs)	État sauvage	Baie d'Onega, Mer Blanche (Russie)	(134, 140)	NUM, MAP

Description morphologique	Aspect macroscopique	Cause (niveau de confiance ¹)	Individu à l'état sauvage ou en garde	Zone géographique ²	Source	Catégorie de lésion ³
Plage hyperpigmentée		Inconnue	État sauvage	Baie d'Onega, Mer Blanche (Russie)	(134)	HYE
Plage hypopigmentée		Inconnue ou subséquente à un traumatisme (suggestion des auteurs)	État sauvage	Baie d'Onega, Mer Blanche (Russie)	(134)	HYO
Égratignures, écorchures		Bords coupants de bloc de glace, élément tranchant du fond marin (suggéré par l'auteur)	État sauvage	Baie d'Onega, Mer Blanche (Russie)	(134)	MDR, LAC
Bosselure de la ligne du dos		Inconnue	État sauvage	Baie d'Onega, Mer Blanche (Russie)	(134)	BLD
Cicatrice		Inconnue	État sauvage	Baie d'Onega, Mer Blanche (Russie)	(134)	MDR

Description morphologique	Aspect macroscopique	Cause (niveau de confiance¹)	Individu à l'état sauvage ou en garde	Zone géographique²	Source	Catégorie de lésion³
Marques de dents	Non disponible	Agression intra-spécifique (suggéré par les auteurs)	État sauvage	Baie d'Onega, Mer Blanche (Russie)	(134, 140)	MDR
Ulcères cratériiformes	Non disponible	Herpèsvirus (confirmation par examen histopathologique et PCR)	État sauvage (individus échoués morts)	Cook Inlet (Alaska)	(133)	ULC

¹ Trois niveaux de confiance, ou certitude, dans la cause de la lésions cutanée sont proposés : cause confirmée, par plusieurs examens complémentaires pour les causes infectieuses et par un examen post-mortem complet pour la prédation; cause suspectée étant donné le résultat d'un examen complémentaire ; cause suggérée par les auteurs, d'après les caractéristiques morphologiques et les données de la littérature.

² NA : Non applicable.

³ Catégorie de lésions, telle que définie dans cette étude, qui aurait probablement été attribuée à la lésion d'après l'aspect morphologique ou la description qui en est faite.

Annexe 3 – Liste des tumeurs cutanées rapportées chez des Cétacés dans la littérature, adapté à partir de (220)

Localisation	Diagnostic	Espèces	Âge ¹	Sexe	Source	Référence	Degré de certitude ²
Peau	Verrue	Grand cachalot	Imm.	M	Antarctique	(311)	A
Peau	Verrue	Marsouin commun		M	Mer du Nord	(222)	A
Peau (pourtour de la fente génitale)	Verrues	Marsouin commun, dauphin obscure, dauphin commun à long bec (<i>Delphinus capensis</i>)	-	-	Sud-Est de l'Océan Pacifique	(221)	?
Peau	Verrues / papillomatose	Orque	10 ans	M	En garde	(224)	A
Peau	Verrue	Grand cachalot	Inc.	Inc.	Antarctique	(311)	C
Lèvre	Mélanome	Rorqual boréal	Mat.	F	Afrique du Sud	(313)	A
Peau	Carcinome spinocellulaire	Dauphin à flancs blancs du Pacifique (<i>Lagenorhynchus obliquidens</i>)	Inc.	Inc.	En garde	(338)	A
Peau	Carcinome spinocellulaire	Dauphin à flancs blancs du Pacifique	16	F	En garde	(339)	A
Peau	Carcinome spinocellulaire	Dauphin bleu et blanc			Espagne	(340)	?
Peau (nageoire dorsale)	Papillome	Orque	Inc.	Inc.	En garde	(67)	B
Peau	Papillome	Dauphin commun (non spécifié)	Inc.	Inc.	Inc.	(223)	A
Peau (crête dorsale)	Papillome squameux	Narval	299 cm	M	Arctique (chasse de subsistance)	(220)	A
Peau	Papillome squameux	Orque	6 ans	F	En garde	(220)	A
Peau (insertion nageoire pectorale)	Papillome squameux	Marsouin commun	5 ans	M	Baie de Fundy (capture accidentelle)	(220)	A

Localisation	Diagnostic	Espèces	Âge ¹	Sexe	Source	Référence	Degré de certitude ²
Peau	Fibropapillome	Dauphin de l'Irrawaddy (<i>Orcaella brevirostris</i>)	Inc.	F	Kuching (Malaisie)	(341)	A
Peau	Papillome	Dauphin bleu et blanc	Inc.	Inc.	Îles Canaries	(155)	A
Mâchoire inférieure	Fibrome	Grand cachalot	Inc.	Inc.	Açores	(342)	C
Mâchoire inférieure	Fibrome	Grand cachalot	Mat.	M	Antarctique	(310)	B
Peau	Fibrome	Rorqual commun	Inc.	Inc.	Antarctique	(310)	B
Peau/Mâchoire inférieure	Fibrome	Baleine à bosse	Mat.	F	Antarctique	(311)	D
Peau	Fibrome	Rorqual commun	Mat.	F	Antarctique	(311)	D
Peau (au pourtour de l'évent)	Fibrome	Grand cachalot	Imm.	M	Antarctique	(311)	D
Peau (tissu sous-cutané)	Fibrome	Grand dauphin	Mat.		Afrique du Sud	(267)	A
Peau (nageoire caudale)	Carcinome spinocellulaire	Béluga	> 18	M	Québec, Canada	(8)	A

¹Imm. : immature; Mat. : mature; Inc. : inconnu.

²A : confirmé; B : probable; C : douteux, non confirmable; D : controversé

Annexe 4 – Exemples d’aspect cutané distinctif non lésionnel chez les bélugas de l’estuaire du Saint-Laurent

Souillures (A) :
Il peut parfois être
difficile de distinguer
des égratignures de
souillures (B).



A



B

Plis fœtaux



Crédit photo : GREMM

Annexe 5 – Cas documentés de « cicatrices en cratère » dues à des émetteurs transcutanés chez deux bélugas de l’estuaire du Saint-Laurent

DLS1501

Marqué le 2015/11/02



Revu le 2016/07/25



Revu le 2016/08/28



DLS1505

Marqué le 2015/11/19



Revu le 2016/07/12



Revu le 2016/08/01



Crédit photo : GREMM

Annexe 6 – Lexique bilingue des catégories de lésions cutanées macroscopiques chez les bélugas de l’estuaire du Saint-Laurent

Nom français	Nom anglais	Description
Fissure linéaire unique	<i>Single linear fissure</i>	Lacération tégumentaire unique, isolée, rectiligne ou courbe, de profondeur variable, dont les bords sont relevés et la cavité occasionnée est à vif, non comblée par du tissu cicatriciel ou cutané mature
Cicatrice linéaire unique	<i>Single linear scar</i>	Dépression cutanée linéaire unique, rectiligne ou courbe, de profondeur variable
Fissures/cicatrices arquées parallèles	<i>Multiple curved fissures/scars</i>	Lacérations ou cicatrices cutanées multiples (> 1), arquées, parallèles, de profondeur variable, dont l’espacement est variable, plus ou moins régulier, et habituellement de plus de 2-3 cm; les marques sont plus profondes au centre qu’aux extrémités
Marque en dents de râteau	<i>Rake mark</i>	Lacérations ou cicatrices cutanées multiples (> 1), rectilignes ou courbées, parallèles, de profondeur variable, dont l’intervalle est régulier et approximativement équivalent à l’espace entre deux dents de béluga
Bris de la ligne du dos	<i>Notch of the topline</i>	Blessure transversale fraîche ou cicatrisée, importante, en forme de V, le long de la ligne du dos
Lésion en code Morse	<i>Morse code lesion</i>	Marques cutanées noirâtres, plus ou moins alignées, ayant l’aspect de tirets et/ou d’un pointillé
Nodule	<i>Nodule</i>	Renflement cutané ou sous-cutané créant une protubérance visible extérieurement, de l’ordre de quelques centimètres de diamètre
Masse	<i>Mass</i>	Renflement cutané ou sous-cutané créant une protubérance visible extérieurement, plus large qu’un nodule
Parasite externe	<i>External parasite</i>	Organisme étranger macroscopiquement visible adhérent à la peau
Plage hypopigmentée	<i>Hypopigmented patch</i>	Plage tégumentaire bien distincte plus pâle que la peau alentour
Plage hyperpigmentée	<i>Hyperpigmented patch</i>	Plage bien distincte de coloration plus sombre que le reste de la peau

Plage jaunâtre	<i>Yellow patch</i>	Plage de coloration jaunâtre comparativement au reste de la peau
Lésion type ulcère	<i>Ulcer-like lesion</i>	Perte de substance cutanée de profondeur variable, pouvant atteindre le derme voire l'hypoderme, laissant les tissus sous-jacents à vif, dont les bords sont bien délimités.
Cicatrice en cratère	<i>Crater-like scar</i>	Irrégularité cratériforme de la surface de la peau, recouverte d'un épiderme sain, faisant suite à une perte de substance cutanée de profondeur variable, pouvant atteindre le derme, l'hypoderme voire le muscle
Dépression nummulaire	<i>Circular depression</i>	Perte de substance cutanée superficielle, de forme circulaire, de l'ordre du centimètre de diamètre, au sein de laquelle l'épiderme présente un aspect normal, voire plus pâle à plus sombre
Dépression en carte géographique	<i>Map depression</i>	Marque cutanée en dépression, dont la coloration centrale et des marges est variable et dont les bords bien délimités mais irréguliers forment des « cartes géographiques »
Dépression en cible	<i>Target depression</i>	Lésion circulaire au sein de laquelle des variations de couleur de la peau ou de relief (dépression ou surélévation) permettent de distinguer au moins deux cercles concentriques
Dépressions en pointillé	<i>Pinhole erosions</i>	Perte de substance cutanée superficielle, en tête d'épingle, de l'ordre du millimètre de diamètre, aussi ou plus profonde que large, au sein de laquelle l'épiderme présente un aspect normal