

Université de Montréal

**Indices de condition corporelle chez le béluga du Saint-Laurent :
utilisation rétrospective de données morphologiques recueillies lors de
nécropsies**

Par
Sylvain Larrat

Département de sciences cliniques
Faculté de médecine vétérinaire

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

Avril 2014

© Sylvain Larrat, 2014

Université de Montréal
Faculté de médecine vétérinaire

Ce mémoire intitulé

Indices de condition corporelle chez le béluga du Saint-Laurent : utilisation rétrospective
de données morphologiques recueillies lors de nécropsies

présenté par

Sylvain Larrat

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Christian Bédard, président-rapporteur

Stéphane Lair, directeur de recherche

Julie Arsenault, membre du jury

Résumé

L'évaluation de la condition corporelle des carcasses des bélugas du Saint-Laurent contribue au diagnostic de cause de mortalité du pathologiste. La méthode actuelle repose sur une évaluation visuelle subjective. Notre projet visait à chercher un outil objectif d'évaluation de la condition corporelle. L'indice de masse mise à l'échelle (\hat{M}_i) est objectif puisqu'il est calculé à partir de la masse et de la taille de chaque individu. \hat{M}_i doit être calculé avec des constantes différentes pour les bélugas mesurant plus ou moins de 290 cm. Il produit des résultats en accord avec l'évaluation visuelle. Comme il est parfois logistiquement impossible de peser un béluga, nous avons évalué des indices basés sur d'autres mesures morphométriques. Les indices basés sur la circonférence à hauteur de l'anus pour les bélugas de moins de 290 cm et la circonférence maximale pour ceux de plus de 290 cm représentent des indices de condition corporelle alternatifs intéressants.

Mots clés : béluga, *Delphinapterus leucas*, nécropsie, condition corporelle, indice de masse mise à l'échelle, Estuaire du Saint-Laurent

Abstract

Evaluation of the body condition of beluga carcasses from the Estuary of the St. Lawrence contributes to the diagnosis of the cause of death by the pathologist. The current method relies on a subjective visual evaluation. Our project aimed at developing an objective tool for the evaluation of body condition. The Scaled Mass Index (\hat{M}_i) is an objective figure since it is obtained from individual masses and lengths. \hat{M}_i has to be calculated with different constants for belugas under and above a length of 290 cm. \hat{M}_i yielded results consistent with visual evaluation. Since weighing belugas can be logistically impossible, we evaluated indices based on several other morphometric measurements. Indices based on girth at the level of the anus and maximal girth for animals under and above 290 cm, respectively, were deemed useful as alternative body condition indices.

Key words: Beluga, *Delphinapterus leucas*, necropsy, body condition, Scaled Mass Index, St. Lawrence Estuary.

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures.....	vii
Liste des abréviations.....	x
Dédicace.....	xi
Remerciements.....	xii
1. Introduction.....	1
2. Recension de la littérature.....	3
2.1. Les bélugas du Saint-Laurent.....	3
2.1.1. Place du béluga dans la phylogénie des cétacés.....	3
2.1.2. Le béluga : un animal adapté aux eaux polaires vivant dans l'estuaire du Saint-Laurent.....	3
2.1.3. Évolution de la population de bélugas dans l'estuaire du Saint-Laurent.....	4
2.2. Protection réglementaire des bélugas du Saint-Laurent.....	4
2.2.1. Protection internationale.....	4
2.2.2. Protection provinciale et fédérale.....	5
2.2.3. Plan de rétablissement.....	6
2.2.4. Menaces pesant sur les bélugas du Saint-Laurent.....	7
2.3. Condition corporelle et mammifères marins.....	8
2.3.1. Pannicule adipeux et condition corporelle.....	8
2.3.2. Les multiples rôles du pannicule adipeux.....	8
2.3.3. Antagonisme entre les rôles du tissu adipeux.....	9
2.3.4. Variations du pannicule avec l'espèce, l'âge, le statut physiologique.....	10
2.3.5. Composition hétérogène du pannicule.....	10
2.3.6. Répartition hétérogène du pannicule et variations avec la condition corporelle.....	11
2.4. Indice de condition corporelle.....	13

2.4.1.	Définitions.....	13
2.4.2.	Mesures de la condition corporelle.....	14
2.4.3.	Articles sur le débat méthodologique.....	15
a)	Utilisation de fractions comme indices de condition corporelle.....	15
b)	Relation allométrique entre masse et taille.....	15
c)	Indices de condition corporelle tirés de régressions linéaires.....	16
d)	Résidus de régression linéaire par la méthode des moindres carrés ordinaire.....	16
e)	Indice de masse mise à l'échelle.....	19
2.4.4.	Les limites des indices de condition corporelle.....	20
a)	Manque de validation.....	20
b)	Valeurs de référence.....	20
c)	Analyses de covariance.....	21
2.4.5.	Conclusion.....	21
2.5.	Mesures de condition corporelle chez les mammifères marins.....	22
2.5.1.	Épaisseur de pannicule adipeux et mesures directes.....	22
2.5.2.	Indices tirés de calculs.....	23
2.5.3.	Évaluation visuelle.....	25
3.	Objectifs de l'étude.....	26
4.	Matériel et méthodes.....	27
4.1.	Sources et collecte des données.....	27
4.1.1.	Animaux étudiés et source des données.....	27
4.1.2.	Données collectées lors de la nécropsie.....	27
4.2.	Création d'un indice de masse mise à l'échelle.....	30
4.2.1.	Données utilisées.....	30
4.2.2.	Construction d'un indice de condition corporelle.....	30
4.3.	Développement d'une échelle visuelle analogique.....	31
4.3.1.	Échelle visuelle analogique.....	31
4.3.2.	Échelle visuelle analogique : statistiques.....	35
4.4.	Construction d'indices de condition corporelle alternatifs.....	35
4.5.	Application du calcul de l'indice de masse mise à l'échelle à une population « de référence ».....	36

4.6.	Calculs et analyses statistiques	37
5.	Résultats	38
5.1.	Description des données disponibles	38
5.2.	Détermination du coefficient b_{SMA}	41
5.3.	Description de l'indice de masse mise à l'échelle	41
5.4.	Évaluation visuelle de l'état de chair	44
5.4.1.	Répétabilité de l'évaluation visuelle.....	44
5.4.2.	Reproductibilité de l'évaluation visuelle	46
5.5.	Comparaison entre l'évaluation visuelle et l'indice de masse mise à l'échelle	48
5.6.	Évaluation d'indices de condition corporelle alternatifs	50
5.7.	Application de l'indice de masse mise à l'échelle à une population « de référence ».....	60
6.	Discussion	63
6.1.	Une performance variable de l'évaluation visuelle	63
6.2.	L'indice de masse mise à l'échelle	64
6.2.1.	Un outil issu de mesures morphométriques	64
6.2.2.	Correspondance avec l'évaluation visuelle.....	64
6.2.3.	Les limites de l'indice de masse mise à l'échelle	66
6.3.	Animaux en bonne santé et indice de masse mise à l'échelle.....	67
6.4.	Indices alternatifs et pistes pour l'évaluation de la condition corporelle de bélugas vivants.....	68
6.5.	Conclusions et recommandations	70
6.5.1.	Condition corporelle des carcasses de bélugas	70
6.5.2.	Remarques sur le protocole de nécropsie.....	71
6.5.3.	Perspectives pour l'évaluation de la condition corporelle des bélugas vivants en milieu naturel	71
a)	Évaluation visuelle à distance.....	71
b)	Condition corporelle et bélugas vivants lors d'examen physique	72
	Bibliographie.....	73
	Annexe :	87

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des photographies destinées à évaluer la condition corporelle des carcasses de bélugas.....	28
Tableau 2 : Statistiques descriptives de la masse des carcasses de bélugas en kilogrammes en fonction de la classe de taille (bélugas de taille inférieure ou supérieure à 290 cm).....	38
Tableau 3 : Statistiques descriptives de la taille des carcasses de bélugas en centimètres en fonction de la classe de taille (bélugas de taille inférieure ou supérieure à 290 cm).....	38
Tableau 4 : Statistiques descriptives de la masse mise à l'échelle pour la taille des carcasses de bélugas en kilogramme.	42
Tableau 5 : Coefficient de corrélation de concordance (CCC) entre les deux évaluations de chaque observateur, avec son intervalle de confiance à 95% (IC95), et les valeurs de <i>scale shift</i> , <i>location shift</i> et du coefficient de corrélation de Pearson (r).	43
Tableau 6 : Coefficient de corrélation de concordance (CCC) entre les moyennes des évaluations des observateurs comparés deux à deux, avec son intervalle de confiance à 95% (IC95), et les valeurs de <i>scale shift</i> , <i>location shift</i> et du coefficient de corrélation de Pearson (r).....	43
Tableau 7 : Corrélation (Rho de Spearman) entre les indices de condition corporelle alternatifs et l'indice de masse mise à l'échelle pour les bélugas.....	43
Tableau 8 : Résumé des statistiques descriptives de l'indice de masse mise à l'échelle (kg) de bélugas chassés dans l'Arctique.....	43
Tableau 9 : Liste des photographies destinées à la photo-identification des carcasses de bélugas.....	95
Tableau 10 : Liste des photographies destinées à évaluer la condition corporelle des carcasses de bélugas	95
Tableau 11 : Mesures morphométriques relevées lors de la nécropsie d'une carcasse de béluga.....	95

Liste des figures

Figure 1 : Diagramme représentant les photographies destinées à évaluer la condition corporelle des carcasses de bélugas.	28
Figure 2 : Schéma des mesures morphométriques collectées lors des nécropsies de bélugas.	29
Figure 3 : Exemples de photographies destinées à évaluer la condition corporelle d'une carcasse de béluga.	32
Figure 4 : Échelle visuelle analogique destinée à l'évaluation de la condition corporelle des bélugas à partir de photographies.	34
Figure 5 : Relation entre la taille et la masse des bélugas du Saint-Laurent évalués en nécropsie (A) et leurs logarithmes (B).	40
Figure 6 : Distribution de la masse mise à l'échelle des carcasses de béluga de moins de 290 cm.	43
Figure 7 : Distribution de la masse mise à l'échelle des carcasses de béluga de plus de 290 cm.	43
Figure 8 : Diagrammes de Bland-Altman comparant deux évaluations visuelles successives de chaque observateur.	45
Figure 10 : Relation entre la note moyenne issue de l'évaluation visuelle de la condition corporelle et l'indice de masse mise à l'échelle des bélugas de moins de 290 cm (n=9).	49
Figure 11 : Relation entre la note moyenne issue de l'évaluation visuelle de la condition corporelle et l'indice de masse mise à l'échelle des bélugas de plus de 290 cm (n=47).	49
Figure 12 : Distribution de l'indice de circonférence axillaire mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=31).	52
Figure 13 : Distribution de l'indice de circonférence maximale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=31).	53

Figure 14 : Distribution de l'indice de circonférence anale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=32).	53
Figure 15 : Distribution de l'indice d'épaisseur de tissu adipeux dorsale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=29; exclusion=1).....	54
Figure 16 : Distribution de l'indice d'épaisseur de tissu adipeux latérale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=28; exclusion=1).....	54
Figure 17 : Distribution de l'indice d'épaisseur de tissu adipeux ventrale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=28; exclusions=3).	55
Figure 18 : Distribution de l'indice de masse de la demi-musculature épaxiale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=21, exclusions=3).....	55
Figure 19 : Distribution de l'indice de circonférence axillaire mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=131).	56
Figure 20 : Distribution de l'indice de circonférence maximale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=131).	57
Figure 21 : Distribution de l'indice de circonférence anale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=132).	57
Figure 22 : Distribution de l'indice d'épaisseur de tissu adipeux dorsale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=159).....	58
Figure 23 : Distribution de l'indice d'épaisseur de tissu adipeux latérale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=141).	58

Figure 24 : Distribution de l'indice d'épaisseur de tissu adipeux ventrale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=160).	59
Figure 25 : Distribution de l'indice de masse de la demi-musculature épaxiale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=91).	59
Figure 26 : Distributions des indices de masse mise à l'échelle des bélugas du Saint-Laurent avec les données rapportées par Doidge (n=10) pour les animaux de moins de 290 cm.	61
Figure 27 : Distributions des indices de masse mise à l'échelle des bélugas du Saint-Laurent avec les données rapportées par Doidge (n=26) pour les animaux de plus de 290 cm.	61
Figure 28 : Diagramme des photographies destinées à la photo-identification des carcasses de bélugas.....	89
Figure 29 : Diagramme représentant les photographies destinées à évaluer la condition corporelle des carcasses de bélugas.	90
Figure 30 : Schéma des mesures morphométriques collectées lors des nécropsies de bélugas.	93

Liste des abréviations

b_{SMA} : Coefficient de pente de régression linéaire selon la méthode « *Standard Major Axis* »

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

GLG : « *Growth Layer Group* » - groupe de déposition de dentine annuelle au sein des dents de bélugas.

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

GVLMA : « *Global Validation of Linear Model Assumptions* » - Test de validation des hypothèses de régression logistique.

\hat{M}_i : Indice de masse mise à l'échelle (*Scaled Mass Index*).

MPO : Pêches et Océans Canada

SMA : Méthode de régression « *Standard Major Axis* » - aussi appelé « *Reduced Major Axis* »

$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$: Watt par mètre par degré Kelvin

Dédicace

À notre Terre qui nous permet de respirer, boire, manger.

À Bénédicte.

Remerciements

Au Dr Stéphane Lair, pour la possibilité renouvelée de travailler sur des sujets passionnants.

À la Dre Ariane Santamaria-Bouvier pour sa participation aux nécropsies de bélugas en général, et à ce projet en particulier.

Au Dr Christian Bédard pour avoir accepté d'être président de mon jury.

À la Dre Julie Arsenault, pour sa participation à ce jury et son enseignement stimulant en épidémiologie.

Au Dr Simon Dufour, pour son enseignement passionnant des « mathématiques » épidémiologiques vétérinaires.

À tous ceux qui ont participé aux nécropsies de bélugas et qui ont contribué à amasser les données de ce projet, tout particulièrement Drs Daniel Martineau, André Dallaire et Guylaine Séguin; Kathleen Brown, Viviane Casaubon, Judith Viau, Audrey Daigneault, Mélanie Laquerre et tous les étudiants volontaires.

Au Centre québécois sur la santé des animaux sauvages pour le financement de ce projet.

1.Introduction

Depuis près de trente ans, la santé des bélugas (*Delphinapterus leucas*) du Saint-Laurent est surveillée. L'étude des causes de mortalités, par le biais de nécropsies des carcasses échouées, tient une part importante dans cette surveillance.

Durant ces nécropsies, les pathologistes évaluent visuellement si la carcasse est émaciée ou, au contraire, si la quantité de réserves énergétiques semble adéquate. Cette évaluation renseigne sur la chronicité du processus ayant causé la mort et aide le pathologiste à déterminer si les différentes conditions pathologiques observées avaient un impact significatif sur l'état de santé de l'animal. Cette évaluation de l'état corporel repose actuellement sur l'expérience du pathologiste plutôt que sur des données objectives. Baser cette évaluation sur des mesures morphométriques pourrait permettre de s'affranchir du risque de subjectivité, et d'obtenir des données quantitatives.

Il n'existe pas de méthode standard permettant de connaître la condition corporelle de bélugas. Chez les petites espèces, la composition lipidique et protéique totale de l'animal a pu être utilisée comme mesure de la condition corporelle réelle dans le cadre de la validation d'indices de condition corporelle (Schamber et al., 2008). Cette méthode n'est pas envisageable chez des animaux de la taille de bélugas avec les moyens actuels.

Chez les mammifères, avoir des réserves d'énergie adéquates est intimement relié à la probabilité qu'un individu se reproduise avec succès (Cotton, Small, & Pomiankowski, 2006). Détenir un outil d'évaluation de ces réserves d'énergie chez les bélugas permettrait donc aussi d'améliorer notre capacité d'évaluation de la santé de leur population.

Les variations de réserves énergétiques se traduisent le plus souvent par des variations de masse. La masse d'un animal peut en effet être considérée comme la somme de tissus de réserve énergétique et de tissus de structure (Klanjscek, Nisbet, Caswell, & Neubert, 2007). Les tissus de structure sont généralement proportionnels à la taille de l'animal. La masse varie donc en fonction de la taille et de l'état des réserves d'énergie

(Klanjscek et al., 2007). La masse est aussi affectée par la présence d'un fœtus, qui ne représente strictement ni une structure, ni bien sûr, une réserve d'énergie. Elle pourrait en outre varier avec le contenu digestif chez certaines espèces, mais cette situation est peu probable chez le béluga, qui digère très rapidement ses aliments (Lesage & Kingsley, 1995).

Le premier objectif de la présente étude est de mettre à profit les données de masse et de taille recueillies grâce au programme de suivi des carcasses de béluga du Saint-Laurent pour développer un indice de condition corporel objectif. Le deuxième objectif est de comparer cet indice de condition corporelle à la méthode d'évaluation visuelle dérivée de celle actuellement utilisée pour déterminer la condition corporelle des bélugas. Le troisième objectif est de développer des indices alternatifs à partir d'autres données morphométriques et de les comparer à l'indice de « référence » calculé à partir de la masse et de la taille afin d'évaluer s'ils pourraient être utilisés lors d'examens de santé d'animaux vivants. Enfin, le dernier objectif est d'appliquer la méthode de calcul de l'indice de condition corporelle à des données récoltées sur des bélugas chassés dans l'Arctique, afin de déterminer des valeurs d'indice pour des animaux « non malades ».

2. Recension de la littérature

2.1. Les bélugas du Saint-Laurent

2.1.1. Place du béluga dans la phylogénie des cétacés

Les cétacés sont des mammifères adaptés au milieu marin présents dans tous les océans de la planète. La phylogénie précise des cétacés est l'objet de controverses, mais il est communément admis que les cétacés font partie du groupe des cétartiodactyles, aux côtés des artiodactyles. Les hippopotames sont considérés comme la famille d'artiodactyles la plus proche des cétacés. Cet ordre comprend deux sous-ordres, les mysticètes, ou baleines à fanons, et les odontocètes, qui possèdent des dents. (Geisler, McGowen, Yang, & Gatesy, 2011; Yang, 2009).

Le béluga (*Delphinapterus leucas*) est un cétacé faisant partie du sous-ordre des odontocètes. Il appartient à la famille des monodontidés avec le narval (Nowak, 1999).

2.1.2. Le béluga : un animal adapté aux eaux polaires vivant dans l'estuaire du Saint-Laurent

Le béluga est un odontocète de taille moyenne, mesurant de 3,5 à 5,5 mètres et pesant jusqu'à 1500 kg. Sa longévité maximale est estimée à près de 80 ans. Les jeunes naissent gris et changent peu à peu de couleur pour devenir complètement blancs à l'âge adulte (O'corry-Crowe, 2009).

L'aire de répartition des bélugas est située dans les eaux arctiques et subarctiques. L'évolution a doté ces animaux d'adaptations au froid, telles que l'absence de nageoire dorsale et l'épaisse couche de tissu adipeux présente dans leur peau (O'corry-Crowe, 2009).

La population des bélugas du Saint-Laurent et du Saguenay fait partie des populations les plus méridionales. Elle est considérée comme un reliquat de la population qui devait se trouver dans la mer de Champlain lors de la dernière glaciation (Harington, 1977). La basse température de l'eau de l'estuaire et la haute productivité biologique créées par les courants marins résurgents (*upwelling*) expliqueraient la persistance de ces

animaux arctiques dans cette région (Fontaine, 2005). L'isolement de cette population se traduit par ailleurs par une diversité génétique moindre des bélugas du Saint-Laurent en comparaison aux autres populations, et la présence de singularités génétiques absentes ailleurs (de March & Postma, 2003; Murray, Michaud, & White, 1999).

2.1.3. Évolution de la population de bélugas dans l'estuaire du Saint-Laurent

La population de bélugas dans l'estuaire Saint-Laurent au 19^e siècle approchait vraisemblablement les 7 800 à 10 000 individus (Hammill, Measures, Gosselin, & Lesage, 2007). La chasse, qui a été autorisée jusqu'en 1979, a provoqué une forte diminution de cette population. Les estimations d'abondance des bélugas après l'arrêt de la chasse suggèrent qu'environ 1000 bélugas étaient toujours présents dans l'estuaire du Saint-Laurent au début des années 1980 (Hammill et al., 2007). La croissance théorique d'une population de bélugas devrait approcher 4% par an. Cependant, dans l'estuaire du Saint-Laurent, depuis l'interdiction de la chasse, la population de bélugas n'a pas crû significativement (Hammill et al., 2007).

2.2. Protection réglementaire des bélugas du Saint-Laurent

2.2.1. Protection internationale

Le béluga dans son ensemble est classé comme espèce « quasi menacée » par l'Union internationale pour la conservation de la nature (Jefferson et al., 2012). Les responsables de la classification ont noté que le niveau de menace de différentes sous-populations de bélugas n'est pas uniforme, et que le niveau de menace pesant sur certaines populations, incluant celle du Saint-Laurent, devrait être évalué individuellement (Jefferson et al., 2012). Le béluga est par ailleurs listé sur l'annexe II de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, ce qui signifie que son commerce international est contrôlé (United Nations Environment Programme's World Conservation Monitoring Centre, 2013).

2.2.2. Protection provinciale et fédérale

Le béluga est protégé contre la chasse depuis l'adoption du *Règlement sur la protection du bélouga* en 1979 (Pêches et Océans Canada, 2012). Cette protection s'est étendue grâce au *Règlement sur les mammifères marins* en 1993, qui interdit d'importuner un mammifère marin (Pêches et Océans Canada, 2012).

Par ailleurs, l'absence de rétablissement de la population de bélugas du Saint-Laurent a justifié son classement comme « espèce menacée » par le comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC, 2004). L'inscription du béluga du Saint-Laurent sur la liste des espèces en péril renforce sa protection et protège aussi son milieu de vie essentiel de la destruction.

En 1997, une loi provinciale et une loi fédérale ont permis la création du Parc marin du Saguenay – Saint-Laurent, qui participe à la protection d'un espace indispensable à la survie de l'espèce. La création du parc s'est accompagnée de la mise en place d'un *Règlement sur les activités en mer du parc marin Saguenay – Saint-Laurent* fédéral en 2002. Ce règlement établit en particulier les distances d'approche maximales des bélugas par les bateaux, et organise un système de permis visant à limiter le nombre de bateaux d'excursion dans le parc. De plus, la loi québécoise interdit l'exploration sismique dans le parc (Pêches et Océans Canada, 2012).

2.2.3. Plan de rétablissement

Un programme gouvernemental fédéral de rétablissement de la population des bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent a été mis en place sous l'égide de Pêches et Océans Canada (Pêches et Océans Canada, 2012).

Le plan de rétablissement s'appuie sur plusieurs mesures (Pêches et Océans Canada, 2012) :

- Les mesures légales déjà décrites.
- Les programmes d'amélioration de la qualité des eaux de l'estuaire du Saint-Laurent.
- L'interdiction des activités d'exploration et d'exploitation pétrolière et gazière dans la région utilisée par les bélugas.
- Des mesures d'intendance :
 - Suivi des échouages de mammifères marins dans l'estuaire du Saint-Laurent (Réseau québécois d'urgence pour les mammifères marins).
 - Formation à l'intention des capitaines des bateaux d'excursions sur les bonnes pratiques d'observation des mammifères marins.
 - Programme d'intendance de l'habitat.
- L'atténuation du dérangement par les activités scientifiques.
- Des programmes de recherche.

Parmi les outils employés pour prendre les décisions relatives à la conservation de cette population de bélugas très particulière, on trouve le programme de suivi des carcasses de béluga. Ce programme contribue en continu à l'amélioration des connaissances scientifiques sur ces animaux depuis une trentaine d'années (Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, 2007). Son objectif principal est de déterminer les causes de mortalités des animaux morts trouvés échoués en effectuant des examens post-mortem complets.

2.2.4. Menaces pesant sur les bélugas du Saint-Laurent

Les auteurs du programme de rétablissement du béluga du Saint-Laurent ont listé dix menaces qui ont pu ou pourraient nuire à cette population (Pêches et Océans Canada, 2012). Il s'agit des contaminants environnementaux (De Guise, Martineau, Béland, & Fournier, 1995), du dérangement anthropique, de la réduction de l'abondance, de la disponibilité et de la qualité des proies, des autres dégradations de l'habitat, des collisions avec les bateaux, de l'empêchement dans les engins de pêche, des activités scientifiques, du déversement de produits toxiques, des efflorescences d'algues toxiques et des épizooties (COSEPAC, 2004). La chasse est aussi listée en tant que menace historique.

2.3. Condition corporelle et mammifères marins

Les mammifères marins au sens large comprennent les cétacés, les pinnipèdes, les ours blancs (*Ursus maritimus*) et les loutres de mer (*Enhydra lutris*). Étant donné le contexte de ce mémoire, nous avons restreint la synthèse ci-dessous aux groupes qui présentent le plus de similarité avec les bélugas : les cétacés et, pour certains aspects, les pinnipèdes. Les références ultérieures aux « mammifères marins » se limiteront à ces deux groupes. Les cétacés comprennent les baleines à fanons ou mysticètes, et les baleines à dents, les odontocètes. Les phoques, les otaries et les morses sont des pinnipèdes. Toutes ces espèces possèdent généralement un pannicule adipeux épais.

2.3.1. Pannicule adipeux et condition corporelle

Le pannicule adipeux, que les anglophones appellent « *blubber* », correspond anatomiquement à l'hypoderme graisseux. Il contient une grande partie du tissu adipeux présent chez les cétacés et les pinnipèdes (Ridgway & Fenner, 1982; Rommel & Lowenstine, 2001). De nombreux auteurs ont montré que l'épaisseur ou la masse du pannicule adipeux des cétacés et des pinnipèdes sont étroitement liées avec la condition corporelle des individus, ce qui indique que ce tissu a un rôle important de réserve énergétique (voir par exemple : Aguilar & Borrell, 1990; Beck, Smith, & Hammill, 1993; Dunkin, McLellan, Blum, & Pabst, 2005; Gómez-Campos, Borrell, & Aguilar, 2011; Konishi, 2006; Koopman, 1998; Lockyer, McConnell, & Waters, 1985; Mazzaro, Richmond, Morgan, Kluever, Dunn, Romano, Zinn & Koutsos, 2011; Mellish, Horning, & York, 2007; Miller, Reeb, Best, Knowlton, Brown & Moore, 2011; Ridgway & Fenner, 1982).

2.3.2. Les multiples rôles du pannicule adipeux

Chez les mammifères marins, le rôle de réserve énergétique du pannicule adipeux se complique de plusieurs autres fonctions. Tout d'abord, les mammifères marins vivent dans un milieu dont la conductivité thermique est près de 23 fois supérieure à celle de

l'air entourant leurs cousins terrestres (conductivité thermique à 25°C de l'eau : $0,6 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$; de l'air : $0,026 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$; Haynes, 2012). Le pannicule adipeux, en plus d'être une réserve d'énergie, joue donc un rôle particulièrement critique d'isolant thermique (Ryg, Smith, & Øritsland, 1988). En accord avec cette idée, il a été rapporté qu'en comparaison à des cétacés vivant en eau chaude, un pannicule adipeux plus épais, plus riche en lipides et plus isolant est observé chez des espèces vivant en eaux froides (Worthy & Edwards, 1990).

Le tissu adipeux étant moins dense que l'eau, le pannicule joue un rôle dans la flottaison. Les animaux en meilleure condition flottent donc avec moins d'effort. Le pannicule participe aussi à l'hydrodynamisme, en contribuant à donner aux mammifères marins leur profil fusiforme. Par ailleurs, le pannicule adipeux est vraisemblablement utilisé par certains mammifères marins comme un ressort biologique stockant l'énergie lors des mouvements, et participant donc à la locomotion (Dunkin, McLellan, Blum, & Pabst, 2010; Hamilton, Dillaman, McLellan, & Pabst, 2004; Koopman, 1998; Noren & Wells, 2009). Ces fonctions imposent des contraintes structurelles au pannicule adipeux et limitent l'amplitude de ses variations (Gómez-Campos et al., 2011).

2.3.3. Antagonisme entre les rôles du tissu adipeux

Les animaux émaciés ont un pannicule moins isolant (Dunkin et al., 2005), ce qui est une conséquence directe de son utilisation en tant que réserve énergétique. Si cette utilisation s'avérait excessive, l'individu émacié, et donc déjà en situation de déficit énergétique, aurait à faire face à une augmentation de ses dépenses d'énergie liées au maintien de sa température corporelle, ce qui serait vraisemblablement la source de conséquences négatives pour l'animal (Bryden, 1968; Dunkin et al., 2005; Rosen, Winship, & Hoopes, 2007; Stewart & Lavigne, 1980). De plus, le catabolisme du pannicule adipeux diminue la flottabilité et affecte l'hydrodynamisme des individus émaciés. Ces changements augmentent le coût énergétique des déplacements et de la recherche de nourriture (Dunkin et al., 2010; Rosen et al., 2007).

2.3.4. Variations du pannicule avec l'espèce, l'âge, le statut physiologique

Le pannicule adipeux des cétacés et des pinnipèdes n'est pas un tissu uniforme. Tout d'abord, son épaisseur et sa répartition sont variables en fonction des espèces. Nous avons déjà mentionné que les cétacés vivant en eau froide ont un pannicule adipeux plus épais, plus riche en lipides et plus isolant que ceux vivant en eau chaude (Worthy & Edwards, 1990). Par ailleurs, l'épaisseur et la composition du pannicule adipeux des cétacés et des pinnipèdes varient en fonction de l'âge et du statut physiologique des individus. Par exemple, chez les grands dauphins (*Tursiops truncatus*), les juvéniles et les femelles gravides possèdent la peau la plus isolante, tandis que les fœtus et les animaux émaciés disposent du pannicule le moins isolant (Dunkin et al., 2005).

De plus, chez cette espèce, il a été démontré que le nombre d'adipocytes est fixé peu après la naissance. L'épaississement du pannicule avec l'âge s'effectue ensuite par augmentation de taille des adipocytes en lien avec le stockage de lipides (Struntz et al., 2004).

2.3.5. Composition hétérogène du pannicule

Chez plusieurs espèces de cétacés, il a été montré que le pannicule adipeux, en plus de n'être pas uniformément réparti, n'est pas un tissu homogène. Par exemple, chez les rorquals communs (*Balaenoptera physalus*), les couches du pannicule évoluent différemment : le contenu lipidique de la portion externe ne varie pas avec l'âge, le sexe, ni le statut reproducteur alors que les portions moyennes et profondes sont le siège de telles variations (Aguilar & Borrell, 1990).

Le pannicule adipeux des grands dauphins varie de manière semblable : la taille des adipocytes moyens et profonds varie lors de la croissance ou du jeûne, alors que celle des adipocytes superficiels ne varie pas (Struntz et al., 2004).

Les acides gras composant le pannicule adipeux sont eux aussi différents en fonction de la profondeur de pannicule examinée : chez le marsouin (*Phocoena phocoena*), les couches superficielles sont par exemple plus riches en acides gras à courte chaîne, tandis que les couches plus profondes contiennent plus d'acides gras insaturés à

longue chaîne (Koopman, Iverson, & Gaskin, 1996). De manière similaire, la composition en acides gras du pannicule adipeux des cétacés en général, et des bélugas en particulier, est stratifiée (Koopman, 2007; Krahn et al., 2004; H. R. Smith, 2009). Cette stratification est plus marquée chez les espèces vivant en eaux froides. Ces espèces ont aussi une teneur en lipides du pannicule plus haute (Koopman, 2007).

Enfin, la composition du pannicule adipeux varie en fonction de la localisation anatomique. Le pannicule des rorquals communs contient par exemple plus de lipides, moins de protéines et moins de fibres en position dorsale et postérieure qu'en région ventrale et antérieure (Lockyer, McConnell, & Waters, 1984).

Ces observations suggèrent que le pannicule adipeux superficiel a principalement un rôle structurel, tandis que les couches moyennes et profondes ont un rôle de réserve d'énergie.

2.3.6. Répartition hétérogène du pannicule et variations avec la condition corporelle

Chez plusieurs espèces de mysticètes, les animaux en bonne condition corporelle disposent d'une plus grande quantité de tissu adipeux, localisé en particulier en position sous-cutanée et entre les fibres musculaires de la queue dorsale (Lockyer et al., 1985).

Les grands dauphins en bonne condition corporelle possèdent une couche de tissu adipeux sous-cutané, entre l'hypoderme et les muscles, tout spécialement au niveau thoracique tandis que ceux qui sont émaciés ont un pannicule adipeux moins épais et aucun tissu adipeux sous-cutané (Ridgway & Fenner, 1982).

Chez le marsouin commun, les sites montrant le plus de variations d'épaisseur en fonction de la condition corporelle sont situés entre le point d'insertion du membre antérieur et la nageoire dorsale. Le tissu adipeux caudal à l'anus forme quant à lui un bourrelet ventral et un dorsal qui ne varient pas avec la condition corporelle et seraient principalement impliqués dans l'hydrodynamisme et la locomotion (Koopman, 1998). Il est intéressant de noter que les marsouins émaciés ont perdu 20 à 50 % de leur pannicule adipeux thoracique et abdominal, mais que sont maintenus à la fois le tissu adipeux caudal et une couche de pannicule minimale d'environ un cm. En parallèle, ces individus

ont catabolisé une part de leurs muscles locomoteurs (Koopman, Pabst, McLellan, Dillaman, & Read, 2002; Koopman, 1998).

Chez les bélugas, l'épaisseur relative du pannicule adipeux est elle aussi variable en fonction de la localisation corporelle. Les régions où il est le plus épais sont situées dorsalement, du milieu du corps jusqu'au pédoncule caudal, ainsi qu'au niveau du pédoncule caudal ventral (Doidge, 1990a).

En résumé, le pannicule adipeux des mammifères marins apparaît comme un tissu complexe, stratifié, et qui remplit à la fois des fonctions structurelles telles que l'isolation thermique et une fonction de réserve énergétique.

2.4. Indice de condition corporelle

2.4.1. Définitions

La condition corporelle est définie comme étant la quantité de réserves d'énergie présente dans l'organisme (Moya-Laraño, Macías-Ordóñez, Blanckenhorn, & Fernández-Montraveta, 2008).

Tout tissu d'un organisme peut être classé entre les catégories « réserve d'énergie » et « structure ». Les réserves d'énergies peuvent être mobilisées pour le métabolisme de base ou la croissance, tandis que les tissus constituant la structure ne sont pas mobilisables. Certains tissus, comme les muscles squelettiques, appartiennent aux deux catégories (Klanjscek et al., 2007).

Chez les mammifères terrestres, une meilleure condition corporelle se traduit le plus souvent par la présence de plus de tissu adipeux. Il semble cependant raisonnable de considérer que la quantité des autres constituants présents dans l'organisme, tels que les protéines ou l'eau, augmente en même temps que le tissu adipeux (Schulte-Hostedde, Millar, & Hickling, 2001; Schulte-Hostedde, Zinner, Millar, & Hickling, 2005).

D'une manière générale, des animaux en bonne condition corporelle ont une meilleure résistance au jeûne (Atkinson & Ramsay, 1995), survivent mieux aux migrations (Merilä & Svensson, 1997), ont un système immunitaire plus efficace (Møller, Christe, Erritzøe, & Mavarez, 1998), ou ont une plus grande probabilité de se reproduire (Cotton et al., 2006).

Par conséquent, la condition corporelle est souvent considérée comme un signe de l'état de santé et comme une mesure des chances de reproduction d'un individu par les biologistes (Moya-Laraño et al., 2008). Pour les vétérinaires, et en particulier les pathologistes, la condition corporelle renseigne aussi sur la durée pendant laquelle un animal a été malade. En effet, un animal malade longtemps a plus de risques d'être amaigri qu'un animal mort subitement des suites d'un événement aigu.

2.4.2. Mesures de la condition corporelle

La condition corporelle est souvent estimée à partir de mesures morphologiques. Dans certaines situations, mesurer la masse d'un animal permet une bonne appréciation de sa condition corporelle (Schamber, Esler, & Flint, 2008). Les animaux plus lourds disposent alors de plus de réserves d'énergies. Cela dit, cette approche ne permet pas de faire la différence entre un individu qui est plus lourd parce qu'il dispose de plus de réserves ou un individu plus lourd parce qu'il est structurellement plus grand que les autres, mais qu'il n'a pas nécessairement plus de tissu adipeux.

De nombreux auteurs se sont donc attachés à prendre en compte la taille des individus dans leur mesure de condition corporelle. Pour ce faire, il convient de travailler avec au moins deux mesures morphométriques. Une des mesures ne varie pas avec les changements de condition corporelle. C'est par exemple la longueur totale chez les animaux ayant terminé leur croissance, ou des tailles d'éléments anatomiques tels que des segments osseux. Une seconde mesure varie en fonction de la condition corporelle (Moya-Laraño et al., 2008). Il s'agit par exemple de la masse, d'épaisseurs de tissu adipeux ou de mensurations abdominales. Comme ces deuxièmes mesures varient aussi avec la taille de l'animal, il faut utiliser un outil mathématique pour discriminer l'origine des variations (Dobson, 1992; Moya-Laraño et al., 2008).

Si plusieurs mesures de taille sont disponibles, celle qui est la plus corrélée avec la masse devrait être utilisée dans les calculs, parce qu'elle permettra vraisemblablement de mieux déterminer quelle fraction de la mesure de masse est expliquée par la taille (Peig & Green, 2009).

La masse varie en fonction de l'état des réserves d'énergie, mais elle peut aussi être affectée par d'autres facteurs. La présence d'un fœtus, qui ne représente strictement ni une structure, ni bien sûr, une réserve d'énergie peut modifier la masse d'une femelle. La masse peut en outre varier avec le contenu digestif chez certaines espèces.

2.4.3. Articles sur le débat méthodologique

a) Utilisation de fractions comme indices de condition corporelle

Une des méthodes les plus simples qui est utilisée pour obtenir un indice de condition corporelle prenant en compte la taille des individus consiste à diviser la mesure variant avec la condition corporelle par la mesure de taille, par exemple (Stevenson & Woods, 2006) :

$$\text{Indice de condition corporelle} = \frac{\text{Poids}}{\text{Taille}}$$

L'indice déduit de cette formule ne s'affranchit pas entièrement de la relation à la taille, si bien qu'il a été raffiné en élevant la taille à différentes puissances (Stevenson & Woods, 2006) :

$$\text{Indice de Fulton} : K = \frac{\text{Poids}}{(\text{Taille})^3}$$

$$\text{Indice de masse corporelle de Quételet} : \text{IMC} = \frac{\text{Poids}}{(\text{Taille})^2}$$

Ces indices dérivés de fractions présentent cependant des désavantages. Ils conservent souvent une corrélation avec la masse, et peuvent rendre les analyses subséquentes difficiles (Stevenson & Woods, 2006). Leur utilisation est déconseillée par certains auteurs (García-Berthou, 2001). D'autres méthodes de calcul d'indices de condition corporelle ont donc été utilisées.

b) Relation allométrique entre masse et taille

En biologie, la plupart des relations impliquant la taille font appel à la notion d'allométrie. L'allométrie désigne les phénomènes de croissance différentielle des organes. Autrement dit, il y aurait isométrie si tous les organes croissaient à la même vitesse, et si leur taille était directement et en tout temps proportionnelle à la taille de l'animal. L'allométrie désigne le fait que, dans la pratique, les organes croissent à des vitesses différentes, tout en restant reliés à la taille par une fonction non linéaire (Teissier,

1948). La relation d'allométrie qui relie un paramètre biologique Y à la taille X suit généralement une équation de la forme suivante, où a et b sont des constantes :

$$Y = aX^b$$

Après transformation logarithmique, on obtient une fonction affine où $\ln(a)$ est l'ordonnée à l'origine et b le coefficient de la pente :

$$\ln(Y) = \ln(a) + b \times \ln(X)$$

C'est cette relation linéaire entre les logarithmes de la taille et d'autres paramètres biologiques qui est mise à profit par les modèles de régression (Warton, Wright, Falster, & Westoby, 2006).

c) Indices de condition corporelle tirés de régressions linéaires

En halieutique, les indices communément utilisés sont l'indice de condition relative K_n et la masse relative W_r . Ils correspondent à la masse observée divisée par une masse prédite (Stevenson & Woods, 2006) :

$$(W_r \text{ ou } K_n)_i = \frac{M_i}{\bar{M}_{Li}}$$

Dans cette équation, \bar{M}_{Li} représente la masse prédite pour la taille de l'individu. Cette variable est générée à partir de l'équation obtenue par régression linéaire de la masse en fonction de la taille par la méthode des moindres carrés ordinaire. Selon l'indice, la régression est effectuée sur la population étudiée (K_n) ou sur une population de référence (W_r) (Peig & Green, 2010).

d) Résidus de régression linéaire par la méthode des moindres carrés ordinaire

L'indice résiduel R_i a été beaucoup utilisé en biologie, en particulier en écologie terrestre. Il est calculé en appliquant une régression linéaire sur les logarithmes de taille et de masse (par exemple). La régression permet d'obtenir la fonction affine d'une droite représentant une tendance moyenne. Les résidus sont en quelque sorte une mesure de distance verticale des coordonnées du point correspondant à l'individu d'intérêt par rapport à cette droite. Ils permettent donc de savoir si un individu est au-dessus ou en

dessous de la norme, et d'avoir une idée quantitative de cette distance à la droite moyenne (Peig & Green, 2010).

Cette méthode a été à l'origine de controverses au cours des 15 dernières années. Elle a tout d'abord été recommandée (Jakob, Marshall, & Uetz, 1996), avant d'être critiquée (Green, 2001; Kotiaho, 1999). La méthode de création d'un indice de condition corporelle par la régression par la méthode des moindres carrés ordinaire présuppose que six conditions soient remplies : 1) la mesure de masse doit croître de façon linéaire avec la taille ou l'indicateur de taille, 2) l'indice de condition corporelle et la condition corporelle doivent être indépendants de la taille, 3) l'indicateur de taille doit être représentatif de la structure de l'animal, 4) l'indicateur de taille ne doit pas être corrélé à la variable contre laquelle sera testé l'indice de condition corporelle, 5) X est strictement indépendant de Y, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'interdépendance entre X et Y (dans le cas présent : la masse est dépendante de la taille, mais la taille ne dépend pas de la masse), et 6) il n'y a pas d'erreur dans la mesure de X, de sorte que la distance à la droite de régression ne dépende que de Y. Green considère que ces conditions sont rarement et difficilement remplies dans le cadre du calcul d'indices de condition corporelle (Green, 2001).

La méthode des moindres carrés ordinaire serait aussi très sensible aux erreurs de mesure de taille (Peig & Green, 2009). Les régressions de type II suivant les méthodes *Reduced Major Axis*, aussi appelé *Standard Major Axis* (SMA) et *Major Axis* prennent en compte que des erreurs dans la mesure de X sont possibles et devraient donc être préférés selon Green (2001). Smith considère en revanche que baser le choix de la méthode SMA sur la seule présence d'erreurs au sein de la variable X n'est pas idéal. Il s'attache plutôt à la présence ou non d'une relation symétrique entre X et Y; si la relation est dissymétrique, par exemple quand une des variables est fixée par l'expérimentateur et que les variations de la variable réponse sont mesurées, il favorise l'emploi de la méthode des moindres carrés ordinaires. Si la relation est symétrique, comme lorsqu'on effectue deux mesures sans variable fixe et que les erreurs de mesure sont possibles ou similaires pour les deux variables, il favorise celui de la méthode SMA (Smith, 2009).

En pratique, l'utilisation des résidus de régressions par la méthode des moindres carrés ordinaire se heurte aussi à des problèmes. Par exemple, les R_i sont plus

représentatifs de la masse maigre que de la quantité de matière adipeuse chez cinq espèces de rongeurs, et ne sont donc pas un indice suffisant de leur condition corporelle (Schulte-Hostedde et al., 2001). Par ailleurs, les résidus issus d'une régression par la méthode des moindres carrés ordinaire sont biaisés en faveur des animaux les plus grands car cette méthode sous-estime le coefficient directeur de la pente reliant la masse et le taille (Peig & Green, 2009, 2010).

Malgré ces critiques, la méthode de régression des moindres carrés ordinaire s'est avérée plus précise que la méthode SMA dans une étude d'état de condition corporelle sur des oiseaux et des études sur les rongeurs (Ardia, 2005). D'autres auteurs ont aussi montré grâce à la modélisation de plusieurs situations que les régressions basées sur les méthodes MA et SMA produisent plus de faux résultats que celles basées sur la méthode des moindres carrés ordinaire (Schulte-Hostedde et al., 2005).

L'absence de consensus quant à la méthode à privilégier, et les potentielles failles de certaines méthodes ont conduit Peig et Green à concevoir un nouvel indice de condition corporelle : l'indice de masse mise à l'échelle (\hat{M}_i Scaled mass index). Les paragraphes suivants présentent une description de l'indice de masse mise à l'échelle.

e) Indice de masse mise à l'échelle

Une nouvelle méthode de calcul d'indice de condition corporelle a récemment été proposée par Peig et Green (Peig & Green, 2009). Cette méthode est en partie basée sur l'observation que les indices de condition corporelle existants ne prennent pas en compte la croissance allométrique des animaux dans leurs calculs. En résumé, la méthode que ces auteurs recommandent suit les étapes suivantes :

- 1) Vérifier si des valeurs extrêmes sont présentes et sont susceptibles d'infléchir les résultats de la régression du logarithme de la masse en fonction de celui de la taille.
- 2) Estimer le coefficient de régression b_{SMA} avec un modèle de régression linéaire. La méthode la plus adaptée est la méthode « *Standard Major Axis* » (Smith, 2009; Warton et al., 2006)
- 3) Calculer l'indice de masse mise à l'échelle pour chaque individu avec la formule suivante :

$$\text{Indice de masse mise à l' échelle: } \hat{M}_i = M_i \left[\frac{L_0}{L_i} \right]^{b_{SMA}}$$

où \hat{M}_i représente l'indice de masse mise à l'échelle, M_i est la masse de l'individu, L_i est la taille de l'individu, L_0 est une valeur arbitraire de taille, par exemple la moyenne des tailles et b_{SMA} est le coefficient allométrique, estimé à l'étape précédente.

Comme les quantités de tissu adipeux ou d'autres constituants de l'organisme sont le plus souvent corrélées avec la taille des animaux, les auteurs recommandent d'appliquer le même type de transformation pour les autres mesures telles que les masses de tissus adipeux ou de muscle (Peig & Green, 2009). Dans le cas des bélugas, outre la masse, plusieurs mesures morphométriques présentent le potentiel de se substituer à la masse pour le calcul d'indices de condition corporels alternatifs. Il s'agit des mesures d'épaisseurs de tissu adipeux axillaire dorsal, latéral et ventral, des mesures de circonférence axillaire, maximale et anale, et enfin, de masse des muscles épaxiaux.

Peig et Green expliquent que l'indice de masse mise à l'échelle permet de s'émanciper de l'effet de covariance entre la taille et la masse, et permet donc de prendre en compte la croissance différentielle des différents tissus testés en fonction de la taille. (Peig & Green, 2009). La mise à l'échelle de la masse revient à extrapoler la masse attribuable à chaque individu s'il mesurait une taille fixe.

2.4.4. Les limites des indices de condition corporelle

a) Manque de validation

L'utilisation d'indices de condition corporelle non validés a été critiquée par Schamber et al. Ces auteurs ont démontré que plusieurs indices, incluant des indices calculés selon la méthode des moindres carrés ordinaire à partir de différentes mesures morphologiques, donnaient moins ou autant d'information sur la composition lipidique et protéique de plusieurs espèces d'anatidés que la masse prise seule (Schamber et al., 2008). Ils ont aussi montré qu'il n'y avait pas d'indice universellement acceptable, et qu'il convenait donc de vérifier la validité de chacun, espèce par espèce.

b) Valeurs de référence

Établir les valeurs de référence d'un indice de condition corporelle suppose qu'on travaille avec un échantillon représentatif de la population, et en particulier, un échantillon « sain ». Le calcul d'un indice de condition corporelle à partir d'une population d'animaux collectés morts ne permet pas de définir de valeurs de référence puisqu'on travaille avec des animaux ayant possiblement été affectés par une maladie.

Parmi les animaux collectés morts, ceux qui sont morts de façon aiguë, par exemple à la chasse ou suite à des traumatismes, ont un meilleur potentiel d'être représentatifs de la population générale.

Concernant les bélugas, ceux du Saint-Laurent ne sont plus chassés. En revanche, une étude présentant des données de taille et de masse de bélugas chassés dans l'Arctique est disponible (Doidge, 1990b).

c) Analyses de covariance

Certaines études utilisent les indices de condition corporelle pour analyser l'influence de variables environnementales ou d'autres variables nominales sur la condition corporelle. L'indice de condition corporelle constitue alors un intermédiaire dans les calculs, et il est souvent préférable d'effectuer des analyses de covariance entre les variables constitutives de l'indice et celles à tester, puisqu'elle s'affranchit du risque que l'indice calculé soit inadéquat (García-Berthou, 2001; Peig & Green, 2010). Suivant la même logique, utiliser les mesures morphologiques dans des modèles de régression multiple est préférable à l'utilisation d'un indice de condition corporelle (Smith, 1999).

2.4.5. Conclusion

En résumé, les indices de condition corporelle peuvent s'avérer être des outils intéressants pour l'évaluation de la santé des animaux, même s'il convient de rester critique sur leur validité et leur utilisation. Leur importance en biologie des animaux terrestres aussi bien qu'aquatiques est indéniable. La partie suivante s'intéressera à rapporter les particularités et les méthodes de l'évaluation de la condition corporelle chez les mammifères marins.

2.5. Mesures de condition corporelle chez les mammifères marins

La mesure de la condition corporelle chez les mammifères marins ne suit pas une méthode unique et consensuelle. De nombreux auteurs utilisent des méthodes différentes et de complexité variable.

2.5.1. Épaisseur de pannicule adipeux et mesures directes

L'observation de variations d'épaisseur du pannicule adipeux en fonction de l'état de condition corporelle a mené à l'utilisation de mesures d'épaisseur de tissu adipeux en tant qu'indices de condition corporelle dans de nombreuses études sur les cétacés, y compris sur des bélugas en captivité (Aguilar & Borrell, 1990; Konishi, 2006; Mazzaro et al., 2011; Miller et al., 2011).

Pour maximiser l'information relative à la condition corporelle qu'il est possible de déduire d'une mesure de tissu adipeux chez les mammifères marins, il est conseillé de mesurer l'épaisseur du pannicule là où ses variations physiologiques sont les plus marquées (Beck & Smith, 1995).

Cela étant dit, l'utilisation de l'épaisseur du tissu adipeux comme mesure de condition corporelle est fragilisée par le fait que la teneur en lipides du pannicule adipeux varie indépendamment de son épaisseur chez plusieurs espèces (Dunkin et al., 2005; Gómez-Campos et al., 2011).

Des études sur les baleines grises (*Eschrichtius robustus*) et les dauphins de la Plata (*Pontoporia blainvillei*) ont montré que les mesures de circonférences étaient plus fiables que les mesures d'épaisseurs de tissus adipeux, probablement parce qu'elles tiennent compte du catabolisme adipeux et protéique de tous les organes, et non de l'hypoderme uniquement, et parce que lors de la réduction de la circonférence, il y a une réduction de la surface corporelle, ce qui peut faire tendre vers une augmentation relative l'épaisseur de gras mesurée (Caon, Fialho, & Danilewicz, 2007; Rice & Wolman, 1971).

L'utilisation de circonférences comme indices de condition corporelle a aussi été proposée chez les bélugas sauvages (Doidge, 1990a), puis mis en application chez des bélugas en captivité (Mazzaro et al., 2011).

2.5.2. Indices tirés de calculs

Il n'existe pas de méthode unanimement reconnue et valide pour calculer un indice d'état de condition corporelle chez les mammifères marins. Les auteurs de différentes études ont utilisé des méthodes diverses.

On retrouve là aussi l'utilisation de fraction, par exemple dans l'étude de Konishi, qui a déterminé que la fraction de l'épaisseur du pannicule sur le rayon corporel (circonférence divisée par 2π) était bien corrélée avec la masse totale du pannicule adipeux chez des petits rorquals de l'Antarctique (*Balaenoptera bonaerensis*) (Konishi, 2006). D'autre part, le rapport de la masse sur la taille a été utilisé comme indice de condition corporelle dans plusieurs études sur les otaries de Kerguelen (*Arctocephalus gazella*) (Arnould, 1995; Boyd & McCann, 1989; Lunn & Boyd, 1993).

Un autre indice de condition corporelle a été proposé pour quelques espèces de phoques et d'otaries. Cet indice correspond à une estimation de la proportion de la masse de pannicule adipeux par rapport à la masse totale (%b), et est calculé à partir de la longueur (L), de la masse (M), et d'une épaisseur de tissu adipeux (d) selon une formule de type (Nilssen, Haug, Grotnes, & Potelov, 1997; Pitcher, Calkins, & Pendleton, 2000; Ryg, Lydersen, Markussen, Smith, & Øritsland, 1990) :

$$\%b = a + b \times (L/M)^{1/2} \times d$$

L'utilisation des résidus de régression a aussi été proposée à plusieurs reprises. Chez les marsouins communs, les résidus de régression de plusieurs mesures par rapport à la taille de l'animal ont été comparés. Les résidus calculés à partir de l'épaisseur du pannicule adipeux sternal et de la circonférence (antérieure à la nageoire dorsale) se sont révélés être peu corrélés avec ceux calculés grâce de la masse totale du pannicule adipeux, qui étaient considérés comme la mesure la plus fiable (Read, 1990).

Chez les dauphins blancs et bleus (*Stenella coeruleoalba*), plusieurs variables ayant un potentiel pour être des indices de condition corporelle ont été comparées. Il

s'agissait de 1) la teneur en lipides du pannicule adipeux, 2) la masse lipidique du pannicule du tronc (teneur en lipides du pannicule multipliée par la masse totale du pannicule du tronc de l'animal), 3) le rapport de la masse des muscles épaxiaux sur la masse du pannicule adipeux, 4) la circonférence maximale, 5) l'épaisseur du pannicule adipeux. Ces cinq variables étant corrélées à la taille, les résidus de leur régression en rapport à la taille ont été testés comme indices de condition corporelle. L'indice le plus approprié pour détecter les changements de condition corporelle reliés aux différents états physiologiques des dauphins blancs et bleus s'est avéré être celui dérivé de la masse lipidique du pannicule du tronc (Gómez-Campos et al., 2011). Par ailleurs, dans cette étude, les animaux ayant un statut physiologique associé à une plus forte demande énergétique et une moins bonne condition corporelle ne présentaient pas de fonte musculaire détectable (Gómez-Campos et al., 2011).

Enfin, la régression de la masse en fonction de la taille de grands dauphins a permis de générer des courbes de masses minimales en fonction de la taille, dans le but de pouvoir juger de la condition corporelle de dauphins captifs (Ridgway & Fenner, 1982).

2.5.3. Évaluation visuelle

La condition corporelle de baleines franches de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*) a été évaluée visuellement à partir de banques de photographies. Les réserves d'énergies ont été notées sur une échelle de 1 à 3 en jugeant de la morphologie de la région cervicale des baleines. Les baleines cachectiques présentent une région cervicale concave, tandis que les animaux en meilleur état présentent une région cervicale plane à convexe (Pettis et al., 2004).

Des études sur la condition corporelle de baleines grises ont utilisé une méthode visuelle similaire, basée sur la notation de trois régions du corps présentant des changements morphologiques lors de l'amaigrissement : la région post-crâniale, la région épaxiale et la région en regard de l'omoplate (Bradford et al., 2012; Bradford, Weller, Ivashchenko, Burdin, & Brownell, 2008).

L'évaluation actuelle de la condition corporelle des bélugas du Saint-Laurent, telle qu'elle est réalisée en nécropsie est une évaluation visuelle. Elle permet de classer les animaux dans des catégories telles que « émacié », « maigre », « en bonne condition », « en excellente condition ». Ces qualificatifs divisent les animaux en groupe, sur la base de l'évaluation d'un paramètre, la condition corporelle, qui est en fait un continuum d'états. Une variable continue représenterait donc plus précisément la condition corporelle.

Conclusion : Les méthodes d'évaluation de la condition corporelle employées chez les animaux en général, et les mammifères marins en particulier sont très variables en fonction des études. Il n'y a pas de consensus sur la méthode à employer.

3.Objectifs de l'étude

L'étude vise à mettre en place une méthode quantitative et objective d'évaluation de la condition corporelle des carcasses de bélugas du Saint-Laurent. Le premier objectif est de développer un indice de masse mise à l'échelle selon les recommandations de Peig et Green (2009).

Le deuxième objectif vise à juger de la cohérence de ce nouvel indice de condition corporelle en le comparant aux résultats d'évaluation visuelle de la condition corporelle par les pathologistes, qui est la méthode actuelle. Cette comparaison sera précédée par la mise en place d'une échelle visuelle analogique permettant de transcrire les évaluations visuelles en variables numériques utilisables pour le test de corrélation, et par des mesures d'accord intra- et inter-observateur de ces variables numériques.

Le troisième objectif est de développer des indices alternatifs en mettant d'autres données morphométriques à l'échelle pour la taille, puis de les comparer à l'indice de masse mise à l'échelle.

Enfin, le dernier objectif est d'appliquer la méthode de calcul de l'indice de masse mise à l'échelle à des données récoltées sur des bélugas chassés dans l'Arctique, afin de déterminer des valeurs d'indice pour des animaux « non malades », et de proposer des valeurs de référence.

4. Matériel et méthodes

4.1. Sources et collecte des données

4.1.1. Animaux étudiés et source des données

Les animaux inclus dans les trois premières parties de l'étude (indice de masse mise à l'échelle, échelle visuelle analogique, indices alternatifs) sont des bélugas trouvés morts dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Les données morphologiques utilisées sont issues des mesures prises lors des nécropsies de ces carcasses, dans le cadre du programme de suivi des mortalités des bélugas. Entre 1982 et juillet 2012, 450 carcasses de béluga ont été recensées et 216 de ces carcasses ont fait l'objet d'une nécropsie complète à la Faculté de médecine vétérinaire.

Des photographies archivées ont été utilisées de manière rétrospective pour l'évaluation de la condition corporelle. Les photographies proviennent des nécropsies des dernières années. Les photographies standards sont disponibles pour la majorité des bélugas depuis 2008. D'autres sont disponibles pour certains animaux à partir de 2003.

Les animaux inclus dans la dernière partie de l'étude sont des bélugas chassés lors de chasses de subsistance dans l'Arctique, et dont les poids et tailles ont été rapportés dans la littérature (Doidge, 1990b).

4.1.2. Données collectées lors de la nécropsie

Les nécropsies des carcasses de bélugas suivent un protocole standardisé. Bien que le protocole ait légèrement évolué au fil du temps, il est resté basé sur les mêmes procédures. Le protocole actuel est détaillé en annexe. La description qui suit présente la collecte des données utilisées pour l'étude de la condition corporelle.

Chaque carcasse de béluga est pesée à l'arrivée à l'aide d'une balance assujettie à un treuil. Le sexe de l'animal est noté.

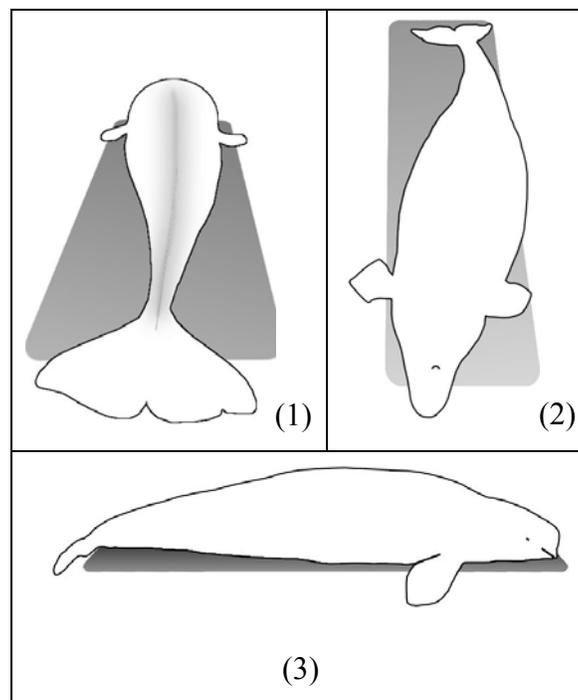
Une des séries de photographies prises en début de nécropsie sert à évaluer visuellement et qualitativement la condition corporelle de l'animal. Il s'agit de photographies qui permettent de juger de la rondeur générale de l'animal, de l'aspect

concave ou convexe de sa musculature épaxiale, et de la présence ou non d'une réduction du diamètre corporel à hauteur du cou (tableau 1, figure 1).

Tableau 1 : Liste des photographies destinées à évaluer la condition corporelle des carcasses de bélugas (béluga en décubitus sternal sur la table de nécropsie).

Photographies destinées à l'évaluation de la condition corporelle	Numéro associé sur la figure 1
Vues caudo-crânielles	(1)
Vues larges du côté droit	(3)
Vues larges du côté gauche	
Vues larges depuis la passerelle	(2)

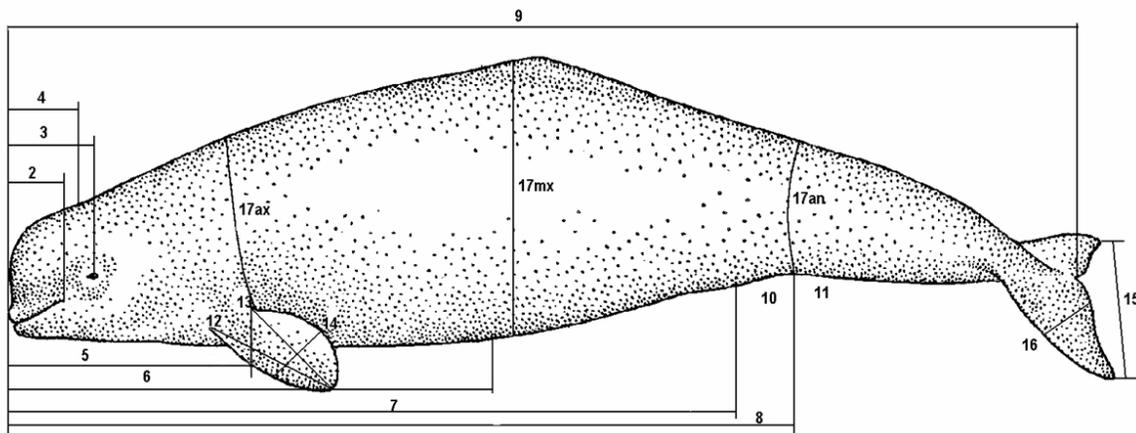
Figure 1 : Diagramme représentant les photographies destinées à évaluer la condition corporelle des carcasses de bélugas.



Les photographies utilisées pour l'évaluation de la condition corporelle sont prises sous 3 angles différents permettant d'apprécier la rondeur générale, la concavité ou convexité des muscles épaxiaux et de la région cervicale.

L'examen externe comprend l'enregistrement d'une série de mesures morphométriques standards. Les mesures qui nous intéressent tout particulièrement sont la taille totale (du rostre à l'encoche de la nageoire caudale, figure 2 - mesure numéro 9), les demi-circonférences axillaire, maximale et à hauteur de l'anus (figure 2 – mesures 17ax, 17mx, 17an), ainsi que les épaisseurs de tissu adipeux axillaires dorsale, latérale et ventrale. La mesure de l'épaisseur du tissu adipeux, dans ce protocole, exclut l'épaisseur de la peau. Ces mesures sont effectuées entre la jonction du tissu adipeux et des muscles peauciers et la limite entre le derme blanc et fibreux et l'hypoderme graisseux.

Figure 2 : Schéma des mesures morphométriques collectées lors des nécropsies de bélugas.



Les mesures d'intérêt pour l'étude sont la longueur totale (9) et les circonférences (17ax, 17mx, 17an). Source : protocole de nécropsie des bélugas – auteur inconnu.

Au cours de cette étape, un échantillon standard de peau avec pannicule de 15cm² est prélevé et pesé. La peau est ensuite séparée du gras, et ces deux composants sont pesés séparément. D'autres échantillons sont prélevés pour divers projets de recherche.

Plus tard durant la nécropsie, les muscles épaxiaux situés sur le côté le plus accessible, entre les vertèbres lombaires 1 et 12 (inclus), sont extraits de la carcasse et pesés. Ces muscles sont composés de la masse musculaire située latéralement aux apophyses épineuses et dorsalement aux apophyses transverses (un côté).

À l'examen des organes génitaux, le statut reproducteur des femelles et la présence éventuelle de fœtus sont notés.

4.2. Création d'un indice de masse mise à l'échelle

4.2.1. Données utilisées

Pour calculer un indice de condition corporelle, au moins deux mesures sont nécessaires. Dans le cas présent, la mesure morphologique ne variant pas avec la condition corporelle est la taille de la carcasse, mesurée du rostre à l'encoche de la caudale.

La mesure variant avec la condition corporelle est la masse. Chez le béluga, qui digère très rapidement ses aliments, il est raisonnable de considérer que le bol alimentaire a une influence négligeable sur la masse totale (Lesage & Kingsley, 1995).

La part de la masse attribuable aux organes reproducteurs et au fœtus est variable en fonction du stade de gestation. Étant donné la difficulté de prendre en compte ces informations, nous avons essayé de déterminer si l'inclusion ou l'exclusion des données des femelles gestantes changeait les résultats des calculs d'indice de condition corporelle.

4.2.2. Construction d'un indice de condition corporelle

Nous avons choisi de suivre la méthode de calcul d'un indice de masse mise à l'échelle proposée par Peig et Green (Peig & Green, 2009).

En biologie, la taille et la masse sont le plus souvent exponentiellement reliées :

$$Masse = a(Taille)^b$$

Où a et b sont des constantes. Nous avons donc transformé les variables de masse et de taille vers leur logarithme, pour transformer cette relation en relation affine :

$$\ln(Masse) = \ln(a) + b \times \ln(Taille)$$

Dans un premier temps, une régression linéaire suivant la méthode des moindres carrés a été effectuée et ses conditions d'application (linéarité, distribution normale et homoscedasticité des résidus) ont été vérifiées. Ces vérifications ont pris en compte une évaluation graphique et des indicateurs formels de validité des modèles (R, procédure gvlma; Pena & Slate, 2006). Nous avons par ailleurs cherché visuellement si des valeurs aberrantes ou extrêmes susceptibles d'influer sur la régression étaient présentes (diagramme quantile-quantile, graphique des résidus standardisés de Pearson en fonction de l'influence (leverage) présentant les distances de Cook). Les valeurs aberrantes

vraisemblablement issues d'erreurs ont été exclues. Les valeurs extrêmes très influentes ont été exclues (modification de plus de 15% du coefficient de régression). En cas de non respect des conditions d'application de la régression pour la population entière, nous avons prévu d'évaluer si différents groupes basés sur des intervalles de taille (aussi liée à l'âge) déterminés graphiquement répondaient différemment à l'analyse.

Le coefficient de régression b a ensuite été estimé grâce à une régression selon la méthode « *Standard Major Axis* » (Smith, 2009; Warton et al., 2006).

Pour chaque individu, nous avons enfin calculé l'indice de masse mise à l'échelle avec la formule suivante :

$$\text{Indice de masse mise à l'échelle: } \hat{M}_i = M_i \left[\frac{L_0}{L_i} \right]^{b_{SMA}}$$

où \hat{M}_i représente l'indice de masse mise à l'échelle, M_i est la masse de l'individu, L_i est la taille de l'individu, L_0 est une valeur arbitraire de taille, ici, la moyenne des tailles du groupe de taille et b_{SMA} est le coefficient allométrique, estimé à l'étape précédente pour chaque groupe de taille.

4.3. Développement d'une échelle visuelle analogique

4.3.1. Échelle visuelle analogique

La condition corporelle varie selon un gradient d'états dont la représentation la plus précise serait une variable continue. Pour obtenir une variable continue à partir d'une évaluation visuelle, nous avons choisi d'utiliser une échelle visuelle analogique. Une échelle visuelle analogique est constituée d'une barre représentant un gradient entre deux extrêmes, et d'un curseur. Le placement du curseur permet de transcrire une perception en note numérique, et donc en « mesure ».

Dans la mesure des images disponibles, les photographies utilisées pour chaque animal sont les suivantes : 1) une vue générale du dessus de l'animal (point de vue en plongée), 2) une vue caudale selon un axe horizontal, 3) une vue d'ensemble latérale. Les deux premiers angles de vue permettent essentiellement d'évaluer la forme de la région épaxiale, tandis que la troisième photographie vise particulièrement à évaluer la région du cou (Figures 3a, 3b et 3c).

Figure 3 : Exemples de photographies destinées à évaluer la condition corporelle d'une carcasse de béluga.



a : vue caudo-crâniale; b : vue en plongée depuis la passerelle de la salle de nécropsie; c : vue latérale.

Dans un premier temps, les photographies ont été examinées pour identifier l'animal semblant le plus émacié, et celui en meilleure condition corporelle. Ces photographies ont été utilisées comme exemples d'extrêmes de bonne et de mauvaise condition corporelle.

L'échelle visuelle analogique a été développée à partir d'un générateur d'échelles visuelles en ligne¹ (Reips & Funke, 2008). Cet outil permet de créer une échelle d'évaluation informatisée transcrivant automatiquement le placement du curseur en note.

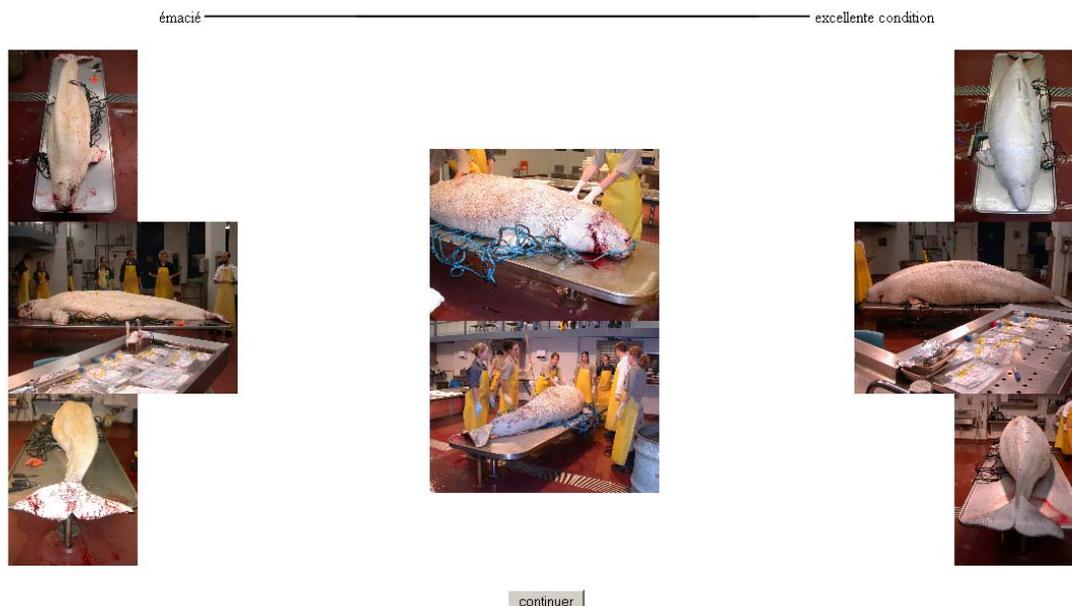
Nous avons choisi d'utiliser une échelle à 1000 points, ce qui permet d'assimiler la note obtenue à une variable continue et de limiter le nombre d'ex æquo.

Les fichiers ont ensuite été adaptés au projet d'évaluation de la condition corporelle de bélugas. Dans un premier temps, une base de données MySQL a été créée. Elle accueille d'une part les informations sur les bélugas à évaluer, telles que leur numéro d'identification et la liste des photographies associées à chaque animal. D'autre part, la base de données est conçue pour recueillir les résultats de l'évaluation des bélugas, en enregistrant à chaque fois l'évaluateur, la note attribuée à chaque béluga, le numéro d'identification de l'animal, ainsi que la date.

Une page du module affichant l'échelle visuelle analogique telle qu'utilisée par les évaluateurs est présentée à la figure 4.

¹ <http://www.vasgenerator.net/>

Figure 4 : Échelle visuelle analogique destinée à l'évaluation de la condition corporelle des bélugas à partir de photographies.



Les trois photographies de gauche représentent la borne inférieure, c'est-à-dire l'animal le plus émacié de la série de photographies. Les trois photographies de droite, à la borne supérieure, sont des photographies de l'animal en meilleur état de condition corporelle. Les photographies du centre sont les photos à évaluer. La barre noire en haut, encadrée par les termes « émacié » et « excellente condition » est l'échelle visuelle analogique à proprement parler, sur laquelle l'évaluateur place un curseur. Le bouton « continuer », en bas, permet de sauvegarder la notation et de passer à la série de photographies suivante.

Trois vétérinaires habitués aux nécropsies de bélugas ont évalué visuellement de la condition corporelle à partir des photographies. Chacun des évaluateurs a travaillé séparément pour évaluer la condition corporelle pour tous les bélugas sélectionnés.

Après un délai d'au moins 14 jours, les trois intervenants ont à nouveau réalisé d'évaluation de tous les bélugas.

4.3.2. Échelle visuelle analogique : statistiques

Les accords entre les deux notations par chaque évaluateur ont été comparés qualitativement à partir de diagrammes de Bland-Altman (Bland & Altman, 1986) et quantitativement à l'aide du coefficient de corrélation de concordance (Lin, 1989, 2000).

La moyenne des deux notes de chaque béluga pour un observateur donné a ensuite été utilisée pour comparer l'accord inter-observateur selon la même méthode.

Pour chaque béluga, la moyenne des notes d'évaluation visuelle a été utilisée pour la comparaison avec l'indice de masse mise à l'échelle. La corrélation a été examinée visuellement à partir d'un nuage de points, et elle a été testée grâce au test de corrélation de Spearman.

4.4. Construction d'indices de condition corporelle alternatifs

Les épaisseurs de tissu adipeux axillaire dorsal, latéral et ventral, les mesures de circonférence axillaire, maximale et anale, et la masse des muscles épaxiaux ont été utilisées pour établir des indices mis à l'échelle relativement à la taille, suivant la même méthode que pour le calcul de l'indice de masse mise à l'échelle (Peig & Green, 2009). Pour chaque variable, une régression linéaire suivant la méthode des moindres carrés a été effectuée et ses conditions d'application (linéarité, distribution normale et homoscedasticité des résidus) ont été vérifiées. Ces vérifications ont pris en compte une évaluation graphique et des indicateurs formels de validité des modèles (R, procédure *gvlma*; Pena & Slate, 2006). Nous avons par ailleurs cherché visuellement si des valeurs aberrantes ou extrêmes susceptibles d'influer sur la régression étaient présentes (diagramme quantile-quantile, graphique des résidus standardisés de Pearson en fonction de l'influence (leverage) présentant les distances de Cook). Les valeurs aberrantes vraisemblablement issues d'erreurs ont été exclues. Les valeurs extrêmes très influentes ont été exclues (modification de plus de 15% du coefficient de régression). Les groupes utilisés pour les analyses étaient les mêmes que ceux définis pour l'indice de masse mise à l'échelle.

Le coefficient de régression b a ensuite été estimé pour chaque variable grâce à une régression selon la méthode « *Standard Major Axis* » (Smith, 2009; Warton et al., 2006).

Pour chaque individu, nous avons enfin calculé l'indice mis à l'échelle avec la formule suivante :

$$\text{Indice mis à l'échelle}_i = V_i \left[\frac{L_0}{L_i} \right]^{b_{SMA}}$$

où V_i est la valeur de la variable pour l'individu, L_i est la taille de l'individu, L_0 est la moyenne des tailles du groupe de taille et b_{SMA} est le coefficient allométrique, estimé à l'étape précédente pour chaque groupe de taille.

Ces différents indices ont ensuite été comparés à l'indice de masse mise à l'échelle grâce à des tests de corrélation de Spearman, afin de déterminer s'ils pourraient se substituer à l'indice de masse mise à l'échelle.

4.5. Application du calcul de l'indice de masse mise à l'échelle à une population « de référence »

Les données de taille et de masse de bélugas de l'Arctique tués à la chasse ont été utilisées pour établir des valeurs de masse mise à l'échelle pour cette population (Doidge, 1990b). Les valeurs de taille moyenne et de b_{SMA} de la population de bélugas du Saint-Laurent échoués ont été utilisées dans les calculs afin que les indices de condition corporelle calculés soient sur la même échelle. Dans la mesure du possible, des valeurs de référence ont été établies en suivant les recommandations de l'*American Society for Veterinary Clinical Pathology* (Friedrichs, Harr, Freeman, Szladovits, Walton, Banhart & Blanco-Chavez, 2012). En bref, seuls les groupes contenant plus de 20 individus ont permis l'obtention de valeurs de référence. Une estimation et un intervalle de confiance (BCa) à 90% des percentiles 2,5% et 97,5% ont ensuite été obtenus par une procédure de *bootstrapping* comprenant 1000 itérations (R, package boot, procédure boot).

4.6. *Calculs et analyses statistiques*

Les calculs, les analyses graphiques et les tests statistiques ont tous été réalisés dans le logiciel R version 3.0.1 (R Development Core Team, 2009). Les tests ont été considérés statistiquement significatifs pour une valeur de $p < 0,05$.

5. Résultats

5.1. Description des données disponibles

La base de données utilisée contient des informations concernant 475 carcasses de bélugas. La taille est disponible pour 350 de ces animaux, et la masse pour 191 d'entre eux. Treize femelles étaient classées comme gestantes, et les données de taille et de masse étaient disponibles pour 10 d'entre elles. Les statistiques descriptives de la taille et de la masse en fonction de la classe de taille (bélugas de taille inférieure ou supérieure à 290 cm) sont présentées dans les tableaux 2 et 3. On remarque que la variabilité de la masse, telle que mesurée par l'écart-type, est différente en fonction des classes de taille.

Tableau 2 : Statistiques descriptives de la masse des carcasses de bélugas en kilogrammes en fonction de la classe de taille (bélugas de taille inférieure ou supérieure à 290 cm).

	Masse (kg)					Nombre
	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Écart-type	
<290 cm	148,7	124,1	33,4	381	106,2	35
>290 cm	788,4	787,6	284,1	1368	240,1	156
Total	671,2	707	33,4	1368	332,6	191

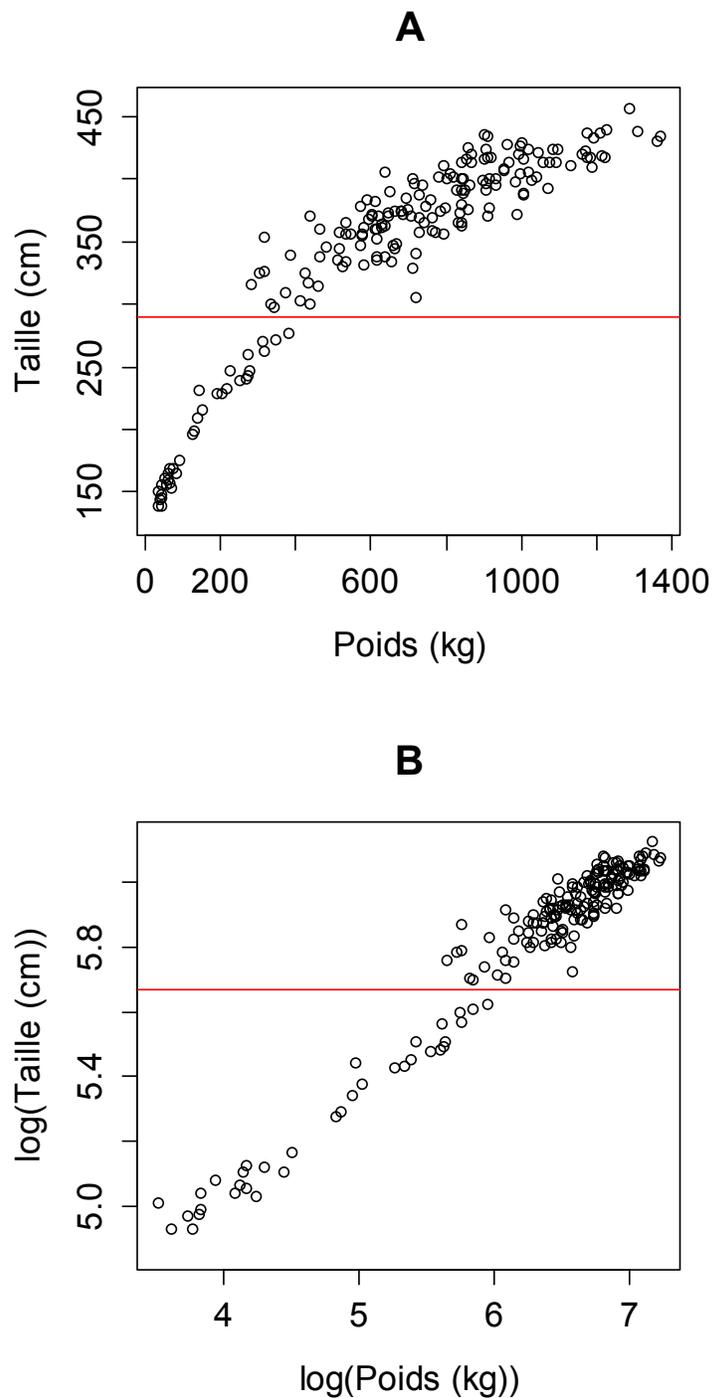
Tableau 3 : Statistiques descriptives de la taille des carcasses de bélugas en centimètres en fonction de la classe de taille (bélugas de taille inférieure ou supérieure à 290 cm)..

	Taille (cm)					Nombre
	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Écart-type	
<290 cm	188,2	165	129	290	47,1	71
>290 cm	382,6	381	298	460	36,8	279
Total	343,2	369,5	129	460	87,5	350

La figure 5A présente la taille (en ordonnée) en fonction de la masse (en abscisse) des carcasses de bélugas examinées en nécropsie à la Faculté de médecine vétérinaire. La figure 5B présente les mêmes données élevées au logarithme, telles qu'utilisées pour les régressions linéaires. On observe une tendance générale d'augmentation conjuguée de la taille et de la masse, avec des variations individuelles (figure 5). Ces variations ne semblent pas homogènes puisqu'on observe que les individus petits et légers ont une variabilité moindre. Lors de la régression linéaire, ceci s'est transcrit par une distribution platykurtique, non normale, des résidus (présence de trop de résidus proches de 0). Il est donc impossible de calculer un coefficient de régression unique pour tous les bélugas. Cela nous a donc conduits à construire deux groupes d'animaux en fonction de leur taille. La limite entre ces deux groupes à été choisie graphiquement de sorte à séparer les animaux en groupes de variance apparemment similaire, et placée à 290 cm (figure 5, droite horizontale).

Deux groupes d'animaux ont été considérés pour la suite des analyses : ceux de moins de 290 cm et ceux de plus de 290 cm.

Figure 5 : Relation entre la taille et la masse des bélugas du Saint-Laurent évalués en nécropsie (A) et leurs logarithmes (B).



La droite rouge correspond à une taille de 290 cm en A et $\log(290 \text{ cm})$ en B, le seuil pour définissant deux groupes d'animaux.

5.2. Détermination du coefficient b_{SMA}

Quand la population des bélugas du Saint-Laurent échoués est prise dans son ensemble, les prérequis nécessaires à la régression linéaire entre les logarithmes de la masse et de la taille ne sont pas respectés (Global Validation of Linear Model Assumptions [GVLMA] : $p=0,005$). Par conséquent, il n'est pas possible d'obtenir une valeur unique du coefficient b_{SMA} pour l'ensemble des animaux.

L'analyse des données concernant les animaux de moins de 290 cm a permis d'établir la valeur de la pente b_{SMA} : 3,3 (intervalle de confiance à 95% = [3,1 ; 3,5]). Une valeur extrême a été décelée lors de la régression linéaire. Il s'agit des données concernant le béluga DL-2012-116. Cet individu exclu, les prérequis à la régression linéaire étaient respectés (GVLMA : $p=0,37$ – Modèle acceptable). Cela dit, la prise en compte ou non de ces valeurs extrêmes n'avait pas d'effet sur la valeur de la pente (moins de 2% de variation).

L'analyse des données concernant les animaux de plus de 290 cm a permis d'établir la valeur de la pente b_{SMA} : 3,5 (intervalle de confiance à 95% = [3,2 ; 3,8]). Les données concernant deux animaux, DL-2001-01 et DL-2011-03 représentaient des valeurs extrêmes. En l'absence de ces valeurs, les prérequis à la régression linéaire étaient respectés (GVLMA : $p=0,53$). En leur présence, les conditions n'étaient plus satisfaites (GVLMA : $p=0,005$). Cela dit, la prise en compte ou non de ces valeurs extrêmes n'avait pas d'effet sur la valeur de la pente (moins de 1% de variation). L'inclusion ou l'exclusion des données concernant les femelles gestantes ($n=10$) n'avait pas d'impact notable sur les analyses. Par conséquent, pour la suite des calculs, et sauf mention contraire, aucun individu n'a été exclu des calculs.

5.3. Description de l'indice de masse mise à l'échelle

La taille moyenne de chaque groupe de taille a été utilisée comme taille fixe. Elle était de 186,8 cm pour les bélugas mesurant moins de 290 cm et de 382,6 cm pour les autres. Les statistiques descriptives des indices de masse mise à l'échelle pour les deux groupes de taille de bélugas sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Statistiques descriptives de la masse mise à l'échelle pour la taille des carcasses de bélugas en kilogramme.

	Indice de masse mise à l'échelle (kg)					Nombre
	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Écart-type	
<290 cm	101,7	103,8	68,8	133,4	13,3	35
>290 cm	784,2	764	418,4	1569,7	147,2	156

L'indice de masse mise à l'échelle des bélugas de moins de 290 cm a une distribution proche de la loi normale (Test de normalité de Shapiro-Wilk : $p=0,53$). L'indice de masse mise à l'échelle des bélugas de plus de 290 cm ne suit pas la loi normale (Test de normalité de Shapiro-Wilk pour les animaux de plus de 290 cm : $p<0,001$). On note toutefois que l'écart à la loi normal repose sur une seule donnée, l'individu DL-2011-03, déjà identifié comme valeur extrême. Si sa présence n'influe pas sur les calculs de régression, elle intervient de manière plus marquée ici. En effet, si on applique le test de Shapiro-Wilk à l'indice de masse mise à l'échelle de l'ensemble des autres bélugas de plus de 290 cm, on obtient une valeur de p de 0,71. Les distributions des indices de masse mise à l'échelle sont présentées dans les figures 6 et 7.

Figure 6 : Distribution de la masse mise à l'échelle des carcasses de béluga de moins de 290 cm.

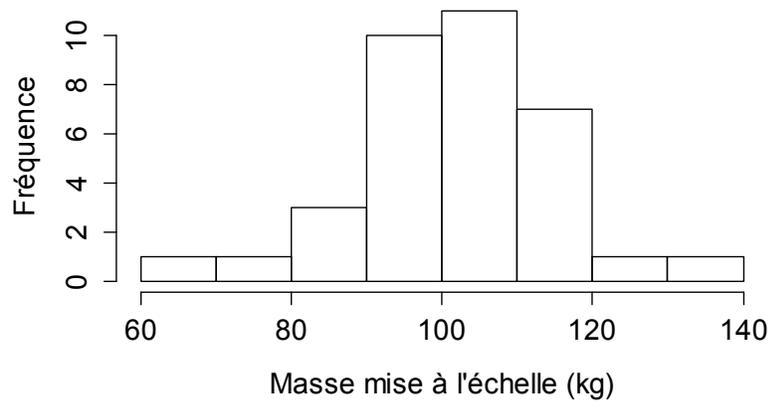
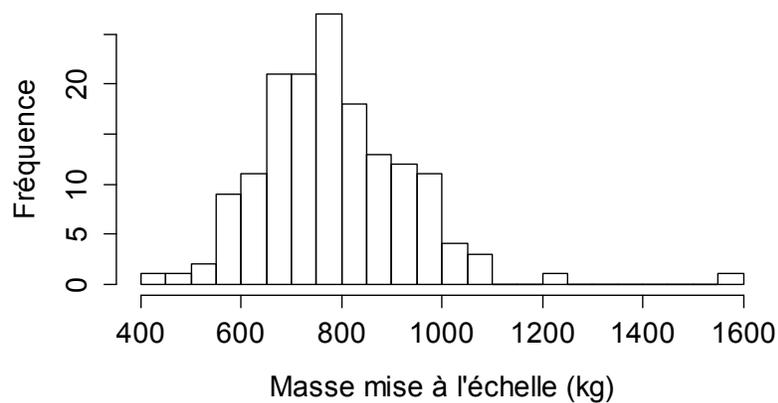


Figure 7 : Distribution de la masse mise à l'échelle des carcasses de béluga de plus de 290 cm.



La distribution des indices de masse mise à l'échelle suggère, qu'à taille comparable, les bélugas du Saint-Laurent présentent une grande variation de leur masse, allant du simple au double pour les petits individus, et du simple au triple pour les grands.

5.4. Évaluation visuelle de l'état de chair

5.4.1. Répétabilité de l'évaluation visuelle

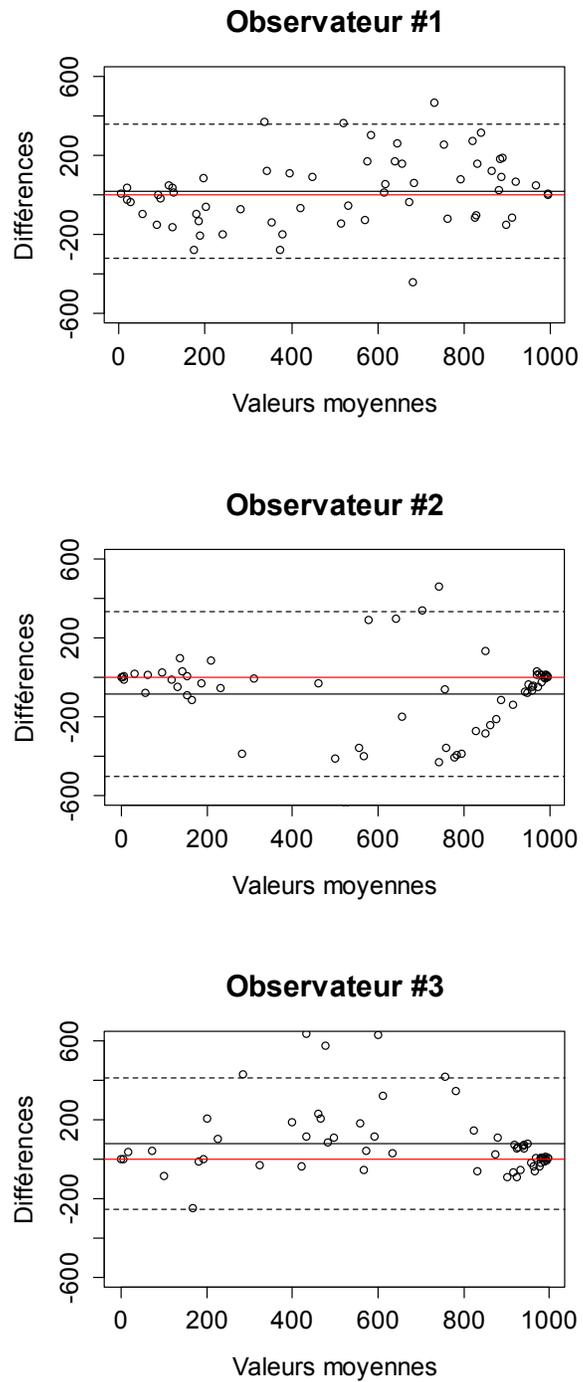
Les photographies de soixante-deux bélugas ont été évaluées à deux reprises par les trois évaluateurs. Les notes s'étalaient de 0 à 999 avec une moyenne de 593. Les coefficients de corrélation de concordance comparant les deux évaluations visuelles effectuées par chaque observateur sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Coefficient de corrélation de concordance (CCC) entre les deux évaluations de chaque observateur, avec son intervalle de confiance à 95% (IC95), et les valeurs de *scale shift*, *location shift* et du coefficient de corrélation de Pearson (*r*).

Observateur	CCC	IC95	Scale shift	Location shift	r
#1	0,86	0,78 0,91	0,86	-0,05	0,99
#2	0,82	0,71 0,88	1,04	0,24	0,97
#3	0,85	0,76 0,90	1,09	-0,23	0,97

Les diagrammes de Bland-Altman présentent la différence entre la première et la deuxième notation (ordonnée) en fonction de la moyenne de ces deux observations (abscisse). La droite pleine représente la moyenne des différences entre les deux séries de notations. Plus cette droite est proche de 0 (droite horizontale rouge) plus les deux séries d'observations sont similaires. Les droites en pointillés représentent les limites d'accord à 95%, (différence moyenne \pm 1,96 écarts-types de la différence). Les points en dehors de ces limites sont issus des notations les plus différentes. Les points proches de la droite centrale sont issus de notes similaires. Les trois diagrammes de Bland-Altman comparant les deux évaluations visuelles successives de chaque observateur présentent la même forme générale en fuseau, avec des extrémités affinées en comparaison au centre du nuage de points (figure 8).

Figure 8 : Diagrammes de Bland-Altman comparant deux évaluations visuelles successives de chaque observateur.



La droite noire représente la différence moyenne; la rouge, une ordonnée de zéro; les pointillées, les limites d'accord à 95%.

La différence entre les notes est donc faible pour les notes extrêmes, ce qui signifie que les observateurs font preuve de répétabilité dans leur notation des individus très maigres et en très bonne condition corporelle. La variabilité de la différence est plus importante pour les notes moyennes, indiquant que la répétabilité de l'observation visuelle est moindre pour les individus moyens.

5.4.2. Reproductibilité de l'évaluation visuelle

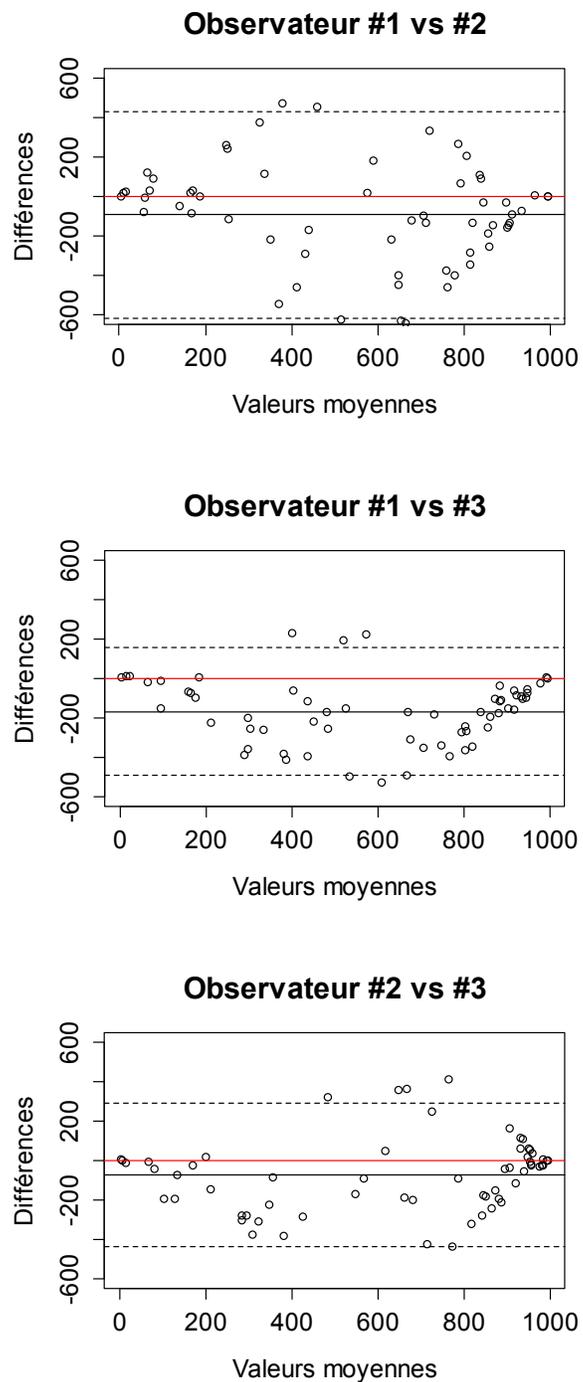
La moyenne des notes des deux évaluations visuelles de chaque observateur a été utilisée pour évaluer la reproductibilité de cette évaluation visuelle entre les évaluateurs. Les coefficients de corrélation de concordance issus des comparaisons entre observateurs sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Coefficient de corrélation de concordance (CCC) entre les moyennes des évaluations des observateurs comparés deux à deux, avec son intervalle de confiance à 95% (IC95), et les valeurs de *scale shift*, *location shift* et du coefficient de corrélation de Pearson (r).

Observateur	CCC	IC95	Scale shift	Location shift	r	
#1 vs #2	0,66	0,50	0,78	1,15	0,28	0,95
#1 vs #3	0,76	0,65	0,84	1,04	0,53	0,87
#2 vs #3	0,83	0,74	0,89	0,90	0,22	0,97

Les diagrammes de Bland-Altman comparant les notes attribuées par les différents observateurs montrent un phénomène similaire à celui décrit pour les comparaisons de notes attribuées par chaque observateur (figure 9).

Figure 9 : Diagrammes de Bland-Altman des évaluations visuelles comparant les observateurs.



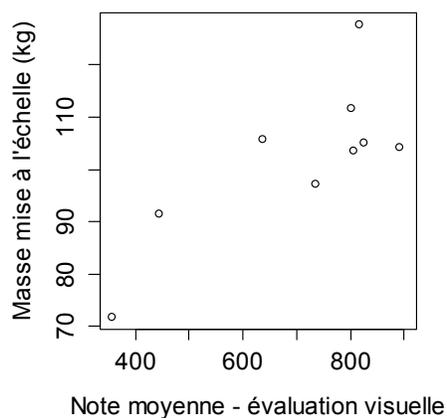
La droite noire représente la différence moyenne; la rouge, une ordonnée de zéro; les pointillées, les limites d'accord à 95%.

Les nuages de points ont une forme de fuseau, indiquant que l'accord entre les différents observateurs est meilleur lorsqu'il s'agit d'évaluer l'état de chair des animaux très maigres ou en très bonne condition. En conclusion, la reproductibilité comme la répétabilité de l'évaluation visuelle de l'état de chair sont très bonnes pour les bélugas très maigres et en très bonne condition corporelle.

5.5. Comparaison entre l'évaluation visuelle et l'indice de masse mise à l'échelle

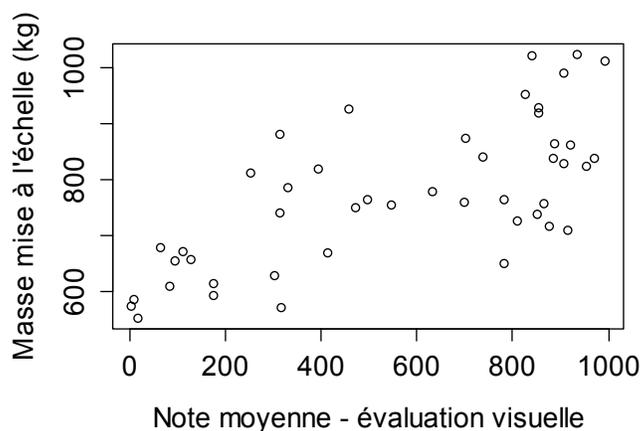
Parmi les 62 bélugas pour lesquels une note moyenne issue de l'évaluation visuelle analogique de la condition corporelle était disponible, 13 étaient des animaux de moins de 290 cm, dont 9 avaient une valeur d'indice de masse mise à l'échelle disponible. Quarante-neuf étaient des bélugas de plus de 290 cm dont 47 avaient une valeur de masse mise à l'échelle disponible. Pour les bélugas de moins de 290 cm, la corrélation entre la note moyenne provenant de l'évaluation visuelle et la masse mise à l'échelle n'était pas significative (Rho de Spearman = 0,55 ; $p=0,13$). La relation entre la note moyenne issue de l'évaluation visuelle de la condition corporelle et l'indice de masse mise à l'échelle des bélugas de moins de 290 cm est présentée à la 10.

Figure 10 : Relation entre la note moyenne issue de l'évaluation visuelle de la condition corporelle et l'indice de masse mise à l'échelle des bélugas de moins de 290 cm (n=9).



En revanche, pour les bélugas de plus de 290 cm, la corrélation entre la note moyenne d'évaluation visuelle et l'indice de masse mise à l'échelle est significative (Rho de Spearman = 0,70 ; $p < 0,001$). La relation entre la note moyenne issue de l'évaluation visuelle de la condition corporelle et l'indice de masse mise à l'échelle des bélugas de plus de 290 cm est présentée à la figure 11.

Figure 11 : Relation entre la note moyenne issue de l'évaluation visuelle de la condition corporelle et l'indice de masse mise à l'échelle des bélugas de plus de 290 cm (n=47).



La distribution des nuages de points montre que les deux méthodes d'évaluation de la condition corporelle tendent à donner des résultats semblables mais pas identiques. Pour les animaux classifiés comme ayant un mauvais état de condition corporelle, la concordance entre l'évaluation visuelle et l'indice de masse mise à l'échelle est très bonne. Les résultats paraissent moins concordants pour les bélugas en moyenne et en bonne condition corporelle.

5.6. *Évaluation d'indices de condition corporelle alternatifs*

Le tableau 7 présente les valeurs de pente b_{SMA} (et intervalle de confiance) obtenues par régression linéaire des différentes variables susceptibles de faire office d'indices de condition corporelle par rapport à la taille. Certaines régressions ont été effectuées après exclusion des valeurs extrêmes, quand elles influent sur la valeur de la pente. Le nombre d'animaux inclus et exclus dans les calculs est rapporté. Suivant la même formule que pour l'indice de masse mise à l'échelle, des indices mis à l'échelle ont été calculés pour chaque animal pour les valeurs des circonférences axillaire, maximale et anale, les épaisseurs de tissu adipeux axillaire dorsal, latéral et ventral, et la masse de la musculature épaxiale. Le tableau présente aussi les résultats de l'analyse de corrélation entre l'indice de masse mise à l'échelle et ces différents indices.

Tableau 7 : Corrélation (Rho de Spearman) entre les indices de condition corporelle alternatifs et l'indice de masse mise à l'échelle pour les bélugas. Les valeurs de b_{SMA} utilisées pour les calculs des indices mis à l'échelle, leurs intervalles de confiance (IC95), le nombre d'animaux inclus (et exclus) dans les calculs sont aussi présentés.

Indices mis à l'échelle	Bélugas <290 cm				Bélugas >290 cm			
	b_{SMA} [IC95]	Rho	p	n (exclus)	b_{SMA} [IC95]	Rho	p	n (exclus)
Circonférence axillaire	1,2 [1,1;1,4]	0,66*	<0,001	31	1,8 ^a [1,6;2,1]	0,70*	<0,001	128 (3)
Circonférence maximale	1,3 [1,1;1,4]	0,47*	0,01	31	1,7 ^a [1,5;1,9]	0,82*	<0,001	128 (3)
Circonférence anale	1 [0,8;1,2]	0,72*	<0,001	32	1,4 ^a [1,2;1,6]	0,68*	<0,001	127 (5)
Épaisseur de tissu adipeux dorsal	1,8 ^a [1,5;2,1]	0,61*	0,001	29 (1)	2,3 [2;2,7]	0,41*	<0,001	159
Épaisseur de tissu adipeux latéral	2 ^a [1,6;2,5]	0,45*	0,02	28 (1)	2,9 ^a [2,5;3,4]	0,37*	<0,001	138 (3)
Épaisseur de tissu adipeux ventral	2,1 ^a [1,8;2,5]	0,72*	<0,001	28 (3)	2,9 ^a [2,5;3,4]	0,36*	<0,001	157 (3)
Masse des muscles épaxiaux	3,4 ^a [2,7;4,3]	0,55*	0,01	21 (3)	4,8 [4,1;5,6]	0,72*	<0,001	91

^a Les valeurs extrêmes et influentes ont été exclues du calcul de certaines valeurs de b_{SMA} afin d'obtenir une valeur de pente représentative du nuage de point principal. Ce choix représente une source d'erreur potentielle, et les valeurs annotées devraient être considérées avec prudence.

* Les corrélations marquées d'un astérisque sont statistiquement significatives.

Pour les animaux de moins de 290 cm, ce sont les indices d'épaisseur de tissu adipeux ventral et de circonférence anale mise à l'échelle qui semblent se rapprocher le plus de l'indice de masse mise à l'échelle, avec des valeurs de rho respectives de 0,72 et 0,72.

Pour les animaux de plus de 290 cm, l'indice de circonférence maximale mise à l'échelle est le mieux corrélé avec l'indice de masse mise à l'échelle ($\rho=0,82$). Les deux autres circonférences et la masse de la demi-musculature épaxiale produisent aussi des variables relativement bien corrélées avec l'indice de masse mise à l'échelle.

Les figures 12 à 18 permettent une représentation graphique des relations décrites dans le tableau 7 pour les individus de moins de 290 cm. Elles présentent en abscisse l'indice de masse mise à l'échelle pour les animaux de moins de 290 cm et en ordonnée les différents indices alternatifs. Une correspondance parfaite entre les indices se traduirait par un regroupement des points le long d'une droite croissante.

Figure 12 : Distribution de l'indice de circonférence axillaire mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=31).

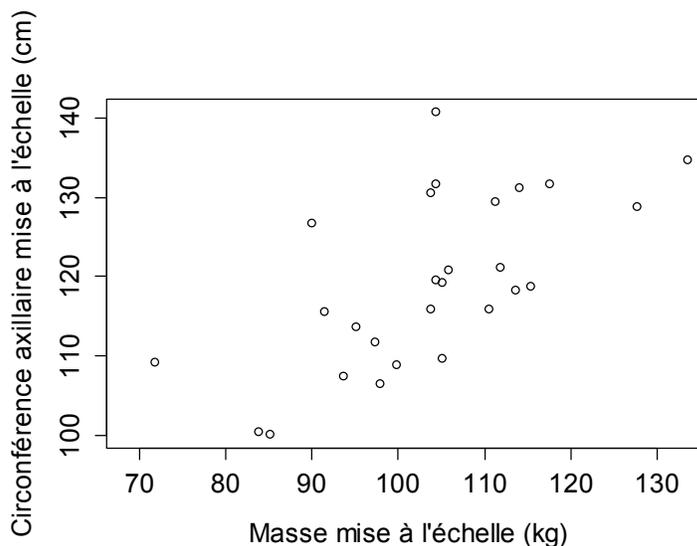


Figure 13 : Distribution de l'indice de circonférence maximale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=31).

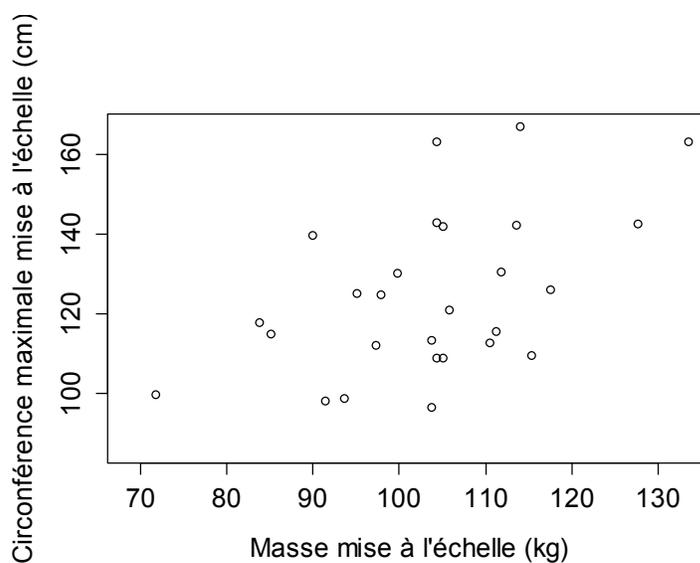


Figure 14 : Distribution de l'indice de circonférence anale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=32).

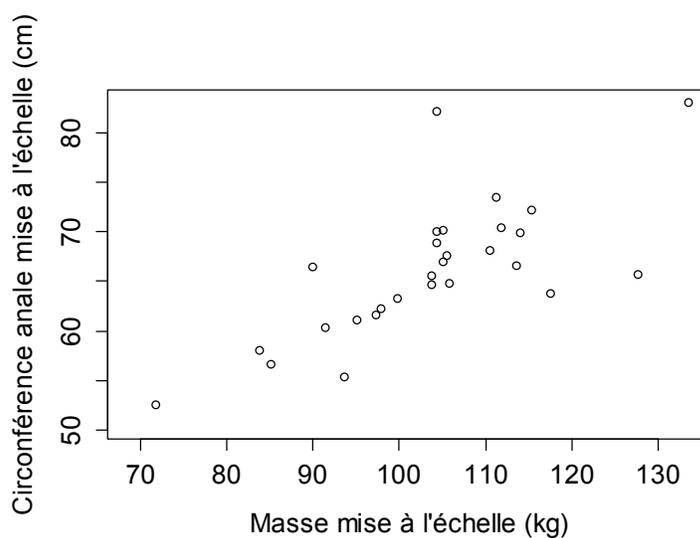


Figure 15 : Distribution de l'indice d'épaisseur de tissu adipeux dorsale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=29; exclusion=1).

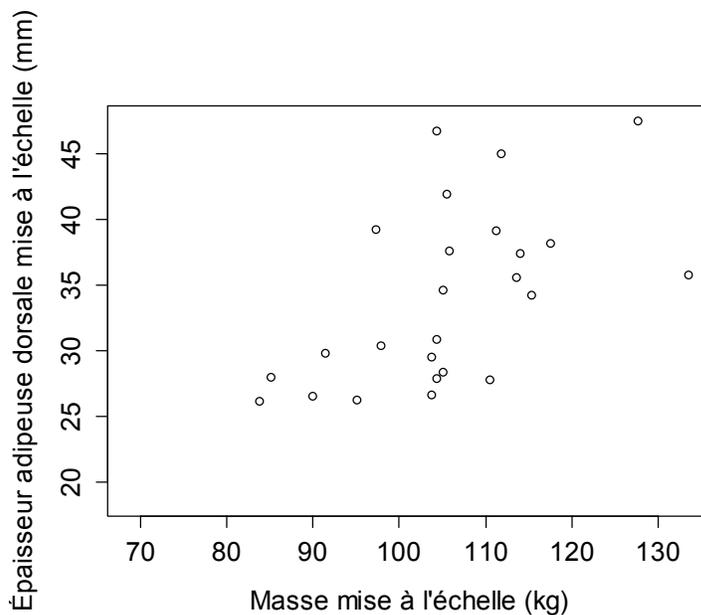


Figure 16 : Distribution de l'indice d'épaisseur de tissu adipeux latérale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=28; exclusion=1).

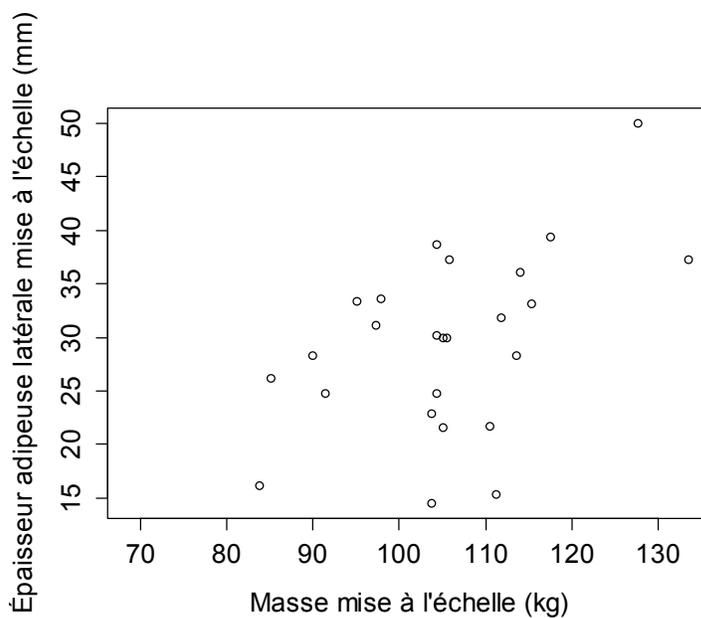


Figure 17 : Distribution de l'indice d'épaisseur de tissu adipeux ventrale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=28; exclusions=3).

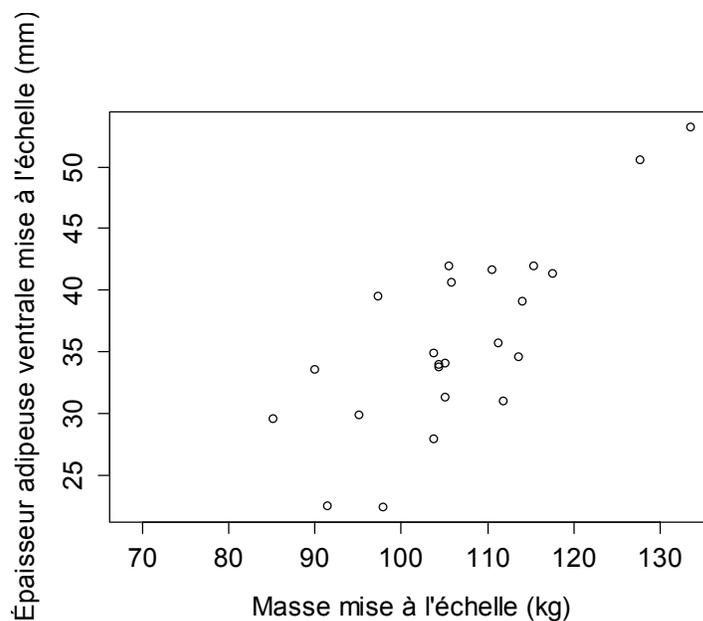
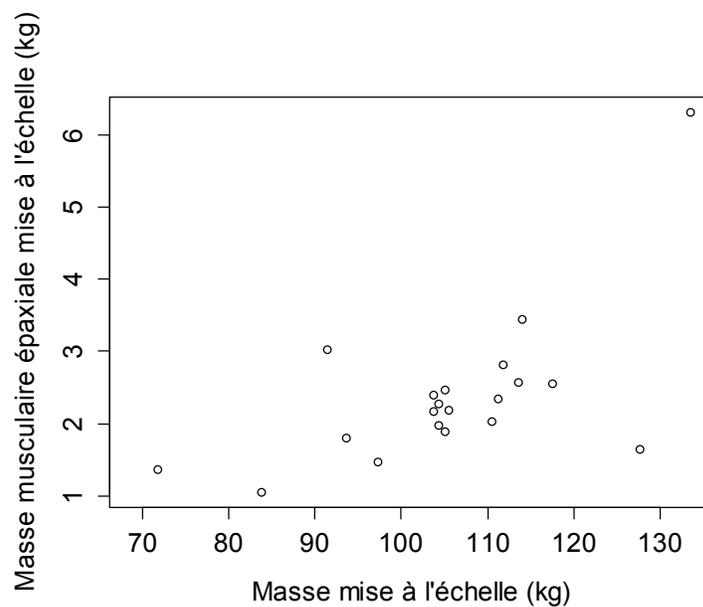


Figure 18 : Distribution de l'indice de masse de la demi-musculature épaxiale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de moins de 290 cm (n=21, exclusions=3).



L'observation des nuages de points des figures 12 à 18 concorde avec l'analyse de corrélation du tableau 7. En effet, la comparaison de la masse mise à l'échelle avec la circonférence anale mise à l'échelle (figure 14) d'une part et l'épaisseur de tissu adipeux ventrale mise à l'échelle (figure 17) d'autre part, sont les deux nuages de points dont la distribution se rapproche le plus de celle d'une droite croissante. On note cependant une certaine dispersion des points, qui indique que la correspondance entre ces indices n'est pas parfaite.

Les figures 19 à 25 permettent une représentation graphique des relations décrites dans le tableau 7 pour les bélugas de plus de 290 cm. Elles présentent en abscisse l'indice de masse mise à l'échelle pour les animaux de plus de 290 cm et en ordonnée les différents indices alternatifs.

Figure 19 : Distribution de l'indice de circonférence axillaire mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=131).

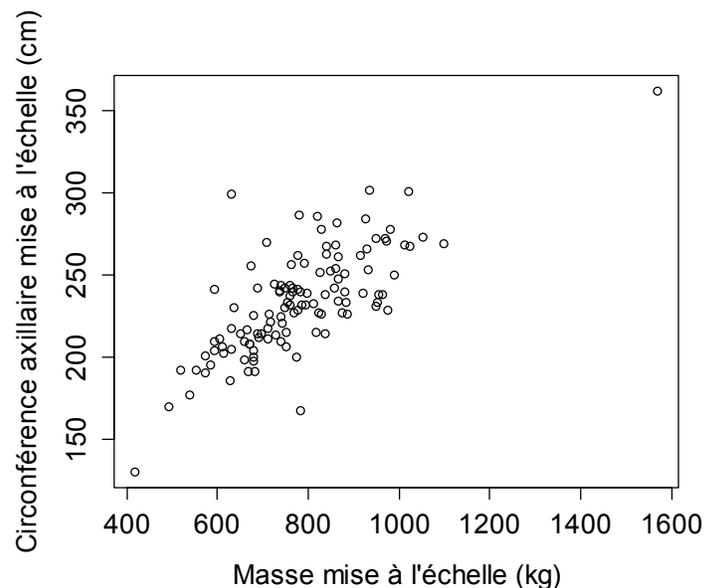


Figure 20 : Distribution de l'indice de circonférence maximale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=131).

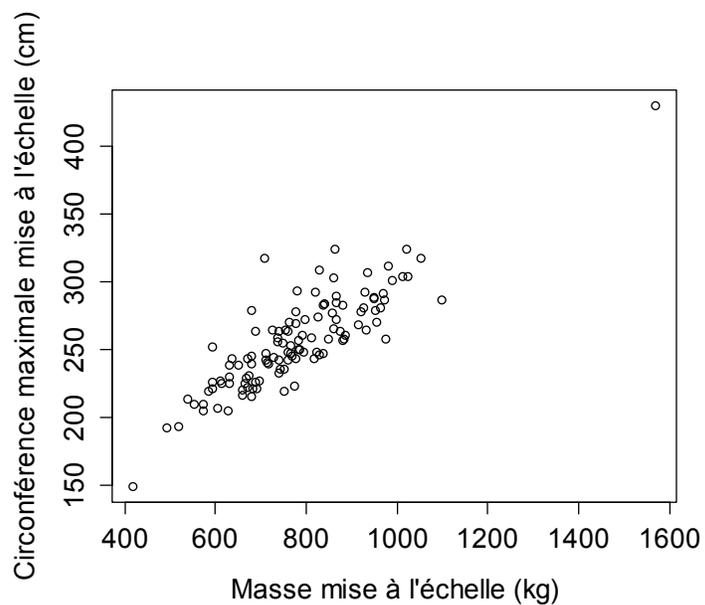


Figure 21 : Distribution de l'indice de circonférence anale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=132).

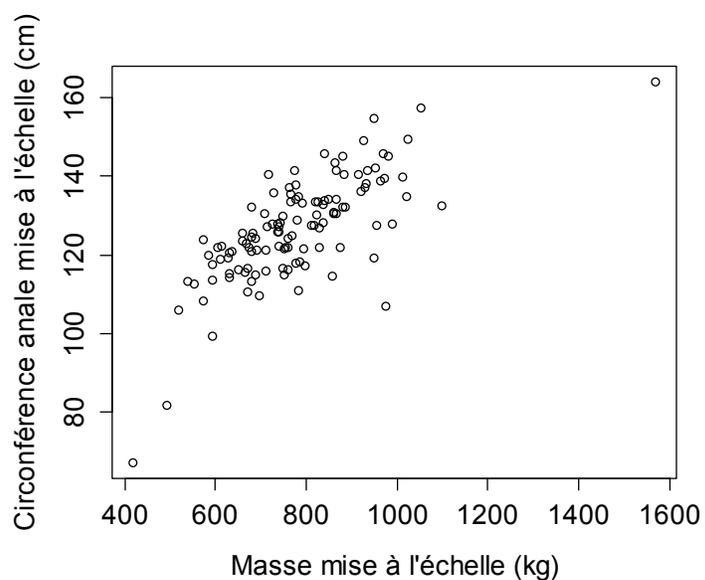


Figure 22 : Distribution de l'indice d'épaisseur de tissu adipeux dorsale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=159).

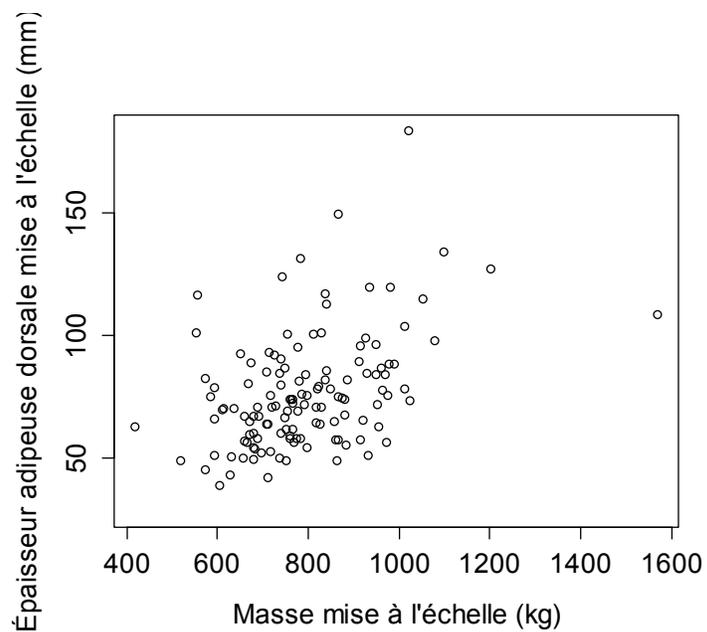


Figure 23 : Distribution de l'indice d'épaisseur de tissu adipeux latérale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=141).

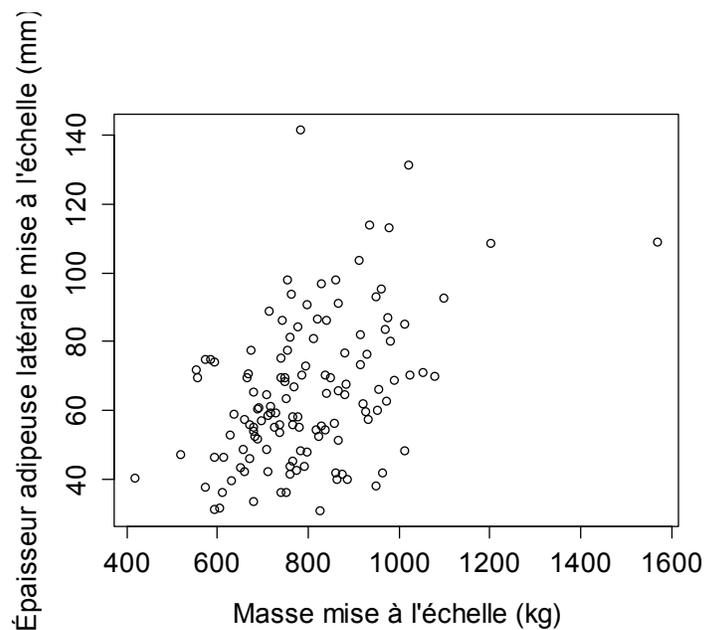


Figure 24 : Distribution de l'indice d'épaisseur de tissu adipeux ventrale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=160).

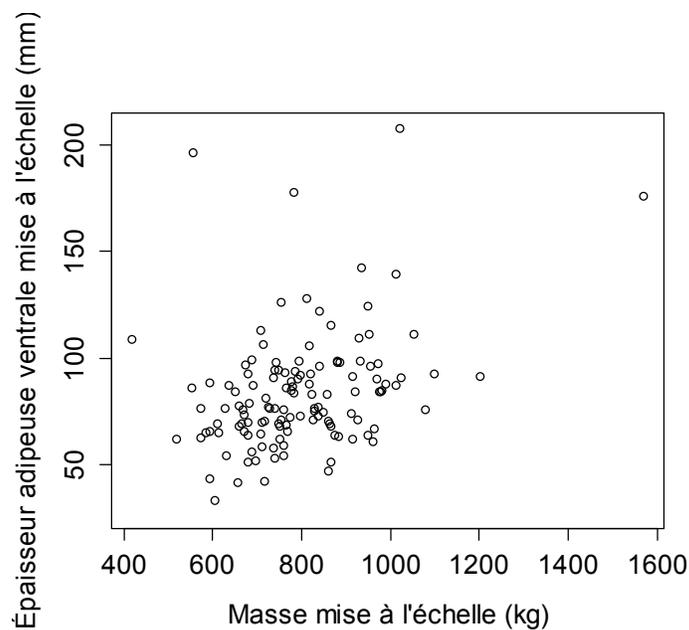
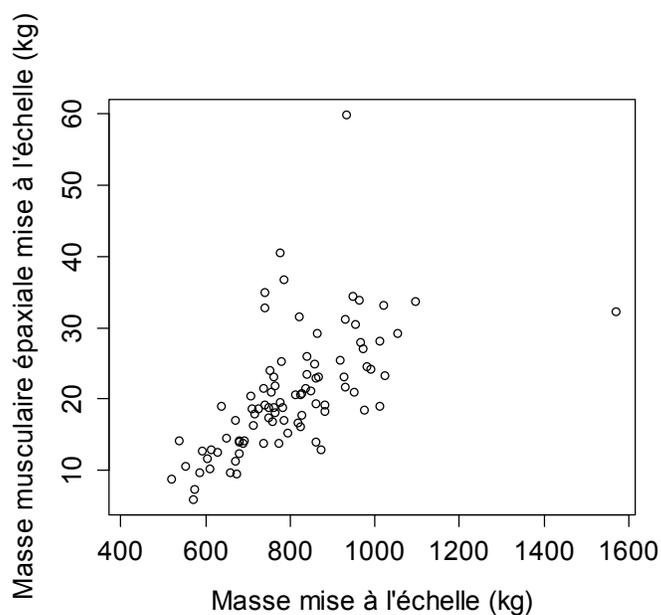


Figure 25 : Distribution de l'indice de masse de la demi-musculature épaxiale mise à l'échelle (en ordonnée) en fonction de l'indice de masse mise à l'échelle (en abscisse) pour les bélugas de plus de 290 cm (n=91).



L'observation des figures 19 à 25 va à nouveau dans le même sens que les analyses de corrélation présentées dans le tableau 7. Le nuage de point se rapprochant le plus de la forme d'une droite croissante est en effet celui qui met en relation l'indice de circonférence maximale mise à l'échelle avec l'indice de masse mise à l'échelle. La grande dispersion des nuages de points associés aux épaisseurs de tissu adipeux correspond à la moindre corrélation calculée pour le tableau 7.

En résumé, les indices alternatifs ne sont pas tous équivalents. Aucun n'est parfaitement corrélé avec l'indice de masse mise à l'échelle. Les deux meilleurs indices pour les bélugas de moins de 290 cm sont ceux issus de la circonférence anale et de l'épaisseur de tissu adipeux ventrale. Le meilleur indice pour les bélugas de plus de 290 cm est celui calculé grâce à la circonférence maximale.

5.7. Application de l'indice de masse mise à l'échelle à une population « de référence »

Le nombre de carcasses issues de traumas est limité à 13 individus, ce qui est insuffisant pour effectuer des calculs précis. L'exploitation des données sur des bélugas chassés dans l'Arctique rapportées par Doidge a permis de calculer des masses mises à l'échelle selon les mêmes méthodes que pour les bélugas du Saint-Laurent (tableau 8) (Doidge, 1990b).

Tableau 8 : Résumé des statistiques descriptives de l'indice de masse mise à l'échelle (kg) de bélugas chassés dans l'Arctique (Doidge, 1990b).

	Bélugas de l'Arctique : Indice de masse mise à l'échelle (kg)					Nombre
	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Écart-type	
<290 cm	95,43	95,0	74,5	134,9	17,0	10
>290 cm	792,2	791,6	568,3	1019	111,7	26

Les figures 26 et 27 présentent les distributions comparées des indices de masse mise à l'échelle pour les bélugas de l'étude de Doidge et pour les bélugas du Saint-Laurent, en fonction de leur groupe de taille.

Figure 26 : Distributions des indices de masse mise à l'échelle des bélugas du Saint-Laurent avec les données rapportées par Doidge (n=10) pour les animaux de moins de 290 cm.

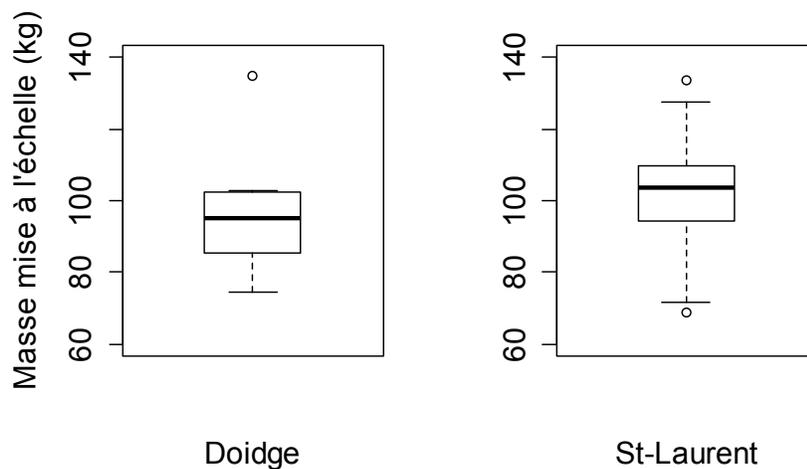
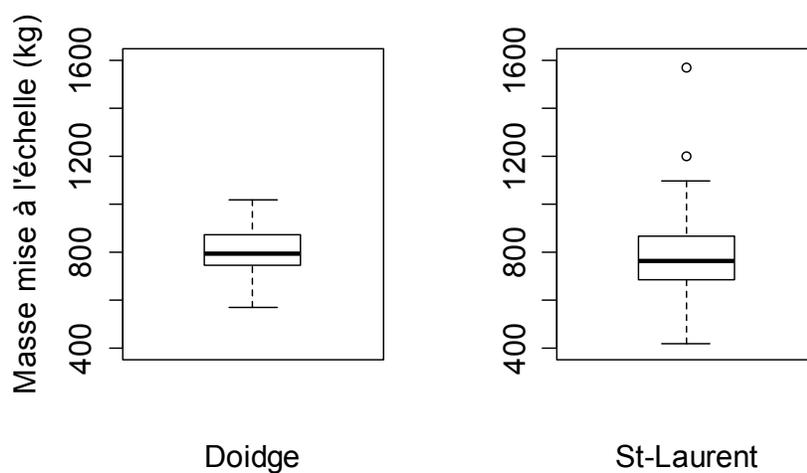


Figure 27 : Distributions des indices de masse mise à l'échelle des bélugas du Saint-Laurent avec les données rapportées par Doidge (n=26) pour les animaux de plus de 290 cm.



Dix bélugas de moins de 290 cm étaient présents dans l'étude de Doidge. Ce nombre n'est pas suffisant pour établir des valeurs de référence (Friedrichs et al, 2012).

Vingt-six bélugas de plus de 290 cm étaient présents dans l'étude de Doidge. Des valeurs de référence ont donc pu être calculées. La borne inférieure de l'intervalle de référence est 599 kg (intervalle de confiance BCa à 90 % : [568,3 ; 609,3]). La borne supérieure de l'intervalle de référence est 988,1 kg (intervalle de confiance BCa à 90 % : [918,8 ; 1019,0]). .

6. Discussion

6.1. *Une performance variable de l'évaluation visuelle*

La méthode actuelle de détermination de la condition corporelle des bélugas échoués repose sur une évaluation subjective par le pathologiste responsable de la nécropsie. Les coefficients de corrélation de concordance calculés entre les notes générées grâce à l'échelle visuelle analogique montrent qu'il y a une très bonne corrélation entre les deux évaluations successives d'un même observateur. Bien que la corrélation entre évaluateurs soit moins bonne que pour un même observateur, elle reste relativement bonne. L'examen des diagrammes de Bland-Altman démontre une hétérogénéité de la variabilité des notes de condition corporelle. L'évaluation visuelle est très reproductible et fait preuve d'une bonne répétabilité en présence d'animaux maigres, ou particulièrement bien en chair. Cette situation est vraisemblablement due au fait que les animaux présentant une concavité plus ou moins importante du cou ou des muscles épaxiaux sont considérés maigres quelque soit l'observateur, et que ces caractéristiques physiques sont facilement reconnaissables. Les rares animaux présentant au contraire une convexité importante du dos sont eux aussi faciles à discerner. En revanche, le continuum d'états de condition corporelle entre ces deux extrêmes se répercute moins sur la silhouette générale. En pratique, il en résulte que les observateurs sont difficilement capables de classer entre eux les animaux qui ne sont pas dans une condition corporelle extrême. Ces observations concordent avec la littérature, où il est rapporté que la détermination de l'état de condition corporelle est difficile chez les cétacés, à moins d'un amaigrissement très important (McBain, 2001). Pour améliorer notre capacité à déterminer la condition corporelle des bélugas, il conviendrait de compléter l'évaluation visuelle avec une ou plusieurs autres méthodes.

6.2. L'indice de masse mise à l'échelle

6.2.1. Un outil issu de mesures morphométriques

L'indice de masse mise à l'échelle est calculé à partir de la masse et de la taille d'un béluga selon la méthode proposée par Peig et Green (2009). Nous n'avons pas utilisé les résidus de régression linéaire comme indice de condition corporelle tels que proposés chez les marsouins et les dauphins blancs et bleus (Read, 1990; Gómez-Campos et al., 2011). Le choix de cette méthode est basé sur la controverse entourant l'utilisation de résidus de régression linéaire en tant qu'indices de condition corporelle (voir la recension de littérature).

L'indice de masse mise à l'échelle est d'une part d'un outil quantitatif répondant au besoin de précision accrue dans l'évaluation de la condition corporelle des animaux « moyen ». D'autre part, il s'agit d'une valeur objective reposant sur des mesures de taille et de masse variant faiblement avec l'observateur. C'est donc un outil plus facilement comparable d'une personne à l'autre et d'une équipe à l'autre, et dont l'utilisation requiert une moins grande expérience que l'évaluation visuelle de la condition corporelle.

Il ne s'est pas avéré possible d'établir un mode de calcul d'indice de masse mise à l'échelle unique pour toute la population. Les bélugas ont été séparés en deux groupes de taille, avec un seuil établi graphiquement à 290 cm. Ce seuil est arbitraire, mais il sépare malgré tout la majorité des jeunes animaux, en croissance, de ceux qui sont adultes, et en âge de se reproduire. Les réserves énergétiques d'un animal augmentent quand ses apports surpassent ses besoins en terme de survie, de croissance et de reproduction (Klanjscek et al., 2007). Il est donc possible que la nécessité de créer deux groupes pour l'analyse soit issue du fait que les petits et les grands bélugas diffèrent du point de vue de leurs besoins en terme de croissance et de reproduction.

6.2.2. Correspondance avec l'évaluation visuelle

Schamber et al. recommandent de valider tout indice de condition corporelle pour vérifier qu'il est bien représentatif de la quantité de réserves énergétiques présentes

(2008). La mesure de la quantité de lipides et de protéines présentes dans un béluga n'est pas logistiquement réalisable, et nous n'avons donc pas accès à une méthode de référence d'évaluation de la condition corporelle. En l'absence de méthode de référence ou de méthode validée pour mesurer la condition corporelle de bélugas, nous avons choisi de comparer les valeurs de masse mise à l'échelle avec une note issue de l'évaluation visuelle par les pathologistes, la méthode actuellement utilisée, pour évaluer la cohérence de la nouvelle méthode.

La corrélation entre indice de masse mise à l'échelle et note d'évaluation visuelle n'était pas significative pour les animaux de moins de 290 cm. Étant donné la distribution du nuage de points de la figure 9, il est vraisemblable que le faible nombre d'animaux ayant à la fois une note d'évaluation visuelle et une valeur de masse mise à l'échelle n'ai pas permis d'identifier une corrélation éventuelle. Il est aussi possible que ces variables soient mal corrélées, par exemple à cause d'une identification visuelle des jeunes animaux émaciés plus difficile que celle des adultes.

En revanche, la corrélation entre la note d'évaluation visuelle et l'indice de masse mise à l'échelle était forte pour les animaux de plus de 290 cm. Toutefois, la correspondance est variable en fonction de la condition corporelle de l'animal. Ce qui est le plus important pour nous, c'est que les animaux visiblement maigres sont bien classés comme tels par l'indice de masse mise à l'échelle, signe de cohérence entre les deux méthodes. Il ne semble donc pas y avoir de faille majeure dans la catégorie la plus facilement reconnaissable visuellement, et la plus importante pour le pathologiste.

L'accord entre les deux méthodes semble moindre pour les animaux de condition corporelle moyenne. Comme l'évaluation visuelle n'est pas très performante pour classer ces animaux (McBain, 2001), il n'est pas possible d'interpréter les différences de classement de ce groupe. Il est en fait vraisemblable que le classement issu de l'indice de masse mise à l'échelle soit plus précis.

Les animaux en excellente condition corporelle semblaient identifiables avec un bon niveau de répétabilité et de reproductibilité par les observateurs. Il est étonnant de noter une certaine différence entre ces notes et le classement obtenu avec l'indice de masse mise à l'échelle. Cela suggère qu'une des méthodes ou les deux n'est (ne sont) pas correctement capable(s) d'identifier les animaux possédant des réserves énergétiques

abondantes. Il est probable que ce soit l'évaluation visuelle qui ne parvienne pas à déceler tous ces animaux, puisqu'elle tend à négliger les signes subtils (McBain, 2001).

Il apparaît donc vraisemblable que l'indice de masse mise à l'échelle soit une méthode de détermination de la condition corporelle des bélugas apportant plus de nuances, une moindre subjectivité, une moindre dépendance envers l'expérience de l'observateur et une meilleure capacité à classer les animaux de condition corporelle moyenne et bonne que l'évaluation visuelle. Il paraît donc avantageux d'adopter l'indice de masse mise à l'échelle comme mesure de la condition corporelle des bélugas du Saint-Laurent.

6.2.3. Les limites de l'indice de masse mise à l'échelle

L'utilisation d'un indice de masse mise à l'échelle comme indice de condition corporelle sous-entend que les tissus de l'animal évalué sont : soit des tissus de structure proportionnels à sa taille, soit des tissus de réserve corrélés à sa condition corporelle. Dans un certain nombre de cas, cette hypothèse peut s'avérer erronée. Par exemple, les femelles vont vraisemblablement peser plus lourd en fin de gestation à cause de la masse du fœtus et des organes reproducteurs, qui ne sont ni des tissus de structure, ni de réserve à proprement parler. Cela aboutira à un indice de masse mise à l'échelle supérieur à celui d'un animal de même condition corporelle, mais non gestant. C'est ce qui est vraisemblablement observé avec l'animal DL-2011-03, qui représentait une valeur extrême dans nos données. Cela étant dit, l'inclusion ou l'exclusion des femelles connues comme gestantes n'avait pas d'impact sur les calculs. Il pourrait être intéressant de qualifier le stade de gestation lors des nécropsies afin de différencier les femelles en fin de gestation des autres. Il est aussi possible que les femelles en gestation engrangent des réserves de tissu adipeux en vue de la lactation, et que les changements de poids des organes reproducteurs soient négligeables comparés aux changements de poids des réserves adipeuses (Gittleman & Thompson, 1988).

D'autres individus représentaient des valeurs extrêmes. Le jeune animal DL-2012-116 présentait une masse anormalement basse pour sa taille. Il n'a pas été soumis en nécropsie à Saint-Hyacinthe comme les autres animaux. Les mesures ont été prises sur le

lieu d'échouage. Cela suggère qu'il était en mauvais état de conservation. Sa masse anormale pourrait donc être une réelle maigreur, une erreur de mesure ou d'enregistrement (matériel et personnel différents), un artéfact de conservation (organes absents, déprédation par des charognards), ou une combinaison de ces facteurs. La masse du béluga DL-2000-01 était basse pour sa taille. Les données disponibles ne permettent pas de déterminer s'il s'agit d'un animal qui était effectivement extrêmement maigre, si la carcasse était incomplète, ou si une erreur de mesure ou d'enregistrement a eu lieu. Seuls trois animaux n'ayant pas été soumis en nécropsie à Saint-Hyacinthe avaient été mesurés et pesés et ont été inclus dans les calculs. La grande majorité des animaux qui ne sont pas soumis en nécropsie ne sont pas pesés. Des suspicions d'erreurs sont aussi présentes vis-à-vis des valeurs extrêmes des indices de condition corporelle alternatifs, ce qui nous a amené à exclure les valeurs extrêmes et influentes de certains calculs.

Les carcasses incomplètes, par manque d'une partie de l'animal (queue coupée...) ou par consommation significative par des charognards, ne permettent évidemment pas d'obtenir un indice de masse mise à l'échelle juste. Aucun cas de carcasse incomplète n'a été identifié dans les données utilisées pour les calculs, soit parce qu'il n'y en avait pas, soit parce que l'information n'était pas disponible.

6.3. Animaux en bonne santé et indice de masse mise à l'échelle

Dans une population sauvage, les carcasses échouées représentent un mauvais échantillon quand on veut avoir un aperçu de la condition corporelle moyenne des animaux vivants, et donc de la santé globale de cette population. Pour accéder indirectement à cette information, il est possible de limiter son étude aux animaux accidentés ou chassés, c'est-à-dire morts de cause aiguë sans amaigrissement préalable. En ce qui concerne la population des bélugas du Saint-Laurent, les animaux ne sont plus chassés, et le nombre d'animaux morts de traumatismes est insuffisant pour procéder à des analyses. De plus, les traumatismes sont rares chez les bélugas, et on peut se demander si les animaux ayant subi un traumatisme sont vraiment représentatifs de la population : il est possible que ce groupe soit biaisé par la présence d'animaux débilisés incapable d'éviter les bateaux. En faisant l'approximation que les bélugas d'autres populations ont une

morphologie et une physiologie suffisamment semblable, utiliser des données issues de la chasse de populations Arctique, telles que celles de Doidge, paraît raisonnable (Doidge, 1990b). Ces animaux ont été capturés à la chasse et étaient par définition en meilleure santé que des carcasses échouées, mais il est toutefois possible que la chasse induise un biais de sélection. Les chasseurs pourraient choisir les animaux les plus faibles et les plus faciles à attraper, ou au contraire, viser les animaux les plus gros animaux, ceux qui rapportent le plus de ressource alimentaire. En l'absence d'information sur la masse de bélugas du Saint-Laurent en bonne santé, l'utilisation des données issues de la chasse de bélugas de l'Arctique pour établir des valeurs de référence pourrait représenter un guide sommaire pour aider le pathologiste à différencier les animaux maigres des autres.

L'établissement de valeurs de références et de leurs intervalles de confiance requiert un nombre d'individus normaux important, idéalement au moins 120 (Friedrichs et al., 2012). Dans les situations où le nombre d'échantillons est limité, il est possible de calculer des valeurs de référence, moins précises, à partir de 20 individus (Friedrichs et al., 2012). Il n'est pas recommandé d'essayer de déterminer des valeurs de référence à partir de moins de 20 individus, si bien qu'il a été impossible d'établir de telles valeurs pour les animaux de moins de 290 cm. Des méthodes de calcul paramétriques et non paramétriques ont été décrites. Nous avons choisi une méthode robuste, qui ne présume pas de normalité de la distribution de la masse mise à l'échelle (Friedrichs et al., 2012). Obtenir plus d'informations de masse et de taille de bélugas tués lors de chasses de subsistance pourrait aider à affiner nos connaissances sur les animaux « sains ».

Les animaux de plus de 290 cm, de masse mise à l'échelle inférieure à la borne inférieure établie pour la population Arctique, 599 kg, peuvent vraisemblablement être considérés comme trop maigres. Les animaux de moins de 290 cm ayant un indice de masse mise à l'échelle inférieure à celle du minimum calculé à partir des données de l'Arctique (74,5 kg) sont vraisemblablement maigres eux aussi.

6.4. Indices alternatifs et pistes pour l'évaluation de la condition corporelle de bélugas vivants ou en situation de terrain

La masse d'un béluga n'est pas toujours facile à mesurer (McBain, 2001). Deux types contraintes rendent complexes la pesée : il s'agit d'une part des situations de

terrain, où il n'est pas toujours possible d'avoir accès à du matériel permettant de soulever un animal et de mesurer son poids. D'autre part, il peut être délicat de vouloir obtenir un poids quand on travaille non pas avec une carcasse, mais avec un animal vivant. Bien que des animaux vivants captifs puissent en théorie être entraînés à être pesés, la seule étude ayant cherché à mesurer la condition corporelle de bélugas en captivité s'est malgré tout basée sur la circonférence axillaire et sur la mesure échographique de l'épaisseur du pannicule adipeux dorso-latéral (Mazzaro et al., 2010).

Disposer d'indices de condition corporelle alternatifs à l'indice de masse mise à l'échelle permettrait donc d'évaluer la condition corporelle lors de la manipulation d'animaux vivants ou de carcasses sur le terrain. C'est dans cette optique que nous avons évalué différentes circonférences, épaisseurs de tissu adipeux et masse musculaire. Si elles devaient être adaptées à des animaux vivants, les mesures directes d'épaisseurs de tissu adipeux pourraient être remplacées par des mesures échographiques telles qu'utilisées par Mazzaro et al. (2010). Les mesures de masse musculaires ne semblent pas adaptables aux animaux vivants.

Les indices alternatifs les plus adaptés pour les animaux de moins de 290 cm sont ceux calculés à partir de la circonférence mesurée au niveau de l'anus et de l'épaisseur de tissu adipeux ventrale. Concernant la circonférence mesurée au niveau de l'anus, c'est une mesure simple et ne demandant pas de matériel ou de compétences spécialisées. Les tissus sous-jacents à cette section sont principalement adipeux, musculaires et squelettiques, si bien que cette mesure sera vraisemblablement peu affectée par la production de gaz post-mortem, et pourrait même être utilisée sur des carcasses mal conservées. En revanche c'est une région fréquemment altérée par les charognards, auquel cas, il pourrait être préférable d'utiliser l'épaisseur de tissu adipeux axillaire ventrale, ou, en l'absence du matériel et des compétences adéquates, la circonférence axillaire.

Dans le cas des animaux de plus de 290 cm, l'indice de circonférence maximale mise à l'échelle est l'indice alternatif le plus adapté, suivi par la masse des muscles épaxiaux et les autres circonférences. Contrairement à la circonférence anale, les circonférences axillaire et maximale sont susceptibles d'être modifiées par la présence de gaz de putréfaction dans les cavités pour les carcasses, et par le stade respiratoire pour les

animaux vivants. Il convient donc de prendre ces facteurs en compte au cas par cas si ces mesures doivent être utilisées.

Les indices d'épaisseur de tissu adipeux n'étaient pas bien corrélés avec l'indice de masse mise à l'échelle chez les bélugas de plus de 290 cm. Il est intéressant de noter que ces mesures ne sont pas des reflets très précis de la condition corporelle. Il est possible que ce soit lié à l'habitat en eaux froides des bélugas, et à leur dépendance envers un pannicule adipeux épais pour leur thermorégulation (Worthy & Edwards, 1990). Cela concorde avec les études sur les baleines grises et les dauphins de la Plata, qui ont montré que les mesures de circonférences reflétaient mieux l'état de condition corporelle que les épaisseurs de tissus adipeux (Caon et al., 2007; Rice & Wolman, 1971). En parallèle, l'indice de masse musculaire mise à l'échelle est bien corrélé avec l'indice de masse mise à l'échelle. Cela suggère que les bélugas adultes qui maigrissent catabolisent leurs masses musculaires, au même titre que ce qui a été rapporté chez les marsouins et à l'inverse de ce qui est rapporté chez les dauphins blancs et bleus (Gómez-Campos et al., 2011; Koopman et al., 2002; Koopman, 1998).

Les indices alternatifs les plus utiles sont différents pour les petits (jeunes) bélugas et les grands (adultes). Il est possible que ces classes d'animaux stockent différemment leurs réserves énergétiques, possiblement en lien avec la physiologie de la croissance chez les jeunes. Étant donné le petit nombre d'animaux de moins de 290 cm, il est aussi possible que cela relève d'un phénomène aléatoire.

6.5. Conclusions et recommandations

6.5.1. Condition corporelle des carcasses de bélugas

L'évaluation visuelle de la condition corporelle des bélugas du Saint-Laurent est une méthode qualitative et parfois imprécise. L'utilisation d'un indice de condition corporelle objectif et quantitatif est donc souhaitable. L'indice de masse mise à l'échelle procure au pathologiste un outil répondant à ces considérations et vraisemblablement plus précis d'appréciation de la condition corporelle. Nous proposons donc d'utiliser l'indice de masse mise à l'échelle comme méthode standard d'évaluation de la condition corporelle des carcasses de bélugas. Les animaux ayant un indice de masse mise à

l'échelle inférieure à celle du minimum calculé à partir des données de l'Arctique, 74,5 kg, sont vraisemblablement maigres. Les valeurs de référence indiquent que les bélugas de plus de 290 cm dont l'indice de masse mise à l'échelle est inférieur à 599 kg devraient être considérés comme maigres. Ces valeurs ont été obtenues à partir des données de la littérature (Doidge, 1990b), à partir de nombres relativement faibles, et devraient donc être utilisées avec prudence. Quand il est impossible de peser l'animal, l'indice de circonférence anale mise à l'échelle ou l'indice d'épaisseur de tissu adipeux axillaire ventrale mise à l'échelle devraient être utilisés pour les animaux de moins de 290 cm. L'indice de circonférence maximale mise à l'échelle est l'outil alternatif à privilégier pour les carcasses de plus de 290 cm.

6.5.2. Remarques sur le protocole de nécropsie

Les données sur les animaux de moins de 290 cm sont peu nombreuses et mériteraient d'être réévaluées quand le nombre d'observations sera plus important. Par conséquent, il est primordial de continuer à mesurer toutes les variables du protocole de nécropsie sur ces animaux. Concernant les animaux de plus de 290 cm, et dans le strict contexte de l'analyse de condition corporelle actuelle, les données d'épaisseur de tissu adipeux axillaires ne sont pas utiles pour déterminer la condition corporelle, et pourraient vraisemblablement être omises. Les autres mesures pourraient être utilisées comme indices alternatifs, et il est intéressant de continuer à enregistrer des données afin d'apporter plus de précision à de futurs calculs.

6.5.3. Perspectives pour l'évaluation de la condition corporelle des bélugas vivants en milieu naturel

a) Évaluation visuelle à distance

Les comparaisons entre évaluations visuelles successives effectuées pour cette étude ont montré que la méthode reposant sur l'évaluation de la concavité des muscles épaxiaux et du cou est sujette à des variations d'appréciations. Les performances de l'évaluation visuelle étaient meilleures en présence d'animaux maigres, ce qui concorde

avec ce que rapporte McBain (2001). L'évaluation visuelle de la condition corporelle a été décrite en tant méthode d'évaluation satisfaisante chez des baleines grises et des baleines franches de l'Atlantique nord (Pettis et al., 2004; Bradford et al., 2008; Bradford et al., 2012). Cela dit, cette méthode n'a pas été validée au sens entendu par Schambler (2008). Pour transposer la méthode d'évaluation visuelle de carcasses à l'évaluation de bélugas sur photographies prises en milieu naturel, il conviendrait 1) de mettre en place un protocole précis, 2) d'entraîner plusieurs évaluateurs à l'utilisation de ce protocole, 3) d'évaluer sa répétabilité et sa reproductibilité sur un échantillon d'images et 4), dans l'idéal, de comparer des évaluations visuelles à des données objectives de condition corporelle.

b) Condition corporelle et bélugas vivants lors d'examen physique

Dans le contexte d'une manipulation de bélugas, les données à recueillir pour évaluer sa condition corporelle seraient sa taille et sa masse. En l'absence de possibilité de peser l'animal, il serait possible d'évaluer la condition corporelle à partir de la mesure de circonférence anale pour les animaux de moins de 290 cm et de circonférence maximale pour les animaux de plus de 290 cm. Comme la circonférence maximale peut varier avec les phases respiratoires, il serait souhaitable d'évaluer l'impact de la respiration sur cette mesure. Les indices tirés des circonférences axillaires et anales sont eux aussi relativement bien corrélés avec l'indice de masse mise à l'échelle, elles devraient donc aussi être enregistrées.

En conclusion, l'indice de masse mise à l'échelle représente une mesure objective de la condition corporelle d'un béluga. Son utilisation par les pathologistes contribuera à affiner le diagnostic de mortalité des bélugas échoués sur le rivage de l'estuaire du Saint-Laurent. Il sera de plus intéressant d'évaluer si la condition corporelle des carcasses varie selon divers facteurs, comme les saisons d'échouage ou les types de causes de mortalité.

Bibliographie

- Aguilar, A., & Borrell, A. (1990). Patterns of Lipid Content and Stratification in the Blubber of Fin Whales (*Balaenoptera physalus*). *Journal of Mammalogy*, 71(4), 544–554. doi:10.2307/1381793
- Ardia, D. R. (2005). Super Size Me: An Experimental Test of the Factors Affecting Lipid Content and the Ability of Residual Body Mass to Predict Lipid Stores in Nestling European Starlings. *Functional Ecology*, 19(3), 414–420. doi:10.1111/j.1365-2435.2005.00997.x
- Arnould, J. P. Y. (1995). Indices of Body Condition and Body Composition in Female Antarctic Fur Seals (*Arctocephalus gazella*). *Marine Mammal Science*, 11(3), 301–313.
- Atkinson, S. N., & Ramsay, M. A. (1995). The Effects of Prolonged Fasting of the Body Composition and Reproductive Success of Female Polar Bears (*Ursus maritimus*). *Functional Ecology*, 9(4), 559–567. doi:10.2307/2390145
- Beck, G. G., & Smith, T. G. (1995). Distribution of Blubber in the Northwest Atlantic Harp Seal, *Phoca groenlandica*. *Canadian Journal of Zoology*, 73(11), 1991–1998. doi:10.1139/z95-234
- Beck, G. G., Smith, T. G., & Hammill, M. O. (1993). Evaluation of Body Condition in the Northwest Atlantic Harp Seal (*Phoca groenlandica*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(7), 1372–1381. doi:10.1139/f93-157

- Bland, M. J., & Altman, D. G. (1986). Statistical Methods for Assessing Agreement Between Two Methods of Clinical Measurement. *The Lancet*, 327(8476), 307–310. doi:10.1016/S0140-6736(86)90837-8
- Boyd, I. L., & McCann, T. S. (1989). Pre-Natal Investment in Reproduction by Female Antarctic Fur Seals. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 24(6), 377–385. doi:10.1007/BF00293265
- Bradford, A. L., Weller, D. W., Ivashchenko, Y. V., Burdin, A. M., & Brownell Jr, R. L. (2008). Seasonal and Annual Variation in Body Condition of Western Gray Whales Off Northeastern Sakhalin Island, Russia. Source : <http://digitalcommons.unl.edu/usdeptcommercepub/129/>
- Bradford, A. L., Weller, D. W., Punt, A. E., Ivashchenko, Y. V., Burdin, A. M., VanBlaricom, G. R., & Brownell, R. L. (2012). Leaner Leviathans: Body Condition Variation in a Critically Endangered Whale Population. *Journal of Mammalogy*, 93(1), 251–266. doi:10.1644/11-MAMM-A-091.1
- Bryden, M. M. (1968). Growth and Function of the Subcutaneous Fat of the Elephant Seal. *Nature*, 220(5167), 597–599. doi:10.1038/220597a0
- Caon, G., Fialho, C. B., & Danilewicz, D. (2007). Body Fat Condition in Franciscanas (*Pontoporia blainvillei*) in Rio Grande Do Sul, Southern Brazil. *Journal of Mammalogy*, 88(5), 1335–1341.
- COSEPAC. (2004). *Évaluation et Rapport de Situation du COSEPAC sur le Béluga (Delphinapterus leucas) au Canada – Mise à Jour* (p. 88). Ottawa, ON, Canada: Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Source : http://www.sararegistry.gc.ca/virtual_sara/files/cosewic/sr_beluga_whale_f.pdf

- Cotton, S., Small, J., & Pomiankowski, A. (2006). Sexual Selection and Condition-Dependent Mate Preferences. *Current Biology*, 16(17), R755–R765.
doi:10.1016/j.cub.2006.08.022
- De Guise, S., Martineau, D., Béland, P., & Fournier, M. (1995). Possible Mechanisms of Action of Environmental Contaminants on St. Lawrence Beluga Whales (*Delphinapterus leucas*). *Environmental Health Perspectives*, 103(Suppl 4), 73.
- de March, B. G. E., & Postma, L. D. (2003). Molecular Genetic Stock Discrimination of Belugas (*Delphinapterus leucas*) Hunted in Eastern Hudson Bay, Northern Quebec, Hudson Strait, and Sanikiluaq (Belcher Islands), Canada, and Comparisons to Adjacent Populations. *Arctic*, 56(2), 111–124.
doi:10.2307/40513046
- Dobson, F. S. (1992). Body Mass, Structural Size, and Life-History Patterns of the Columbian Ground Squirrel. *The American Naturalist*, 140(1), 109–125.
- Doidge, D. W. (1990a). Integumentary Heat Loss and Blubber Distribution in the Beluga, *Delphinapterus leucas*, with Comparisons to the Narwhal, *Monodon monoceros*. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences*, 224, 129–140.
- Doidge, D. W. (1990b). Age-Length and Length-Weight Comparisons in the Beluga, *Delphinapterus leucas*. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences*, 224, 59–68.
- Dunkin, R. C., McLellan, W. A., Blum, J. E., & Pabst, D. A. (2005). The Ontogenetic Changes in the Thermal Properties of Blubber from Atlantic Bottlenose Dolphin *Tursiops truncatus*. *Journal of Experimental Biology*, 208(8), 1469–1480.
doi:10.1242/jeb.01559

- Dunkin, R. C., McLellan, W. A., Blum, J. E., & Pabst, D. A. (2010). The Buoyancy of the Integument of Atlantic Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*): Effects of Growth, Reproduction, and Nutritional State. *Marine Mammal Science*, 26(3), 573–587. doi:10.1111/j.1748-7692.2009.00353.x
- Fontaine, P.-H. (2005). *Baleines et Phoques*. Québec: MultiMondes Editions.
- Friedrichs, K. R., Harr, K. E., Freeman, K. P., Szladovits, B., Walton, R. M., Barnhart, K. F., & Blanco-Chavez, J. (2012). ASVCP Reference Interval Guidelines: Determination of de Novo Reference Intervals in Veterinary Species and Other Related Topics. *Veterinary Clinical Pathology / American Society for Veterinary Clinical Pathology* 41(4), 441–453. doi:10.1111/vcp.12006
- García-Berthou, E. (2001). On the Misuse of Residuals in Ecology: Testing Regression Residuals vs. the Analysis of Covariance. *Journal of Animal Ecology*, 70(4), 708–711. doi:10.1046/j.1365-2656.2001.00524.x
- Geisler, J. H., McGowen, M. R., Yang, G., & Gatesy, J. (2011). A Supermatrix Analysis of Genomic, Morphological, and Paleontological Data from Crown Cetacea. *BMC Evolutionary Biology*, 11(1), 112. doi:10.1186/1471-2148-11-112
- Geraci, J. R., & Lounsbury, V. J. (2005). *Marine Mammals Ashore: A Field Guide for Strandings* (2e ed.). Baltimore, MD: National Aquarium in Baltimore.
- Gittleman, J. L. & Thompson S. D. (1988). Energy Allocation in Mammalian Reproduction. *American Zoologist*, 28(3), 863–875.

- Gómez-Campos, E., Borrell, A., & Aguilar, A. (2011). Assessment of Nutritional Condition Indices Across Reproductive States in the Striped Dolphin (*Stenella coeruleoalba*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 405(1–2), 18–24. doi:10.1016/j.jembe.2011.05.013
- Green, A. J. (2001). Mass/Length Residuals: Measures of Body Condition or Generators of Spurious Results? *Ecology*, 82(5), 1473–1483.
- Hamilton, J. L., Dillaman, R. M., McLellan, W. A., & Pabst, D. A. (2004). Structural Fiber Reinforcement of Keel Blubber in Harbor Porpoise (*Phocoena phocoena*). *Journal of Morphology*, 261(1), 105–117. doi:10.1002/jmor.10232
- Hammill, M. O., Measures, L. N., Gosselin, J.-F., & Lesage, V. (2007). *Absence de Rétablissement du Béluga de l'estuaire du Saint-Laurent* (Document de recherche No. 2001/026) (p. 23). Secrétariat canadien de consultation scientifique. Source : http://www.dfo-mpo.gc.ca/CSAS/Csas/DocREC/2007/RES2007_026_e.pdf
- Harington, C. R. (1977). Marine Mammals in the Champlain Sea and the Great Lakes. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 288(1), 508–537. doi:10.1111/j.1749-6632.1977.tb33640.x
- Haynes, W. M. (Ed.). (2012). *CRC Handbook of Chemistry and Physics 2012-2013* (93rd ed.). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Jakob, E. M., Marshall, S. D., & Uetz, G. W. (1996). Estimating Fitness: A Comparison of Body Condition Indices. *Oikos*, 77(1), 61–67. doi:10.2307/3545585

- Jefferson, T. A., Karkzmariski, L., Laidre, K., O’Corry-Crowe, G., Reeves, R., Rojas-Bracho, L., Secchi, E., Sooten E., Smith B. D., Wang J. Y. & Zhou, K. (2012). *Delphinapterus leucas*. Dans *IUCN Red List of Threatened Species* (Version 2012.2.). IUCN 2012. Source : www.iucnredlist.org
- Klanjscek, T., Nisbet, R. M., Caswell, H., & Neubert, M. G. (2007). A Model for Energetics and Bioaccumulation in Marine Mammals with Applications to the Right Whale. *Ecological Applications*, 17(8), 2233–2250.
- Konishi, K. (2006). Characteristics of Blubber Distribution and Body Condition Indicators for Antarctic Minke Whales (*Balaenoptera bonaerensis*). *Mammal Study*, 31(1), 15–22. doi:10.3106/1348-6160(2006)31[15:COBDAB]2.0.CO;2
- Koopman, H. N. (1998). Topographical Distribution of the Blubber of Harbor Porpoises (*Phocoena phocoena*). *Journal of Mammalogy*, 79(1), 260–270.
doi:10.2307/1382862
- Koopman, H. N. (2007). Phylogenetic, Ecological, and Ontogenetic Factors Influencing the Biochemical Structure of the Blubber of Odontocetes. *Marine Biology*, 151(1), 277–291. doi:10.1007/s00227-006-0489-8
- Koopman, H. N., Iverson, S. J., & Gaskin, D. E. (1996). Stratification and Age-Related Differences in Blubber Fatty Acids of the Male Harbour Porpoise (*Phocoena phocoena*). *Journal of Comparative Physiology B*, 165(8), 628–639.
doi:10.1007/BF00301131

- Koopman, H. N., Pabst, D. A., McLellan, W. A., Dillaman, R. M., & Read, A. J. (2002). Changes in Blubber Distribution and Morphology Associated with Starvation in the Harbor Porpoise (*Phocoena phocoena*): Evidence for Regional Differences in Blubber Structure and Function. *Physiological and Biochemical Zoology*, 75(5), 498–512.
- Kotiaho, J. S. (1999). Estimating Fitness: Comparison of Body Condition Indices Revisited. *Oikos*, 87(2), 399–400. doi:10.2307/3546755
- Krahn, M. M., Herman, D. P., Ylitalo, G. M., Sloan, C. A., Burrows, D. G., Hobbs, R. C., Mahoney, B. A., Yanagida G. K., Calambokidis J. & Moore, S. E. (2004). Stratification of Lipids, Fatty Acids and Organochlorine Contaminants in Blubber of White Whales and Killer Whales. *Journal of Cetacean Research and Management*, 6, 175–189.
- Lesage, V., & Kingsley, M. C. S. (1995). *Bilan des Connaissances de la Population de Bélugas (Delphinapterus leucas) du Saint-Laurent* (Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques No. 2041) (p. vii+44). Mont-Joli, Canada: Pêches et Océans Canada. Source : http://publications.gc.ca/collections/collection_2012/mpo-dfo/Fs97-6-2041-fra.pdf
- Lesage, V., Mosnier, A., Measures, L. N., Lair, S., Martineau, D., & Béland, P. (2013). *Mortality Patterns in St Lawrence Beluga Whales, Inferred from Stranding Characteristics, 1983-2012* (p. vi+xx). DFO Canadian Science Advisory Secretariat.

- Lin, L. I.-K. (1989). A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility. *Biometrics*, 45(1), 255. doi:10.2307/2532051
- Lin, L. I.-K. (2000). A Note on the Concordance Correlation Coefficient. *Biometrics*, 56(1), 324–325. doi:10.1111/j.0006-341X.2000.00324.x
- Lockyer, C. H., McConnell, L. C., & Waters, T. D. (1984). The Biochemical Composition of Fin Whale Blubber. *Canadian Journal of Zoology*, 62(12), 2553–2562. doi:10.1139/z84-373
- Lockyer, C. H., McConnell, L. C., & Waters, T. D. (1985). Body Condition in Terms of Anatomical and Biochemical Assessment of Body Fat in North Atlantic Fin and Sei Whales. *Canadian Journal of Zoology*, 63(10), 2328–2338. doi:10.1139/z85-345
- Lunn, N. J., & Boyd, I. L. (1993). Effects of Maternal Age and Condition on Parturition and the Perinatal Period of Antarctic Fur Seals. *Journal of Zoology*, 229(1), 55–67. doi:10.1111/j.1469-7998.1993.tb02620.x
- Mazzaro, L. M., Richmond, J. P., Morgan, J. N., Kluever, M. E., Dunn, J. L., Romano, T. A., Zinn S. A. & Koutsos, E. A. (2011). Evaluation of an Alternative to Feeding Whole Frozen Fish in Belugas (*Delphinapterus leucas*). *Zoo Biology*, 30(1), 32–51. doi:10.1002/zoo.20319
- McBain, J. F. (2001). Cetacean Medicine. Dans L. A. Dierauf & F. M. Gulland (Eds.), *CRC Handbook of Marine Mammal Medicine: Health, Disease and Rehabilitation* (2e ed., pp. 895–906). Boca Raton, Florida: CRC Press.

- Mellish, J. A. E., Horning, M., & York, A. E. (2007). Seasonal and Spatial Blubber Depth Changes in Captive Harbor Seals (*Phoca vitulina*) and Steller's Sea Lions (*Eumetopias jubatus*). *Journal of mammalogy*, 88(2), 408–414.
- Merilä, J., & Svensson, E. (1997). Are Fat Reserves in Migratory Birds Affected by Condition in Early Life? *Journal of Avian Biology*, 28(4), 279–286.
doi:10.2307/3676940
- Miller, C. A., Reeb, D., Best, P. B., Knowlton, A. R., Brown, M. W., & Moore, M. J. (2011, October). *Blubber Thickness in Right Whales Eubalaena glacialis and Eubalaena australis Related with Reproduction, Life History Status and Prey Abundance*. Source : <http://repository.up.ac.za/handle/2263/17939>
- Møller, A. P., Christe, P., Erritzøe, J., & Mavarez, J. (1998). Condition, Disease and Immune Defence. *Oikos*, 83(2), 301–306. doi:10.2307/3546841
- Moya-Laraño, J., Macías-Ordóñez, R., Blanckenhorn, W. U., & Fernández-Montraveta, C. (2008). Analysing Body Condition: Mass, Volume or Density? *Journal of Animal Ecology*, 77(6), 1099–1108.
- Murray, B. W., Michaud, R., & White, B. N. (1999). Allelic and Haplotype Variation of Major Histocompatibility Complex Class II Drb1 and Dqb Loci in the St Lawrence Beluga (*Delphinapterus leucas*). *Molecular Ecology*, 8(7), 1127–1139.
doi:10.1046/j.1365-294x.1999.00670.x
- Nilssen, K. T., Haug, T., Grotnes, P. E., & Potelov, V. (1997). Seasonal Variation in Body Condition of Adult Barents Sea Harp Seals (*Phoca groenlandica*). *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 22, 17–25.

- Noren, S. R., & Wells, R. S. (2009). Blubber Deposition during Ontogeny in Free-Ranging Bottlenose Dolphins: Balancing Disparate Roles of Insulation and Locomotion. *Journal of Mammalogy*, 90(3), 629–637.
- Nowak, Ronald M. 1999. *Walker's Mammals of the World*. JHU Press. 907–909.
- O'corry-Crowe, G. M. (2009). Beluga Whale: *Delphinapterus leucas*. Dans William F. Perrin, B. W. Bernd Würsig and J.G.M. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals (Second Edition)* (pp. 108–112). London: Academic Press.
- Source :
- <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123735539000304>
- Pêches et Océans Canada. (2012). *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* (p. 93 + XI). Ottawa: Pêches et Océans Canada. Source :
- http://www.registrelep.gc.ca/document/doc2309f/ind_f.cfm
- Peig, J., & Green, A. J. (2009). New Perspectives for Estimating Body Condition from Mass/Length Data: the Scaled Mass Index as an Alternative Method. *Oikos*, 118(12), 1883–1891. doi:10.1111/j.1600-0706.2009.17643.x
- Peig, J., & Green, A. J. (2010). The Paradigm of Body Condition: A Critical Reappraisal of Current Methods Based on Mass and Length. *Functional Ecology*, 24(6), 1323–1332.
- Pena, E. A., & Slate, E. H. (2006). Global Validation of Linear Model Assumptions. *Journal of the American Statistical Association*, 101(473), 341–354.

- Pettis, H. M., Rolland, R. M., Hamilton, P. K., Brault, S., Knowlton, A. R., & Kraus, S. D. (2004). Visual Health Assessment of North Atlantic Right Whales (*Eubalaena glacialis*) using Photographs. *Canadian Journal of Zoology*, 82(1), 8–19. doi:10.1139/z03-207
- Pitcher, K. W., Calkins, D. G., & Pendleton, G. W. (2000). Steller Sea Lion Body Condition Indices. *Marine Mammal Science*, 16(2), 427–436.
- R Development Core Team. (2009). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Read, A. J. (1990). Estimation of Body Condition in Harbour Porpoises, *Phocoena phocoena*. *Canadian Journal of Zoology*, 68(9), 1962–1966. doi:10.1139/z90-276
- Reips, U.-D., & Funke, F. (2008). Interval-Level Measurement with Visual Analogue Scales in Internet-Based Research: VAS Generator. *Behavior Research Methods*, 40(3), 699–704. doi:10.3758/BRM.40.3.699
- Rice, D. W., & Wolman, A. A. (1971). *The Life History and Ecology of the Gray Whale (Eschrichtius robustus)*. [Stillwater, Okla.] American Society of Mammalogists. Source : <http://archive.org/details/lifehistoryecolo00rice>
- Ridgway, S. H., & Fenner, C. A. (1982). Weight-Length Relationships of Wild-Caught and Captive Atlantic Bottlenose Dolphins. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 181(11), 1310–1315.
- Rommel, S. A., & Lowenstine, L. J. (2001). Gross and Microscopic Anatomy. Dans L. A. Dierauf & F. M. Gulland (Eds.), *CRC Handbook of Marine Mammal Medicine: Health, Disease and Rehabilitation* (2e ed., pp. 129–164). Boca Raton, Florida: CRC Press.

- Rosen, D. A. S., Winship, A. J., & Hoopes, L. A. (2007). Thermal and Digestive Constraints to Foraging Behaviour in Marine Mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1487), 2151–2168. doi:10.1098/rstb.2007.2108
- Ryg, M., Lydersen, C., Markussen, N. H., Smith, T. G., & Øritsland, N. A. (1990). Estimating the Blubber Content of Phocid Seals. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47(6), 1223–1227. doi:10.1139/f90-142
- Ryg, M., Smith, T. G., & Øritsland, N. A. (1988). Thermal Significance of the Topographical Distribution of Blubber in Ringed Seals (*Phoca hispida*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 45(6), 985–992. doi:10.1139/f88-121
- Schamber, J. L., Esler, D., & Flint, P. L. (2008). Evaluating the Validity of Using Unverified Indices of Body Condition. *Journal of Avian Biology*, 40(1), 49–56.
- Schulte-Hostedde, A. I., Millar, J. S., & Hickling, G. J. (2001). Evaluating Body Condition in Small Mammals. *Canadian Journal of Zoology*, 79(6), 1021–1029. doi:10.1139/z01-073
- Schulte-Hostedde, A. I., Zinner, B., Millar, J. S., & Hickling, G. J. (2005). Restitution of Mass-Size Residuals: Validating Body Condition Indices. *Ecology*, 86(1), 155–163. doi:10.1890/04-0232
- Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO. (2007). *Compte-Rendu de l'atelier de Travail sur le Béluga de l'estuaire du Saint-Laurent – Revue du Programme de Suivi des Carcasses* (Compte rendu No. 2007/005) (p. 104). Pêches et Océans Canada.

- Smith, H. R. (2009). *Fatty Acid Variation in Beluga (Delphinapterus leucas) Blubber: Implications for Estimating Diet using Fatty Acids*. University of Washington.
Source :
http://alaskafisheries.noaa.gov/protectedresources/whales/beluga/reports/smith_fattyacids09.pdf
- Smith, R. J. (1999). Statistics of Sexual Size Dimorphism. *Journal of Human Evolution*, 36(4), 423–459. doi:10.1006/jhev.1998.0281
- Smith, R. J. (2009). Use and Misuse of the Reduced Major Axis for Line-Fitting. *American Journal of Physical Anthropology*, 140(3), 476–486.
doi:10.1002/ajpa.21090
- Stevenson, R. D., & Woods, W. A. (2006). Condition Indices for Conservation: New Uses for Evolving Tools. *Integrative and Comparative Biology*, 46(6), 1169–1190. doi:10.1093/icb/icl052
- Stewart, R. E. A., Campana, S. E., Jones, C. M., & Stewart, B. E. (2006). Bomb Radiocarbon Dating Calibrates Beluga (*Delphinapterus leucas*) Age Estimates. *Canadian Journal of Zoology*, 84(12), 1840–1852.
- Stewart, R. E. A., & Lavigne, D. M. (1980). Neonatal Growth of Northwest Atlantic Harp Seals, *Pagophilus groenlandicus*. *Journal of Mammalogy*, 61(4), 670–680.
doi:10.2307/1380312
- Struntz, D. J., McLellan, W. A., Dillaman, R. M., Blum, J. E., Kucklick, J. R., & Pabst, D. A. (2004). Blubber Development in Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*). *Journal of Morphology*, 259(1), 7–20. doi:10.1002/jmor.10154

Teissier, G. (1948). La Relation d'Allometrie sa Signification Statistique et Biologique.

Biometrics, 4(1), 14–53. doi:10.2307/3001695

United Nations Environment Programme's World Conservation Monitoring Centre.

(2013). *Delphinapterus leucas*. *United Nations Environment Programme's World Conservation Monitoring Centre Species Database: CITES-Listed Species*.

Source (12 mars 2013) : <http://www.unep-wcmc->

[apps.org/isdb/CITES/Taxonomy/tax-species-](http://www.unep-wcmc-)

[result.cfm?displaylanguage=eng&Genus=Delphinapterus&Species=leucas&source=animals&Country=](http://www.unep-wcmc-)

Warton, D. I., Wright, I. J., Falster, D. S., & Westoby, M. (2006). Bivariate Line-Fitting Methods for Allometry. *Biological Reviews*, 81(2), 259–291.

Worthy, G. A. J., & Edwards, E. F. (1990). Morphometric and Biochemical Factors Affecting Heat Loss in a Small Temperate Cetacean (*Phocoena phocoena*) and a Small Tropical Cetacean (*Stenella attenuata*). *Physiological zoology*, 432–442.

Yang, X.-G. (2009). Bayesian Inference of Cetacean Phylogeny Based on Mitochondrial Genomes. *Biologia*, 64(4), 811–818.

Annexe : Description d'une nécropsie

Les nécropsies des carcasses de bélugas suivent un protocole standardisé. Bien que le protocole ait légèrement évolué au fil du temps, il est resté basé sur les mêmes procédures. La description qui suit présente le protocole actuel.

Signalement et transport des carcasses

Au cours des dernières années, les carcasses échouées sont le plus souvent signalées au Réseau québécois d'urgences pour les mammifères marins. Un transporteur est ensuite dépêché sur le lieu de l'échouage. Il procède à l'échantillonnage de la carcasse et à une évaluation de son état de conservation. Si la carcasse est suffisamment bien conservée, elle est chargée sur son véhicule et transportée à la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal.

Logistique avant la nécropsie d'un béluga

Matériel

La nécropsie d'un béluga est longue et demande de la préparation pour pouvoir se dérouler de manière fluide. Les chercheurs sollicitant des échantillons fournissent des contenants pré-identifiés et des instructions claires expliquant la méthode de prélèvement souhaitée. À la Faculté de médecine vétérinaire, les techniciennes pré-identifient les contenants et préparent des étiquettes devant être utilisées pour identifier les pots de formol durant la nécropsie.

Personnel

Les nécropsies de bélugas sont effectuées sous la responsabilité d'un vétérinaire pathologiste de la Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Montréal affilié au Centre québécois sur la santé des animaux sauvages, et de son résident (étudiant de 2e cycle). Le plus souvent, elles font aussi intervenir une technicienne du Centre québécois sur la santé des animaux sauvages.

Par ailleurs, suivant le double objectif de disposer d'aide et de prodiguer un enseignement, des étudiants en médecine vétérinaire sont invités à participer aux nécropsies. À chaque rentrée scolaire, les étudiants qui le souhaitent s'inscrivent sur une liste de volontaires et donnent leurs coordonnées au résident.

Logistique d'arrivée d'une carcasse

Quand l'information qu'une carcasse est en route parvient à la Faculté de médecine vétérinaire, le résident et le pathologiste responsable des nécropsies de bélugas déterminent à quel moment la nécropsie pourra avoir lieu. Ce moment est nécessairement choisi en dehors des heures de fonctionnement régulier de la salle de nécropsie afin de ne pas interférer avec le travail normal du service de pathologie des animaux domestiques. Le résident contacte ensuite les étudiants de la liste des volontaires par téléphone ou par courriel. Le nombre de places en salle de nécropsie étant limité, les cinq à sept premiers à répondre sont invités à participer à la nécropsie.

À l'arrivée du transporteur, le résident ou un technicien se charge de recueillir une anamnèse succincte, et d'entreposer la carcasse au réfrigérateur.

Examen externe

La première partie de la nécropsie consiste en un examen externe. Tout d'abord, la carcasse est pesée à l'aide d'une balance assujettie à un treuil. Le sexe de l'animal est noté. Une première évaluation de l'âge est effectuée. Les nouveau-nés et les jeunes de l'année sont identifiés sur la base de la persistance de structures fœtales (cordon ombilical, foramen ovale) et de leur taille, en fonction du mois de l'échouage. Ces deux catégories seront groupées dans nos calculs sous le nom « nouveau-nés ». Les animaux présentant une coloration grise persistante sont présumés juvéniles et les animaux blancs sont présumés adultes en attendant une détermination ultérieure de leur âge.

L'état de préservation de la carcasse est évalué sur une échelle allant de 1 à 5, la note 1 correspondant à un animal vivant, la note 5 à des restes de squelettes (Geraci & Lounsbury, 2005). Les animaux notés 2 ou 3 sont jugés suffisamment bien conservés pour que l'examen post-mortem apporte des informations utiles. Il arrive que des animaux moins bien conservés soient examinés, mais la qualité des informations retirées de telles nécropsies apparaît moindre.

L'examen externe à proprement parler vise à déterminer si des lésions ou autres anomalies sont visibles à l'examen ou la palpation de la carcasse. Le cas échéant, des photographies des anomalies sont prises.

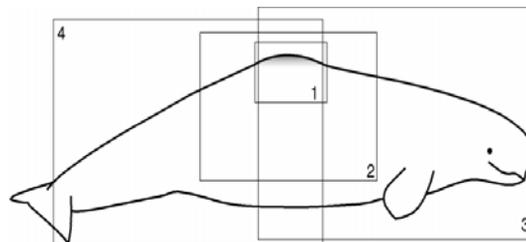
Deux autres séries de photographies sont prises suivant un protocole standard. La première série se compose de vues latérales de l'animal, de vues de sa crête dorsale, et de

photographies d'éventuelles cicatrices (tableau 9, figure 28). Ces photographies sont destinées à la photo-identification des individus examinés en nécropsie en comparant leurs particularités morphologiques à une banque d'image d'animaux vivants entretenue par le Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM).

Tableau 9 : Liste des photographies destinées à la photo-identification des carcasses de bélugas.

Photographies destinées à l'identification (vue droite et gauche)	Numéro associé sur la figure 28
Crête, plan large	2
Crête, plan rapproché	1
Avant du béluga, dont crête	3
Arrière du béluga, dont crête	4
Cicatrices (plans larges et rapprochés)	

Figure 28 : Diagramme des photographies destinées à la photo-identification des carcasses de bélugas

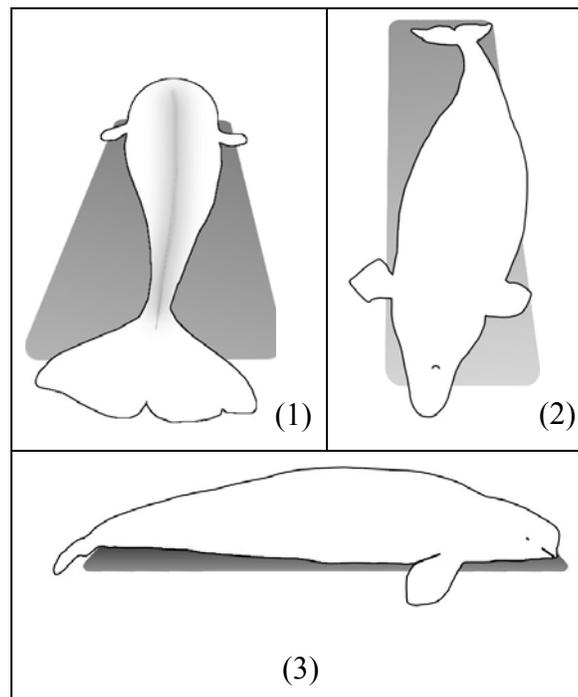


La deuxième série de photographies sert à évaluer visuellement et qualitativement la condition corporelle de l'animal. Il s'agit de photographies qui permettent de juger de la rondeur générale de l'animal, de l'aspect concave ou convexe de sa musculature épaxiale, et de la présence ou non d'une réduction du diamètre corporel à hauteur du cou (tableau 10, figure 29).

Tableau 10 : Liste des photographies destinées à évaluer la condition corporelle des carcasses de bélugas (béluga en décubitus sternal sur la table de nécropsie).

Photographies destinées à l'évaluation de la condition corporelle	Numéro associé sur la figure 29
Vues caudo-crâniales	(1)
Vues larges du côté droit	(3)
Vues larges du côté gauche	(3)
Vues larges depuis la passerelle	(2)

Figure 29 : Diagramme représentant les photographies destinées à évaluer la condition corporelle des carcasses de bélugas.



Les photographies utilisées pour l'évaluation de la condition corporelle sont prises sous 3 angles différents permettant d'apprécier la rondeur générale, la concavité ou convexité des muscles épaxiaux et de la région cervicale.

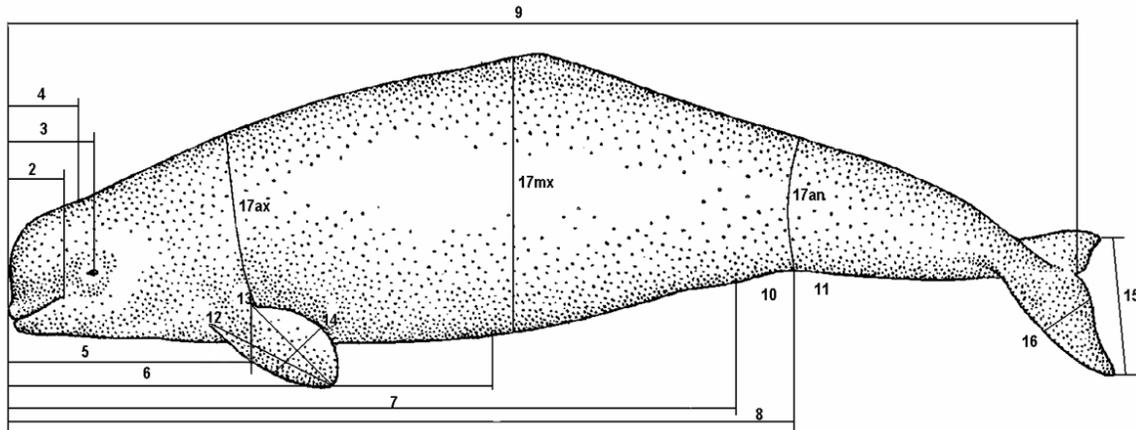
Mesures morphométriques

L'examen externe se poursuit par l'enregistrement d'une série de mesures morphométriques standards. Les mesures qui nous intéressent tout particulièrement sont la taille totale (du rostre à l'encoche de la nageoire caudale; mesure 9), les demi-circonférences axillaire, maximale et anale ainsi que les épaisseurs de tissu adipeux axillaires dorsale, latérale et ventrale (tableau 11, figure 30). La mesure de l'épaisseur du tissu adipeux, dans ce protocole, exclut l'épaisseur de la peau. Ces mesures sont effectuées entre la jonction du tissu adipeux et des muscles peauciers et la limite entre le derme blanc et fibreux et l'hypoderme graisseux.

Tableau 11 : Mesures morphométriques relevées lors de la nécropsie d'une carcasse de béluga.

Mesures morphométriques	Numéro associé sur la figure 30
Rostre à la commissure des lèvres (cm)	2
Rostre au centre de l'œil (cm)	3
Rostre au centre de l'évent (cm)	4
Rostre au point d'insertion postérieur de la pectorale (cm)	5
Rostre au centre de l'ombilic (cm)	6
Rostre au centre de la fente génitale (cm)	7
Rostre au centre de l'anus (cm)	8
Rostre à l'encoche de la caudale (cm)	9
Bord caudal de la fente génitale au centre de l'anus (cm)	10
Longueur de la fente génitale (cm)	11
Longueur antérieure de la pectorale (cm)	12
Longueur postérieure de la pectorale (cm)	13
Largeur maximale de la pectorale (cm)	14
Largeur de la caudale (cm)	15
Largeur diagonale de la caudale (cm)	16
½ Circonférence axillaire (cm)	17ax
½ Circonférence maximale (cm)	17mx
½ Circonférence anale (cm)	17an
Épaisseur du tissu adipeux dorsal (mm)	18d*
Épaisseur du tissu adipeux latéral (mm)	18l
Épaisseur du tissu adipeux ventral (mm)	18v

Figure 30 : Schéma des mesures morphométriques collectées lors des nécropsies de bélugas.



Les mesures d'intérêt pour l'étude sont la longueur totale (9) et les circonférences (17ax, 17mx, 17an). Source : protocole de nécropsie des bélugas – auteur inconnu.

Étape de retrait du pannicule adipeux

L'étape suivante consiste en le retrait de la moitié du pannicule adipeux de la carcasse. Le pathologiste se charge de tracer la limite dorsale le long de la crête dorsale, la limite ventrale le long de la ligne médiane du corps, la limite crâniale immédiatement en arrière (caudalement) du crâne et la limite caudale immédiatement en avant de la nageoire caudale.

Les étudiants dépècent ensuite la carcasse, en prenant soin de prélever la peau et le tissu adipeux, et en laissant les muscles sur la carcasse. Le lard est collecté dans des barils dédiés de masse connue. À la fin de cette étape, les barils sont pesés à l'aide de la balance installée sur le treuil afin de connaître la masse du demi-pannicule adipeux. La nageoire et la peau la recouvrant ne sont pas incluses dans la pesée.

Au cours de cette étape, un échantillon standard de peau et pannicule (épaisseur complète) de 15cm² est prélevé et pesé. La peau est ensuite séparée du gras, et ces deux composants sont pesés séparément. D'autres échantillons sont prélevés pour divers projets de recherche.

Pesée de muscles épaxiaux

Les muscles épaxiaux situés sur le côté le plus accessible, entre les vertèbres lombaires 1 et 12 (inclus), sont extraits de la carcasse et pesés. Ces muscles sont composés de la masse musculaire située latéralement aux apophyses épineuses et dorsalement aux apophyses transverses (un côté).

Suite de la nécropsie

Par la suite, l'examen interne s'intéresse successivement à tous les organes présents dans la carcasse. La majorité des organes sont pesés. Plus de 130 échantillons sont prélevés de routine, à quoi s'ajoutent des prélèvements spécifiques quand des lésions macroscopiques sont visibles. Le statut reproducteur des femelles et la présence éventuelle de fœtus sont notés.

La durée totale d'une nécropsie en présence d'une équipe complète est d'environ 5 heures de travail.

Plus tard, des lames histologiques sont réalisées à partir des échantillons prélevés. La combinaison de l'examen macroscopique, de l'examen microscopique de ces lames, et d'examens complémentaires permet le plus souvent de déterminer la cause de la mort de l'animal.

Détermination de l'âge des bélugas échoués

Les dents sont prélevées et utilisées dans un second temps pour estimer l'âge des animaux à l'institut Maurice Lamontagne de Pêches et Océans Canada. Cette estimation est effectuée en comptant le nombre de groupes de couches de dentine (growth layer groups, GLGs) sur une section longitudinale médiane d'une dent (Lesage et al., 2013). Un GLG est déposé chaque année (Stewart, Campana, Jones, & Stewart, 2006). Le nombre de GLG est utilisé comme une estimation de l'âge en années, bien que l'usure dentaire puisse conduire à une sous-estimation de cet âge (Lesage et al., 2013). Les groupes d'âge suivant ont été définis : Les juvéniles sont les animaux ayant moins de 8 GLG, les jeunes adultes entre 8 et 19 GLG et les adultes matures plus de 19 GLG. Pour les besoins de notre analyse, les jeunes adultes et les adultes ont été groupés et considérés comme « Adultes ».

