

ANNEE 2021 THESE : 2021 – TOU 3 – 4087

CARACTERISATION DU DERANGEMENT DES CETACES EN MER MEDITERRANEE FRANCAISE ET METHODES D'ÉVALUATION DE CE DERANGEMENT, DE L'ECHELLE INDIVIDUELLE A L'ECHELLE DES POPULATIONS

THESE
pour obtenir le titre de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

SIMON-OUVRARD Roxane

Née le 06/02/1995 à PESSAC (33)

Directrice de thèse : Mme Annabelle MEYNADIER

JURY

PRESIDENT :
M. Francis ENJALBERT

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURES :
Mme Annabelle MEYNADIER
M. Guillaume LE LOC'H

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Maître de Conférences à l'Ecole Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITEE :
Mme Hélène LABACH

Directrice de l'association MIRACETI, Docteure vétérinaire et biologiste
en faune marine

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire

Directeur : Professeur Pierre SANS

**PROFESSEURS CLASSE
EXCEPTIONNELLE**

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et économie de la santé animale*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
- Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*
- Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales règlementées*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*
- M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*
- M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*
- M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*
- Mme **DEBREUQUE Maud**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*
- Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*
- Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*
- Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*
- Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **RAMON PORTUGAL Félipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*

Aux membres du jury de thèse,

À Monsieur le Professeur Francis ENJALBERT

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Nutrition et alimentation

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse.

En témoignage de mon profond respect.

À Madame le Docteur Annabelle MEYNADIER

Professeure et référent éthique à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Alimentation Animale

Qui m'a fait l'honneur de diriger ma thèse.

Veillez trouver ici l'expression de ma vive gratitude pour votre soutien, votre gentillesse et votre disponibilité tout au long de l'élaboration de ce travail.

À Monsieur le Professeur Guillaume LE LOC'H

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Maître de conférences en médecine zoologique et santé de la faune sauvage

Qui m'a fait l'honneur de participer à mon enquête expérimentale, ainsi qu'à mon jury de thèse.

*En témoignage de ma reconnaissance,
Sincères remerciements.*

À Madame Hélène LABACH

Directrice de l'association MIRACETI

Docteure vétérinaire et biologiste en faune marine

Qui m'a donnée l'opportunité de réaliser ce travail.

Qu'il me soit permis de vous remercier et de vous exprimer mon estime et profond respect.

Table des matières

Table des matières.....	1
Liste des figures	3
Liste des tableaux	6
Liste des photos	8
Introduction.....	9
Partie 1 : Contexte d'étude	11
1- La zone d'étude.....	11
2- Les cétacés	12
a. <i>Stenella coeruleoalba</i> : le dauphin bleu et blanc	13
b. <i>Tursops truncatus</i> : Le Grand dauphin	15
c. <i>Grampus griseus</i> : Le dauphin de Risso	18
d. <i>Globicephala melas</i> : Le globicéphale noir.....	22
e. <i>Physeter macrocephalus</i> : Le cachalot	24
f. <i>Balenoptera physalus</i> : Le rorqual commun	26
g. Autres espèces	30
h. Domaines lacunaires.....	30
1- Les menaces (Conseil Maritime de Façade (CMF), DIRM 2016)	33
2- Le contexte législatif.....	37
a. Statuts de conservation des espèces.....	37
b. Cadre juridique international, européen, français et local	38
c. Exemples d'outils de terrain et de mesures mises en place	44
3- L'étude et la conservation des cétacés en mer Méditerranée	45
a. Les acteurs	45
b. Les actions et initiatives.....	47
Partie 2 : Dérangement de la faune sauvage et application aux cétacés de Méditerranée française	49
1- Le dérangement : Définition et origine	49
a- Caractériser le dérangement	49
b- Causes de dérangements subis par les cétacés	55
2- Les conséquences du dérangement des cétacés sauvages	55
a- Conséquences individuelles à court terme du dérangement	56
b- Conséquences à moyen-long terme du dérangement d'un individu	63
c- Conséquences du dérangement sur les populations	67
Partie 3 : Méthodes d'évaluation du dérangement des cétacés : Des individus aux populations.....	70

1-	Méthodes d'évaluation du dérangement d'un individu ou d'un groupe d'individus	70
a-	Méthodes d'évaluation du dérangement basées sur les paramètres comportementaux	71
b-	Méthodes basées sur les paramètres physiologiques.....	79
c-	Autres méthodes : avis d'experts et modèles.....	85
2-	Passage de l'individu à la population	88
a.	Propositions d'indicateurs	89
b.	Population Consequences Of Disturbances framework	91
c.	Autres modélisations	96
3-	Applications aux populations méditerranéennes dans un objectif de conservation	98
a-	Synthèse des études recensées dans la méta-analyse bibliographique : centrage sur les 6 espèces choisies.....	98
b-	Méthodes et suggestions recensées dans la méta-analyse bibliographique.....	103
c-	Etat des lieux des connaissances sur le dérangement des cétacés en mer Méditerranée	105
4-	Discussion	106
Partie 4 : Utilisation du WATWC : évaluation du dérangement du grand dauphin de méditerranée et extension des résultats à l'échelle de la population.....		108
1-	Objectifs de l'étude	108
2-	Hypothèses	108
3-	Matériel et méthode	109
4-	Résultats	111
a.	Scoring des Domaines 1 à 6 et leurs confiances	111
b.	Persistance, incidence et fréquence du dérangement.....	113
c.	Scoring des taux populationnels	115
d.	Formulaire d'évaluation de l'outil WATWC comme indicateur du dérangement engendré par le whale-watching sur des cétacés de méditerranée.....	115
5-	Discussion	117
6-	Conclusion.....	117
Conclusion		118
Références.....		120
Annexes.....		132

Liste des figures

Figure 1 : Bathymétrie de méditerranée occidentale (source : (Morvan, 2012)).....	11
Figure 2 : Répartition des populations de grand dauphin sur les côtes méditerranéennes françaises, d'après l'INPN (Source : (Site de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel 2017))	17
Figure 3a : Groupes de Dauphins de Risso photo-identifiés entre 1989 et 2012 (Source : Labach et al. 2012)	20
Figure 3b : Observations de Dauphins de Risso depuis 1989 contenant des individus observés à plusieurs reprises (Source : Labach et al. 2012)	20
Figure 4 : Distribution des observations en effort et hors effort de Globicéphale noir en fonction du fournisseur entre 1992 et 2015 en Méditerranée nord-occidentale. Source : (TARDY et al. 2016a).....	24
Figure 5 : Distribution des groupes de Cachalot entre 1992 et 2015 en Méditerranée nord-occidentale. Source : (TARDY et al. 2016a).....	26
Figure 6 : Distributions des observations de Rorqual commun en fonction des fournisseurs entre 1992 et 2015 en Méditerranée nord-occidentale. (Source : (TARDY et al. 2016a))......	29
Figure 7 : Schématisation des différentes pressions subies par les cétacés, les modalités de réponses des animaux et leurs impacts sur les populations, (Site internet de PELAGIS, 2021).	33
Figure 8 : Carte de la zone économique exclusive (ZEE) française sur le littoral méditerranéen et du trafic associé. Extrait du fascicule « l'Etat sur le littoral en mer méditerranée » de 2016.	35
Figure 9a : Zones d'activités des opérateurs de whale watching en Méditerranée française, en 2012. Les couleurs vont du bleu au rouge dans le sens croissant du nombre d'opérateurs (de 1 à 8) qui exercent dans chaque quadrilatère de 5' de latitude sur 5' de longitude. Source : (Mayol et al. 2014)	36
Figure 9b : Évolution du nombre d'opérateurs de whale-watching depuis 1970 en Méditerranée française. Chaque barre bleue correspond aux années de recensement (pour 1990 et 2000, les valeurs ont été évaluées par enquête, cf. Mayol et Beaubrun, 2005). L'écart entre l'axe des abscisses et le bas de l'axe bleu correspond au nombre de structures ayant cessé leur activité depuis le précédent recensement.	36
Figure 10 : La Liste rouge des espèces menacées en France ; Mammifères de France métropolitaine (2017). Source : (UICN Comité Français 2017) et (UICN Mondial 2020)	38
Figure 11 : Aires marines protégées de la façade méditerranéenne française (Source : (Conseil Maritime de Façade (CMF), DIRM 2016))	41

Figure 12 : Espace marin couvert par l'Accord Pelagos. Source : Site internet du Parc National de Port-Cros.	42
Figure 13 : Frise récapitulative des textes légiférant la protection des mammifères marins de méditerranée. Liste non exhaustive.	43
Figure 14 : Zones de vigilance et d'interdiction d'approche d'un cétacé établies par le code de bonne conduite de l'ACCOBAMS et de l'Accord Pelagos. (ACCOBAMS, 2010)	44
Figure 15 : Création de MIRACETI en 2020	47
Figure 16 : Les effets directs et indirects de la prédation sur les cétacés. Source : (Christiansen, Lusseau 2013)	51
Figure 17 : Fréquence des changements de comportement du cachalot en fonction de la présence ou non de bateaux. (Résultats issus des observations basées à terre.) (Source : (Magalhães et al. 2002a)).	57
Figure 18 : Sensibilité aux nuisances sonores des cétacés. Source : (Gannier 2013). Code couleurs des résultats : bleu : il y a des résultats précis sur l'espèce considérée – Jaune : il n'y a pas de résultat sur l'espèce, mais sur une espèce voisine – Rouge : il y a peu d'éléments utilisables. Code couleurs des sensibilités : Bleu : Faible – Jaune : moyenne – Rouge : forte – Gris : Inconnu.....	58
Figure 19 : Changements biologiques principaux dans un organisme soumis au stress. (Source :(Dierauf, Gulland 2001))	60
Figure 20 : Axe hypothalamo-hypophysio-surrénalien dans le contrôle de la sécrétion de cortisol. Source : (Silverthorn, Ober, Johnson 2007).....	61
Figure 21 : Schéma non exhaustif des effets du stress chronique sur la physiologie des mammifères. Source : (Bo MERCERA 2019).....	64
Figure 22 : Caractéristiques de la mère et du nouveau-né potentiellement influencées par le stress pré-natal et pouvant affecter la survie du jeune, chez les mammifères d'élevage. (Source : (Merlot, Quesnel, Prunier 2015)).....	65
Figure 23 : Schéma représentant les individus comme des systèmes énergétiques, avec des individus témoins (a) et des individus soumis au whale watching, avec une visibilité de l'impact direct sur la répartition énergétique. Source : (Lusseau, 2006)	66
Figure 24 : Conséquences du stress aigu et du stress chronique sur les cétacés sauvages. Source : (Dierauf, Gulland 2001).....	67
Figure 25 : Modélisation des conséquences du dérangement, de l'échelle individuelle à l'échelle des populations. Source : (Lusseau, 2006)	68

Figure 26 : Exemple de marche à suivre pour analyser le comportement de grands cétacés. Source : (Di Clemente et al. 2018).....	72
Figure 27 : Schématisation des effets de l'activité de Whale Watching sur les cétacés, de l'échelle individuelle à celle des populations. Source : (Pirota et al. 2018) modifié par l'association MIRACETI dans le cadre du projet MARKER.....	88
Figure 28 : Modèle conceptuel du PCOD. Ce schéma représente les effets de l'exposition à un facteur de dérangement sur les fonctions vitales d'un seul animal. Ces effets sont ensuite intégrés pour tous les individus de la population concernée, afin de modéliser les conséquences sur la dynamique de population. Source : (King et al. 2015). Les lettres dans les cercles indiquent l'utilisation de fonctions de transfert qui décrivent la relation entre les variables de chaque côté de la flèche. Les flèches en pointillés indiquent des fonctions de transferts qui ont été paramétrées grâce à un avis d'experts.....	92
Figure 29 : Le modèle PCOD et les études utilisées pour l'approvisionner en données. Un modèle PCOD bien documenté peut prédire les effets d'un dérangement donné au niveau populationnel, et peut donc être intéressant dans la prise de décisions politiques. Source : (Nowacek et al. 2016).....	97
Figure 30 : Etat des lieux des connaissances permettant d'appliquer la méthode de PCOD sur les espèces en mer Méditerranée. Source personnelle inspirée de la méthode du PCOD.....	102
Figure 31a : Scores d'impact du dérangement du scénario 1, sur les différents domaines considérés, issus des réponses des experts à la grille d'évaluation en Annexe 5.	111
Figure 31b : Scores d'impact du dérangement du scénario 2, sur les différents domaines considérés, issus des réponses des experts à la grille d'évaluation en Annexe 5.	112
Figure 32 : Moyennes des scores d'impact du dérangement des deux scénarios proposés, pour chaque domaine considéré.	113

Liste des tableaux

Tableau 1 : Indices de fidélité par secteurs ; Nombre d’observations de chaque individus/Nombre total d’observations de l’individu (Source : Labach et al. 2012).....	21
Tableau 2 : Tableau synthétique des domaines de connaissances des cétacés de Méditerranée.	32
Tableau 3 : Les caractéristiques écologiques susceptibles d’être modifiées par un dérangement anthropique, (d’après Bejder et a. 2009).	51
Tableau 4 : Les facteurs à même d’influencer la réponse des animaux à un dérangement. (Source : Bejder et al. (2009))	54
Tableau 5a : Exemple d’éthogramme comportemental pour les grands cétacés. Source :(Di Clemente et al. 2018)	74
Tableau 5b : Définitions des activités de petits cétacés. Source : (Chazot, Charrier, Leseignoux 2020a).....	75
Tableau 6 : Résultat de la sollicitation d’expert sur l’évaluation de différentes méthodes de collectes d’informations sur la santé individuelle des individus de chaque espèce. Source : (Booth, Sinclair, Harwood 2020)..	85
Tableau 7 : Version du « FDM » adaptée pour l’évaluation des effets des activités Tableau anthropiques sur le bien-être des cétacés sauvages. (Christine Nicol et al. 2020)	86
Tableau 8a : Indicateurs de pression, en cours d’élaboration par Laurène Trudelle, MIRACETI.	89
Tableau 8b : Indicateurs de risque, en cours d’élaboration par Laurène Trudelle, MIRACETI.	90
Tableau 8c : Indicateur d’impact individuel, élaboré par Laurène Trudelle, MIRACETI.	90
Tableau 8d : Indicateur d’impact populationnel élaboré par Laurène Trudelle, MIRACETI.	90
Tableau 9 : Résultat de la sollicitation d’expert sur l’évaluation de différentes méthodes de collectes de données démographiques, du moins réalisable (0) au plus pertinent (3). Source : (Booth, Sinclair, Harwood 2020).	93
Tableau 10 : Méthodes retenues par les experts pour la collecte d’informations sur les variables démographiques des cétacés, afin d’alimenter le modèle du PCOD. Source : (Booth, Sinclair, Harwood 2020)	95

Tableau 11 : Tableau répertoriant les quelques études de dérangement sur les espèces présentes en mer Méditerranée, et les méthodes utilisées. Ce tableau est issu de la méta-analyse effectuée dans le cadre de cette thèse. 100

Tableau 12 : Tableau d'évaluation des menaces réalisé dans le cadre d'un plan de gestion du rorqual commun du Canada. (Extrait du plan de gestion : voir (Canada 2017)) 107

Liste des photos

Photo 1 : Illustration du Dauphin bleu et blanc, propriété de MIRACETI.....	14
Photo 2 : Illustration du Grand dauphin, propriété de MIRACETI.....	16
Photo 3 : Illustration du Dauphin de Risso, propriété de MIRACETI.	19
Photo 4 : Illustration du Globicéphale noir, propriété de MIRACETI.	22
Photo 5 : Illustration du Cachalot, propriété de MIRACETI.	24
Photo 6 : Illustration du Rorqual commun, propriété de MIRACETI.	28

Introduction

La préoccupation de la société pour la faune sauvage, et pour les impacts des activités humaines sur celle-ci est grandissante. De nombreuses études d'impacts ont été réalisées, en particulier quand l'activité anthropique engendre des blessures physiques, visibles ou mesurables sur les animaux. Mais il existe un processus de modification générale du comportement de la faune sauvage par nos activités, plus difficile à mesurer et à objectiver : ce processus est issu du dérangement des animaux.

La mer méditerranée est une mer semi-fermée très fréquentée par les humains et à ce titre particulièrement exposée aux impacts des activités humaines sur l'écosystème marin. Les animaux qu'elle héberge, et en particulier les cétacés, alimentent son succès touristique et les activités qui lui sont liées. Malgré les avancées législatives en termes de conservation de ces espèces depuis le siècle dernier, les cétacés de Méditerranée se trouvent encore très exposés à diverses activités anthropiques susceptibles d'être, entre autres, source de dérangement. La caractérisation de ce dérangement et son impact sur les individus et sur les populations est un sujet très discuté aujourd'hui afin de mettre en place des mesures de gestion.

De façon générale, la récolte de données sur la faune sauvage marine est longue et fastidieuse. En effet, de par le milieu peu accessible dans lequel ils évoluent, et leurs caractéristiques biologiques de grands mammifères (longévité élevée, taux de reproduction faible), les effets sur le long terme du dérangement sont difficiles à mesurer et analyser, (Nowacek et al. 2016) et donc à limiter avec des mesures de gestion adaptées. Cette problématique rend donc les méthodes d'évaluation du dérangement hors terrain intéressantes, incluant les dires d'experts et les modélisateurs. Ces modélisateurs permettent d'estimer, à partir de micro-observations à l'échelle individus-groupe d'individus, l'impact du dérangement à l'échelle des populations de cétacés sur du court, moyen et long terme. Cependant, les modélisateurs nécessitent généralement des quantités de données importantes, dont nous disposons peu ou pas dans le domaine d'étude des cétacés en milieu sauvage.

Le sujet de cette thèse bibliographique a été établi en parallèle d'une étude, appelée MARKER, conduite par l'association scientifique et opérationnelle MIRACETI. Il s'agit d'une étude pilote visant à fournir des outils d'évaluation du dérangement des cétacés lié à l'activité de

whale-watching¹ d'une part, et de l'efficacité écologique et économique d'un label visant à limiter cette pression d'autre part.

La présente thèse s'ancre dans la problématique de caractérisation et d'évaluation du dérangement des cétacés, et de l'extension des observations de l'échelle individuelle à l'échelle populationnelle.

Notre stratégie consiste donc à répondre à trois objectifs : caractériser le dérangement des cétacés, synthétiser les méthodes de son évaluation à travers le monde aux échelles individuelles et populationnelles, et réfléchir à l'application de ces méthodes à notre contexte méditerranéen français. Nous tenterons de répondre à cette problématique à l'aide d'une méta-analyse bibliographique, ainsi que d'une réflexion aidée d'un dire d'experts sur l'utilisation d'un outil d'évaluation du bien-être des cétacés sauvages, le WATWC.

¹ Whale-watching : En français, l'observation des baleines. Il s'agit d'une forme de tourisme qui a pour but d'observer les cétacés dans leur milieu naturel.

Partie 1 : Contexte d'étude

1- La zone d'étude

Nous nous intéressons ici au littoral méditerranéen français. La zone d'étude comprend donc la côte méditerranéenne française continentale, comprenant le Golfe du Lion et la Provence, ainsi que les côtes corses.

Le littoral maritime peut être généralement décomposé en trois grands types d'habitat : le plateau continental en rouge sur la Figure 1 ci-dessous, le talus continental en orange sur la Figure 1, puis enfin, la plaine abyssale en bleu de plus en plus foncé à mesure que la profondeur augmente, sur la Figure 1. Le talus est fendu par de multiples canyons sous-marins, en jaune/vert sur la Figure 1, (Site du GREC, 2021).

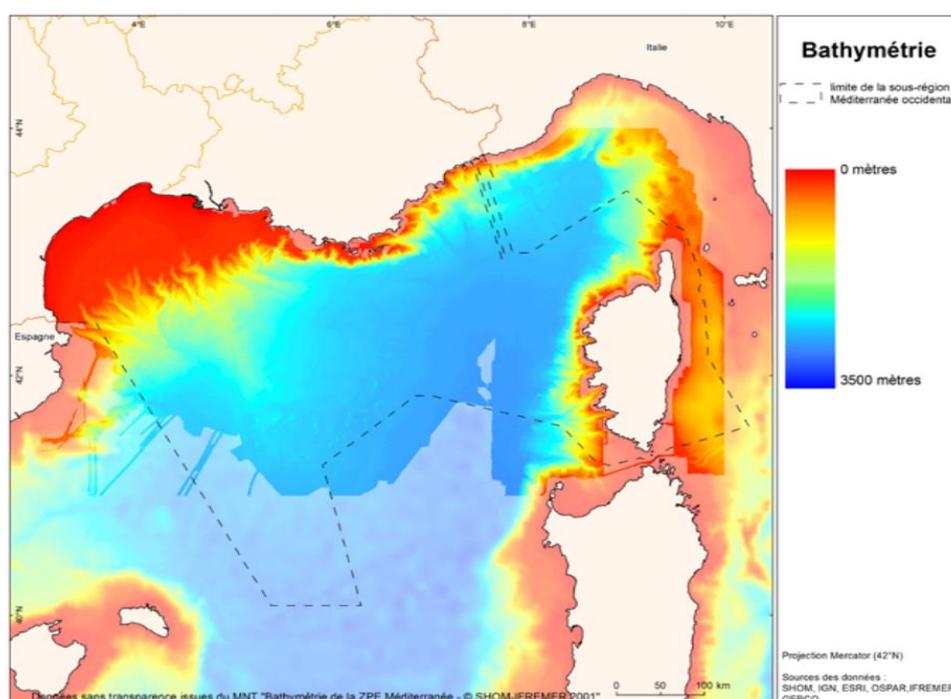


Figure 1 : Bathymétrie² de méditerranée occidentale (source : (Morvan, 2012))

Ce talus prolongeant le plateau continental est abrupt, et plonge vers des profondeurs de -2000 à -3000m. (Morvan, 2012). La méditerranée est une mer fermée, et très anthropisée. Si les activités

² La bathymétrie est la science de la mesure des profondeurs et du relief de l'océan pour déterminer la topographie du sol de la mer. Une convention utilisant des codes de couleur permet de cartographier les fonds marins de manière standardisée.

de tourisme pullulent particulièrement au niveau des côtes, le large est lui aussi traversé en permanence par un trafic maritime important.

La mer méditerranée occidentale est une zone importante d'*upwelling*, ou « Remontée d'eau ». Ce phénomène océanographique se produit quand, sous l'action du vent, les eaux de surface, chaudes, sont chassées vers le large. Le vide ainsi créé est comblé par les eaux plus profondes, plus froides (autour de 13°C) et riches en éléments nutritifs, (c'est le « pompage d'Eckman ») générant ainsi un intense courant de phytoplancton, (Colin et al. 2016). On assiste ainsi à des blooms planctoniques, correspondants à des floraisons phytoplanctoniques soudaines et rapides en particulier l'été, en pleine période estivale. Cet environnement favorable à toute la chaîne trophique fait de la mer Méditerranée nord occidentale un lieu de nourrissage de prédilection pour les cétacés.

2- Les cétacés

Les cétacés sont des mammifères marins séparés en deux sous-groupes : les Odontocètes ou cétacés à dents, et les Mysticètes ou cétacés à fanons. En mer méditerranée, une vingtaine d'espèces de cétacés ont été observées, et 8 sont résidentes : il s'agit du dauphin bleu et blanc, du grand dauphin, du dauphin de Risso, du globicéphale noir, du cachalot, du rorqual commun, de la baleine à bec de cuvier, et enfin, du dauphin commun. Certains d'entre eux comme le Grand Dauphin, dont l'habitat préférentiel se situe au niveau du plateau continental sur des fonds inférieurs à 200 m (Gnone et al. 2011), sont observés près des côtes, tandis que les espèces qui chassent à des profondeurs importantes, comme le Cachalot ou la Baleine à bec de cuvier, sont observées plutôt sur le talus et au large.

Nous nous attarderons plus particulièrement sur les 6 espèces les plus observées en Méditerranée française, à savoir : le Dauphin bleu et blanc, le Grand dauphin, le Dauphin de Risso, le Globicéphale noir, le Cachalot et le Rorqual commun, (Laran et al. 2012).

a. *Stenella coeruleoalba* : le dauphin bleu et blanc

i. Caractéristiques de l'espèce (Sylvestre, 2014)

Le Dauphin bleu et blanc (photo 1) est un odontocète (cétacé à dents) répandu dans les eaux tempérées à chaudes de tous les océans. Il existe des sous populations génétiquement distinctes pour cette espèce : les animaux de la Méditerranée sont légèrement plus petits (5 à 8 cm de moins, en moyenne) que ceux de l'Atlantique nord oriental, dont ils sont séparés par une frontière naturelle (bien qu'ils puissent théoriquement la franchir) constituée par le détroit de Gibraltar.

Morphologie : 2m de long en moyenne pour 120 kg

Longévité : autour de 40 ans

Vie sociale : il vit en groupe de plusieurs dizaines d'individus. Leur structure sociale fonctionne sous forme de « classes » d'individus associés en fonction de leur âge et de leur sexe. Certains groupes côtiers sont constitués d'individus fidèles au même site et au même groupe durant toute leur vie. Le Dauphin bleu et blanc est capable d'émettre la totalité des catégories de sons caractéristiques des petits delphinidés : Les sifflements et les trains d'impulsions sont utilisés dans un contexte social, on les entend aussi pendant la chasse. Les signaux d'écholocation sont émis à grande quantité pendant la chasse, et aussi pendant d'autres phases d'activité, mais moins fréquemment.

Nourriture : Il se nourrit de poissons, céphalopodes et crustacés.

Menaces : Les filets dérivants, la pollution et la sur-pêche de ses proies, ainsi que des épidémies récentes de Morbilivirus sont les principales menaces qui pèsent sur ce cétacé, (Gannier, 2008). Les risques de collisions avec les navires, le dérangement et les nuisances sonores constituent également des menaces non négligeables.

Reproduction : Il se reproduit de l'été à l'automne, sa durée de gestation est de 11 à 12 mois, et l'allaitement peut durer plus d'un an. On trouve ainsi souvent des femelles accompagnées de leur nouveau-né et d'un juvénile d'environ 1,40m. A la naissance, le nouveau-né nage de manière maladroite, il maîtrise donc mal ses phases respiratoires, et ses apnées sont courtes (1 minute). Au bout de quelques semaines, il maîtrise ses capacités de nage et est capable de suivre les adultes, pourvus qu'ils restent proches de la surface.

Comportement : Leur durée de sonde, ou temps de plongée, est assez courte, de 4 à 5 minutes la majorité du temps. Cependant, les sondes les plus profondes peuvent avoir lieu la nuit, et ne sont donc pas mesurées. L'activité de chasse est principalement observée dans la matinée, fin d'après-midi et début de soirée.

Les phases de socialisation et de voyage sont plus difficiles à distinguer, car souvent concomitantes avec d'autres activités. En présence d'embarcations, ils peuvent être très démonstratifs (sauts, nage à l'étrave, accompagnement des navires...).

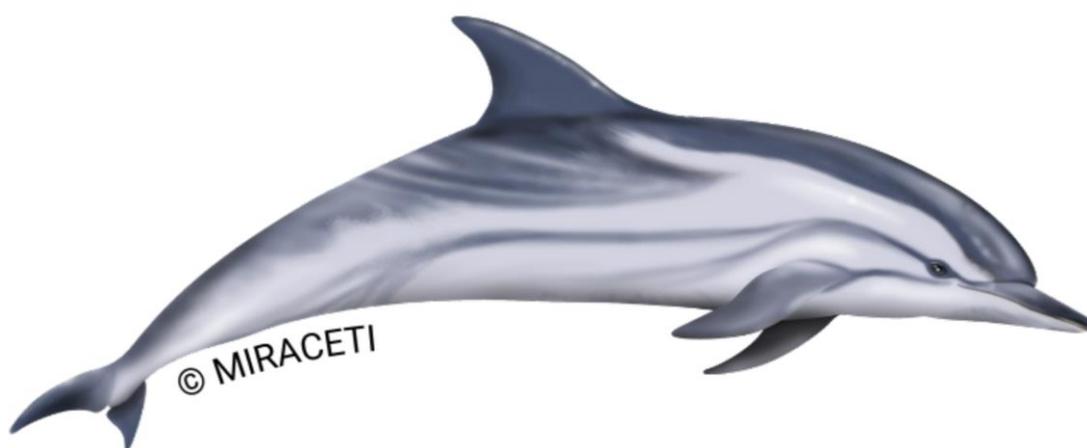


Photo 1 : Illustration du Dauphin bleu et blanc, propriété de MIRACETI.

ii. *Situation en mer méditerranée française*

Le dauphin bleu et blanc est le cétacé le plus fréquemment rencontré en mer méditerranée, préférentiellement au-delà de l'isobathe des 500m. On pense que la population méditerranéenne comprend une population côtière et une population pélagique. La première fréquente des sites d'eaux profondes, en différents points le long de la côte, et les individus seraient plutôt fidèles à un site donné, comme dans la région d'Antibes, ou celle du Levant. La seconde est composée de dauphins du large qui se déplacent sur des distances de plusieurs centaines de kilomètres, sans territoire fixe. (Site du GREC, 2021)

Les groupes observés sont constitués principalement de mâles et de femelles en phase de reproduction en juillet, de femelles accompagnées de leurs petits nés en été, et certains groupes sont constitués majoritairement de juvéniles ou sub-adultes, très actifs en surface. Il existe donc une ségrégation par classe d'âge dans cette espèce, (Gannier, 2008).

L'abondance du dauphin bleu et blanc diminue au cours de l'automne, et remonte en milieu de printemps, avec la migration des groupes pélagiques vers le sud du bassin occidental avec le contraste thermique. Une fraction de la population côtière se maintient cependant toute l'année, (Site du GREC, 2021). Les campagnes de suivis aériens de la méga-faune marine (SAMM) en 2011-2012 dans la zone économique exclusive (ZEE) française et la partie italienne du sanctuaire Pélagos ont dénombré 130 000 individus en été et 57 300 en hiver.

b. Tursops truncatus : Le Grand dauphin

i. Caractéristiques de l'espèce

Le Grand dauphin (*Tursiops truncatus*, photo 2), est un odontocète très répandu mondialement, il est donc très étudié et assez connu, par rapport à la moyenne de nos connaissances sur les cétacés à l'état sauvage en général.

Morphologie : Il peut atteindre 3 à 4 mètres de long et peser jusqu'à 600kg.

Longévité : Entre 30 et 50 ans.

Vie sociale : Il vit en groupe de moins d'une douzaine d'individus la plupart du temps, dans lesquels se trouvent généralement 1 ou 2 juvéniles, et se regroupent parfois jusqu'à 50 voire 100 individus, (Site du GREC, 2021). Son rostre est court et épais, distinct du melon (photo ci-dessous). Sa répartition mondiale est très large, on le rencontre près des côtes (sous-populations côtières), au large (sous-populations pélagiques), plutôt dans des eaux tempérées ou tropicales, toute l'année, (Site du GREC, 2021). La structure sociale du Grand dauphin est de type « fission-fusion », c'est-à-dire que la taille du groupe varie selon l'activité : on trouve, lors de la chasse, des groupes de seulement quelques individus, tandis que les activités de repos et de socialisation rassemblent les effectifs les plus importants, (Labach, GIMENEZ, Barbier 2016). Le Grand dauphin est capable d'émettre toutes les catégories caractéristiques de sons des petits delphinidés : sifflements de moyenne, à ultra-haute fréquence, impulsions d'écholocalisation émises en séries régulières pendant la chasse. Il émet aussi des sons plus exotiques, comme des aboiements, liés à des contextes sociaux agités, et il arrive de rencontrer des grands groupes très bruyants, (Gannier, 2013).

Nourriture : Son régime alimentaire est constitué de poissons (merlu, muges, mullets), crevette, seiches, calmars. En captivité, il mange 5 à 8 kg de maquereaux et harengs par jour. C'est donc un concurrent potentiel pour les pêcheurs.

Menaces : Les menaces principales pour le Grand dauphin sont la surpêche de ses proies, les captures accidentelles dans les engins de pêche, la compétition avec les pêcheurs qui peut engendrer des interactions négatives directes, la pollution, et le dérangement sonore et présentiel.

Reproduction : La gestation dure environ 12 mois, avec des accouplements au printemps, et une femelle donne naissance à un petit tous les 2 à 6 ans. L'allaitement dure plus d'un an, entre 12 et 18 mois. Les jeunes restent avec leur mère plusieurs années.

La maturité sexuelle est atteinte entre 5 et 10 ans pour les femelles, entre 10 et 13 ans pour les mâles. (Sylvestre, 2014)

Comportement : Si les Mysticètes voient le plus souvent leurs aires de reproduction et d'alimentation séparées dans le temps et l'espace par de grandes migrations saisonnières, les Odontocètes ont généralement des habitats beaucoup plus restreints, et se nourrissent et se reproduisent aux mêmes endroits. (Christiansen, Lusseau 2013). La chasse a généralement lieu en fin de journée et la nuit. Opportuniste, le grand dauphin est souvent observé en train de suivre les chalutiers, autour des cages de pisciculture ou prenant des poissons dans les filets.



Photo 2 : Illustration du Grand dauphin, propriété de MIRACETI.

ii. Situation en mer méditerranée française

En mer Méditerranée, on le retrouve partout, de Gibraltar jusque dans la mer Noire. Dans le bassin occidental, il occupe principalement le littoral continental et celui des grandes îles (Figure 2). Contrairement à d'autres régions du monde, aucune population ou sous-population strictement pélagique n'a été rapportée en mer Méditerranée. Il est présent principalement sur le plateau continental sur des fonds inférieurs à 200m. Son habitat proche des côtes le soumet donc à de nombreuses pressions anthropiques, (Gnone et al. 2011).

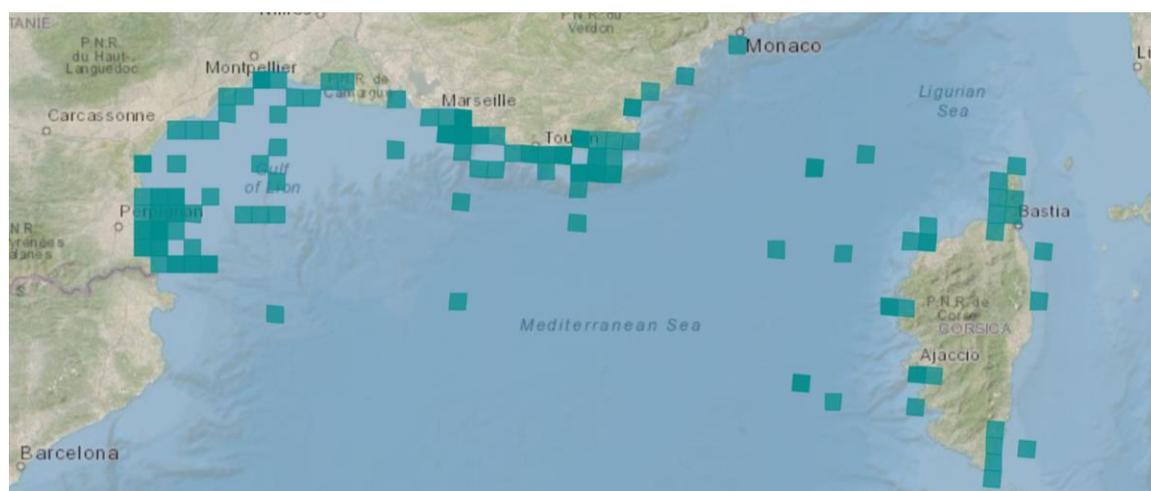


Figure 2 : Répartition des populations de grand dauphin sur les côtes méditerranéennes françaises, d'après l'INPN (Source : (Site de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel 2017))

C'est une espèce adaptable et opportuniste, capable d'exploiter son habitat résidentiel en toute saison. Quelques déplacements de grands dauphins sur plusieurs centaines de km, entre la Corse et la Provence, sont toutefois à noter. (Fiche d'identification du Grand Dauphin ou Tursiops, site internet du Groupe de REcherche sur les Cétacés 2009)

Il n'existe aucune estimation de la population à l'échelle de la Méditerranée. Le GECEM (Groupement d'Etude des Cétacés de Méditerranée), aujourd'hui fusionné avec d'autres associations sous le nom de MIRACETI, a cependant constitué un catalogue de photo-identification du grand dauphin qui compte aujourd'hui plus de 1000 individus identifiés en régions Provence-Camargue, et 300 en Corse. Plusieurs groupes sociaux d'individus ont été mis en évidence en mer Méditerranée française, dont un fréquente préférentiellement la Provence, trois fréquentent le Golfe du Lion et au moins un fréquente la Corse, (Labach, GIMENEZ, Barbier 2016).

Une étude réalisée au Nord-Ouest de la Corse décrit les habitats favorables au Grand dauphin comme incluant : un plateau continental large, une profondeur d'eau moyenne de 50m, et la proximité de canyons. Cette même étude rapporte que, en hiver, l'abondance des grands dauphins est la même qu'en été, voire supérieure. Cependant, les groupes diffèrent en hiver par l'absence de nouveaux nés, et leur proximité des côtes, plus importante qu'en saison estivale, (DHERMAIN F., GECEM 2005).

La dynamique de population, la localisation des zones vitales, et la nature des menaces et leurs impacts pour les populations restent des domaines dont les connaissances sont lacunaires à ce jour, (Labach, GIMENEZ, Barbier 2016).

Reeves & Notarbartolo di Sciara (2006) estiment qu'une baisse d'au moins 30% de l'effectif des Grands Dauphins dans l'ensemble de la Méditerranée a eu lieu au cours des 60 dernières années du fait de la dégradation, de la perte et de la fragmentation de leur habitat, ainsi que de la mortalité intentionnelle ou accidentelle due aux pêcheries.

Ces menaces ont conduit l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) à classer la sous population de Grand dauphin de méditerranée comme une espèce vulnérable.

c. Grampus griseus : Le dauphin de Risso

i. Caractéristiques de l'espèce

Morphologie : Le dauphin de Risso (photo 3) est un odontocète qui mesure environ 3 m et pèse entre 300 et 500 kg.

De couleur grise à la naissance, leur peau est éclaircie tout au long de leur vie par des cicatrices non pigmentées, reçues lors de joutes amoureuses ou autres activités sociales. Les plus vieux individus sont presque totalement blancs. En effet, les cétacés étant dépourvus de fourrure, leur peau est davantage sujette aux cicatrices que celle des autres espèces de mammifères. La peau du dauphin de Risso est particulièrement sensible et marque facilement, (Hartman et al. 2016). Ce dauphin ne possède pas de rostre.

Longévité : Environ 35 ans

Vie sociale : Les groupes sont généralement constitués de 5 à 20 adultes, et on les rencontre fréquemment en compagnie d'individus d'autres espèces de delphinidés. Ils émettent plusieurs

types de vocalisations, entre 30 Hz jusqu'à 22 kHz, (Corkeron, Van Parijs 2001). Le dauphin de Risso peut émettre les différentes catégories de sons des petits delphinidés : sifflements à moyenne, et haute fréquence, impulsions d'écholocation émises en séries régulières pendant la chasse et la socialisation, (Gannier 2013).

Nourriture : Il se nourrit de céphalopodes.

Menaces : Les captures accidentelles dans les engins de pêche, la pollution, le bruit et le dérangement liés au trafic maritime.

Reproduction : La reproduction serait plutôt estivale, avec des nouveau-nés observés en été. La gestation est d'environ 12 à 13 mois.

Comportement : Lorsqu'ils se nourrissent, ils effectuent des sondes de 1 à 7 min, en groupes de 1 à 4 individus. Les grandes sondes et la chasse sont plutôt nocturnes. C'est un animal réputé pour être plutôt craintif, il s'approche généralement peu des bateaux. (Sylvestre, 2014)

Au repos, les groupes sont stationnaires, inactifs, à moitié émergés. Lorsqu'ils socialisent, les groupes présentent une activité de surface irrégulière, et sont stationnaires. Les sauts sont rares chez cette espèce, mais une position à la verticale en « poirier » lui est caractéristique.

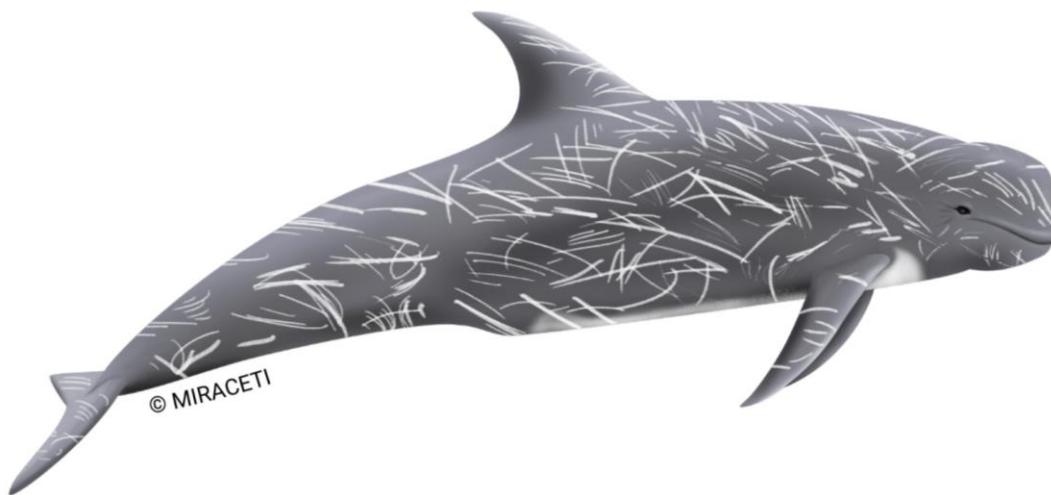


Photo 3 : Illustration du Dauphin de Risso, propriété de MIRACETI.

ii. *Situation en mer méditerranée française*

La population de Méditerranée nord-occidentale est estimée à environ 3000 individus, que l'on retrouve le plus souvent sur des fonds entre 600 m à 1000 m, au niveau du talus continental

et des tombants des canyons sous-marins. On rencontre le dauphin de Risso préférentiellement en été-automne, du golfe du Lion jusqu'à la mer Ligure, (Site du Sanctuaire Pelagos).

Plus particulièrement, des lieux de présence préférentiels ont été identifiés entre 800 et 1500 m au sud des îles d'Hyères, et dans les canyons de Toulon et de Stoechades (Figures 3a et 3b), grâce à un effort de récolte de données en termes de photo-identification pour enrichir le catalogue de reconnaissance des individus dauphins de Risso, (Labach, et al. 2012).

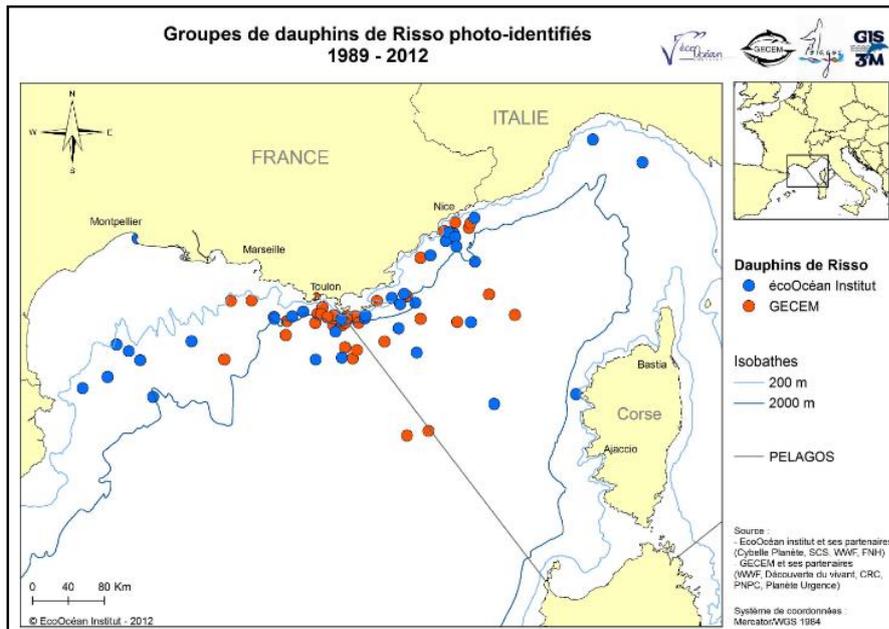


Figure 3a : Groupes de Dauphins de Risso photo-identifiés entre 1989 et 2012 (Source : Labach et al. 2012)

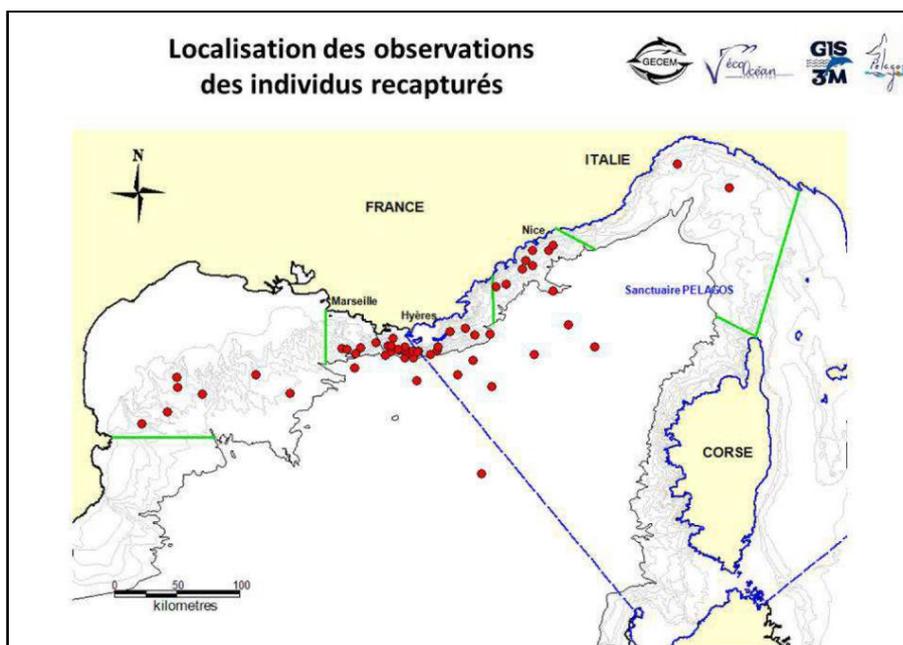


Figure 3b : Observations de Dauphins de Risso depuis 1989 contenant des individus observés à plusieurs reprises (Source : Labach et al. 2012)

Au cours de cette étude, la majorité des groupes de dauphins de Risso ont été observés au mois de septembre. La taille moyenne des groupes observés était de 16,6 individus, et variait de 3 à 40 membres. Si des jeunes ont été observés, en revanche aucun groupe observé ne comprenait de nouveau-nés. Seulement deux nouveau-nés ont été observés en août 2010, dans le canyon de Cassis, suggérant une aire de reproduction occasionnelle dans les parages.

Cette étude du groupement d'intérêt scientifique pour les mammifères marins de méditerranée (GIS3M) a permis d'élaborer un indice de fidélité, sur la base de la recapture des individus ou d'observation et identification des mêmes individus. Cet indice de fidélité est élevé dans le secteur Ouest Provence, (Tableau 1).

	Golfe du Lion	Ouest Provence	Est Provence	Ligure	large	Total
Indice de fidélité moyen	0,58	0,78	0,63	0,50	0,42	0,58
Ecart type	0,25	0,25	0,27	0,00	0,21	0,14

Tableau 1 : Indices de fidélité par secteurs ; Nombre d'observations de chaque individu/Nombre total d'observations de l'individu (Source : Labach et al. 2012)

Notamment, un individu a été observé à quelques km de distance en 18 ans d'intervalle ! Le secteur Ouest Provence semble donc être fréquenté de manière fidèle et sur le long terme. La fréquentation semble correspondre avec l'afflux de calmars (fin d'été/début d'automne) avec une variation à la hausse à cette époque. Le secteur Ouest Provence, autour des îles d'Hyères, est un bon candidat comme site d'alimentation préférentiel de ce dauphin.

L'indice de fidélité est plus faible au large, et 92% des individus ayant été observés au large ont également été observés au niveau du talus. En effet, le large serait une fréquentation transitoire entre des zones hivernales et des zones d'alimentation estivales.

Cette fréquentation côtière en fait une espèce exposée aux estivants durant toute la saison touristique.

d. *Globicephala melas* : Le globicéphale noir

i. *Caractéristiques de l'espèce*



Photo 4 : Illustration du Globicéphale noir, propriété de MIRACETI.

Morphologie : Le Globicéphale noir (*Globicephala melas*, photo 4) mesure jusqu'à 6 m de long et pèse jusqu'à 3 t. Il possède un melon arrondi et volumineux caractéristique de l'espèce. Le jeune globicéphale est de couleur gris-clair, et devient noir teinté de brun en grandissant. Ils présentent des tâches claires, dont les différences de formes et de positions permettent de distinguer l'espèce tropicale de celle retrouvée sur nos côtes.

Longévité : 60 ans pour les mâles et 80 ans pour les femelles

Vie sociale : Extrêmement sociable, le globicéphale noir vit en groupe familial composé en moyenne de 6 à 20 individus. Le groupe se scinde rarement, juste le temps d'un déplacement ou d'une chasse. Les différents groupes d'individus se rassemblent fréquemment en plusieurs dizaines, voire plusieurs milliers d'individus (Sylvestre, 2014). Il n'est pas rare de voir évoluer parmi un groupe de globicéphales noirs d'autres espèces de cétacés comme le Grand dauphin ou le cachalot. La forte cohésion sociale du groupe conduit régulièrement à des échouages en masse ; le groupe entier suit l'animal dominant (mâle ou femelle), même si celui-ci est malade ou désorienté, (Prouteau, Mérigot, Fey 2010). Le répertoire de sons du Globicéphale noir comprend les sifflements, les cris pulsés et les clics d'écholocation.

Nourriture : Il se nourrit principalement de calmars.

Menaces : Trafic maritime, pollution, filets dérivants, échouages de masse, collisions, nuisances sonores... L'orque épaulard et les requins sont leurs principaux prédateurs dans les eaux canadiennes.

Reproduction : Les connaissances sur la reproduction du globicéphale noir sont lacunaires. Celle-ci s'effectue en profondeur le plus souvent et n'est donc pas observable. On sait cependant que la maturité sexuelle est acquise tard, entre 5 et 10 ans pour les femelles et 12 à 18 ans pour les mâles.

La gestation durerait plus d'un an, entre 15 et 16 mois, et les mises bas ont été observées durant l'été. On estime que le sevrage a lieu autour des 2 ans du jeune.

Comportement : Le globicéphale noir ne saute que rarement. Cependant, des activités de surfaces variées ont été observées, telles que des claquements de queue sur l'eau, l'observation de la surface avec la tête hors de l'eau, corps à la verticale, ou encore une nage sur le dos en battant des pectorales. Il chasse les calmars à des profondeurs de -500 m.

ii. Situation en mer méditerranée française

Si les échouages massifs sont relativement fréquents sur certaines côtes de Tasmanie, d'Australie ou de Nouvelle-Zélande, peu de cas ont été signalés en Méditerranée.

Une étude menée par le Gis3M et le Parc national de Port-Cros entre 2006 et 2014 estime une abondance moyenne de 552 individus dans le bassin de méditerrané nord occidental, observés de juin à octobre, (TARDY et al. 2016a). Une corrélation entre la taille du groupe et la présence de nouveau-nés et de juvéniles a été établie, ainsi, des zones préférentielles pour la reproduction et la mise-bas peuvent être identifiées par des regroupements massifs d'individus. Ces zones préférentielles se trouvent dans une bande de 25 milles nautiques entre le large de la Camargue et le large de Cannes (Figure 4). Le taux de reproduction de l'espèce semble se maintenir, entre 1992 et 2015, (TARDY et al. 2016a).

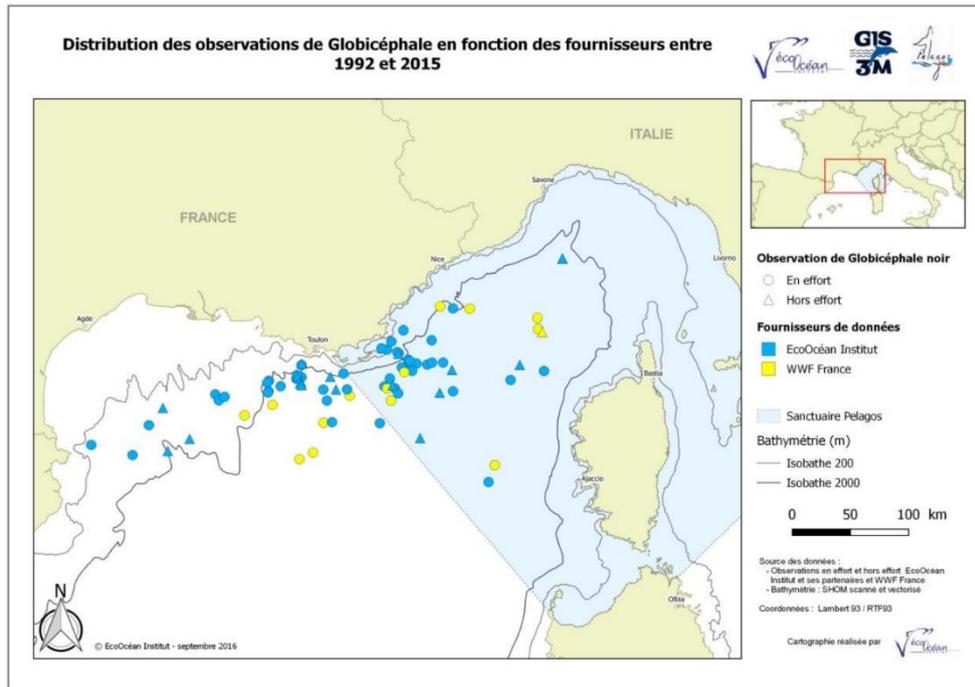


Figure 4 : Distribution des observations en effort et hors effort de Globicéphale noir en fonction du fournisseur entre 1992 et 2015 en Méditerranée nord-occidentale. Source : (TARDY et al. 2016a)

e. *Physeter macrocephalus* : Le cachalot

i. *Caractéristiques de l'espèce (Sylvestre, 2014)*



Photo 5 : Illustration du Cachalot, propriété de MIRACETI.

Morphologie : Le Cachalot (*Physeter macrocephalus*, photo 5) peut mesurer jusqu'à 18 mètres de long et peser 40 t. Il présente un dimorphisme sexuel très marqué, avec des femelles beaucoup plus petites que les mâles. Sa tête imposante mesure près du tiers de la longueur totale du corps. Celle-ci contient une huile, appelée « spermaceti », servant à émettre des cliquetis puissants et à gérer leur flottabilité.

Longévité : 80 ans

Vie sociale : Les mâles présentent un mode de vie solitaire et fréquentent des eaux froides, tandis que les femelles se regroupent avec leurs petits dans des eaux plutôt tempérées à chaudes, (Magalhães et al. 2002a). On les retrouve plutôt au large et à l'aplomb du talus continental. Le Cachalot n'émet que des vocalisations de type "impulsions", (Gannier, 2013).

Nourriture : Chasse de calmars géants et gros poissons dans les eaux abyssales.

Menaces : La collision avec les navires, les captures accidentelles dans les filets de pêche dérivants : par exemple, la femelle Digit, dont la nageoire caudale est restée entourée d'un filet de pêche durant 3 années, (National Geographic Society, 2019). Le dérangement sonore et présentiel ainsi que la pollution sont également des menaces non négligeables pour ce cétacé. Le cachalot est une espèce classée comme vulnérable à l'échelle mondiale sur la liste rouge de l'UICN, (Sylvestre, 2014), et en danger pour la sous-population méditerranéenne.

Reproduction : Aucune saisonnalité de reproduction n'a été observée en mer méditerranée. Les accouplements ont lieu entre janvier et août, avec un pic entre mars et juin, dans l'hémisphère nord en général. La fréquence des naissances est faible (un veau tous les 4 à 6 ans), le sevrage est long (autour de l'âge de 2 ans) et on compte généralement un seul nouveau-né par portée.

Comportement : Le Cachalot effectue des sondes longues, de plus d'une heure, et à des profondeurs de plus de 2000 m, pour l'activité de nourrissage. Il chasse aussi bien le jour que la nuit. C'est un animal sociable, les individus peuvent se regrouper autour d'un congénère blessé, jeune ou vulnérable, dans une formation « en marguerite », tête au centre du groupe et queue à l'extérieur. Ce comportement peut conduire à des échouages massifs, comme chez le globicéphale.

ii. *Situation en mer méditerranée française*

On observe des individus isolés, le plus souvent, sur l'ensemble de la zone d'étude, du talus au large. Les grands groupes, eux, se retrouvent principalement dans des zones entre le Sud de la Camargue et Nice, ainsi qu'à l'Est de la Corse, sur des fonds de plus de 2000 m (Figure 5). Ces secteurs représentent à ce jour les sites de reproduction préférentiels connus en méditerranée, (TARDY et al. 2016a). Des nouveau-nés ont été observés en Méditerranée à toutes les saisons. Globalement, l'observation de ce cétacé est peu fréquente.

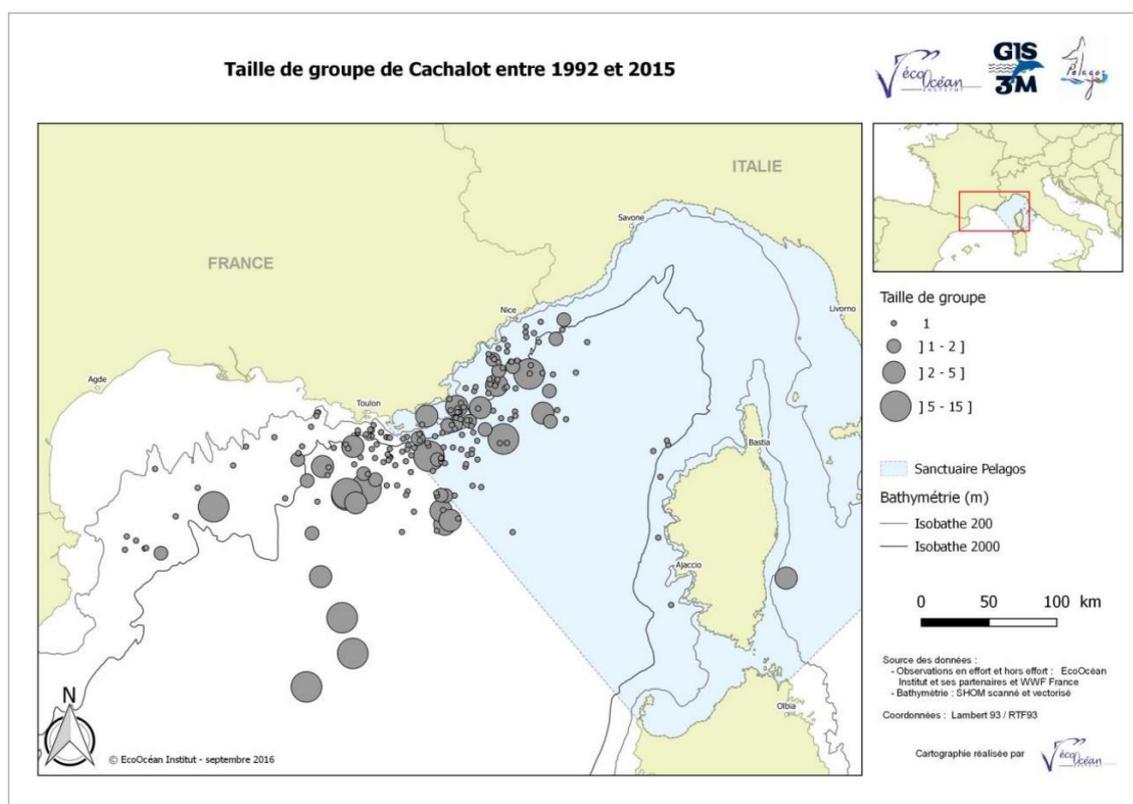


Figure 5 : Distribution des groupes de Cachalot entre 1992 et 2015 en Méditerranée nord-occidentale. Source : (TARDY et al. 2016a)

f. *Balenoptera physalus* : Le rorqual commun

i. *Caractéristiques de l'espèce*

Il s'agit du deuxième plus grand animal du monde derrière la baleine bleue (Photo 6). C'est le principal mysticète de Méditerranée, il possède des fanons, qui lui permettent de se nourrir de petits poissons et crustacés en grande quantité en filtrant l'eau quand il nage. De nombreuses sous-

populations génétiquement distinctes ont été mises en évidence, notamment en méditerranée, (Sylvestre, 2014).

Morphologie : Il mesure jusqu'à 22 m de long pour un poids de 70 t

Longévité : 80 ans

Vie sociale : Il voyage seul, ou en petits groupes de quelques individus. Ils communiquent entre eux en émettant des sons à basses fréquences : entre 17 et 35 Hz, qui se propagent sur des centaines de km.

Nourriture : Petits crustacés planctoniques (krill), environ 1500 kg/jour.

Menaces : C'est une espèce considérée comme vulnérable en Méditerranée, et en danger à l'échelle mondiale, sur la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature, (UICN Mondial 2020), (UICN Comité Français 2017), (Sylvestre, 2014). En Méditerranée, elle est victime de collisions avec des navires, et d'enchevêtrements dans des filets dérivants, comme le montre le tristement célèbre exemple du rorqual Flucker, amputé depuis des années de sa nageoire caudale, et aperçu récemment très amaigri près de Hyères, (WWF France 2020). Suite aux interdictions de chasse, la population mondiale est en hausse depuis 2018, (Union Internationale pour la Conservation de la Nature, comité français 2018). Cette espèce est aussi victime de la pollution et du dérangement anthropique, sonore et présentiel.

Reproduction : Peu de données sont disponibles sur leur physiologie sexuelle, (TARDY et al. 2016b). On estime qu'une femelle adulte met bas d'un baleineau tous les 2 à 3 ans. La durée de gestation est d'environ 12 mois. Un baleineau mesure autour de 6 m et pèse en moyenne 1,8 t. Les accouplements ont lieu préférentiellement en automne et les mises-bas en hiver.

Comportement : Leur souffle est facilement repérable, bruyant, vertical, et s'élève à 4 à 6 m de haut. Ils plongent à plus de 600 m de profondeur et peuvent rester en apnée jusqu'à 20 minutes.

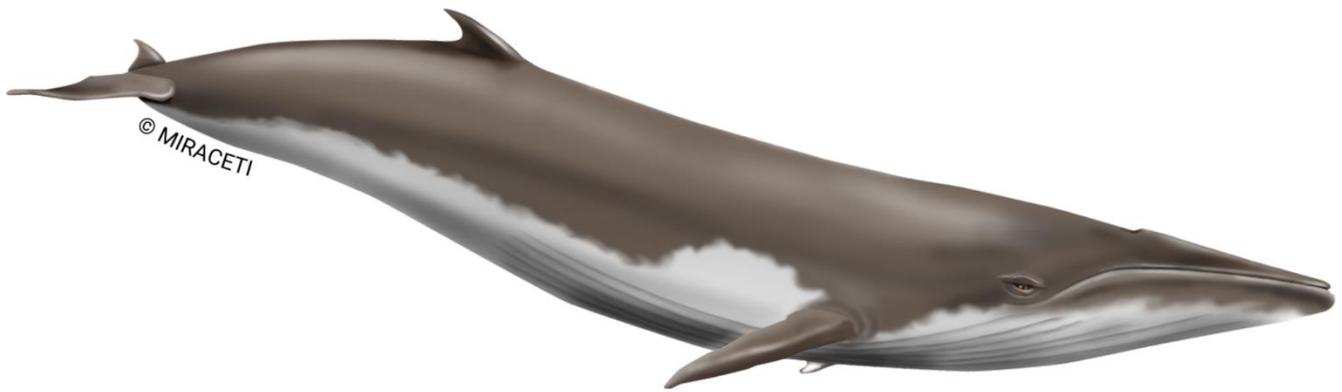


Photo 6 : Illustration du Rorqual commun, propriété de MIRACETI.

ii. *Situation en mer méditerranée française (TARDY et al. 2016b)*

Les zones *d'upwelling* méditerranéennes sont favorables à l'alimentation des rorquals et les fidélisent aux zones concernées ; on observe ainsi une fidélité pour 21 % des individus.

Les groupes de rorquals comprenant des nouveaux nés se situent principalement sur des zones de 2000 m de fond, dans le bassin Liguro-provençal ainsi qu'au Nord-Ouest de la Corse, (Figure 6). On retrouve les jeunes individus plutôt entre Toulon et l'Italie. Les mises-bas se déroulent préférentiellement au large des côtes liguro-provençales et dans le nord de la mer de Ligure. Les zones préférentielles de reproduction sont aussi au large des côtes liguro-provençales et en particulier une zone à 70 milles nautiques au sud des îles d'Hyères.

La mer Ligure en particulier représente un lieu de fréquentation saisonnière et préférentielle pour les rorquals. Des études génétiques durant lesquels un même animal était biopsié deux fois dans la région de la mer Ligure à quelques années d'intervalle, confirme une certaine fidélité de ces animaux à ces sites.

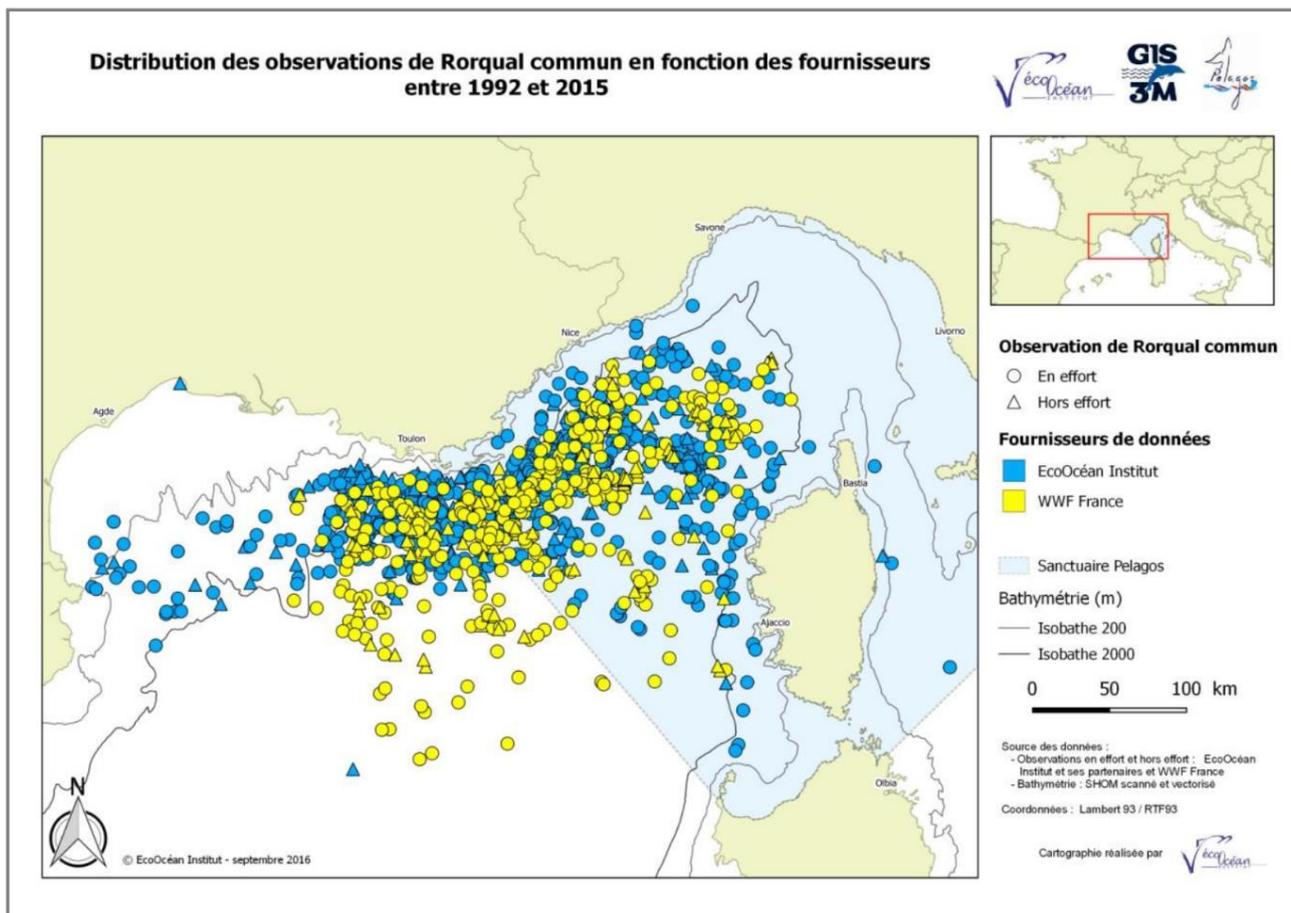


Figure 6 : Distributions des observations de Rorqual commun en fonction des fournisseurs entre 1992 et 2015 en Méditerranée nord-occidentale. (Source : (TARDY et al. 2016a)).

Les études effectuées sur le sujet recherchent les stéroïdes sexuels dans la graisse des individus rencontrés. Elles ont montré qu'il n'y avait pas de différence de répartition géographique entre les individus actifs sexuellement et inactifs. En terme de saisonnalité, l'activité sexuelle des mâles aurait lieu plutôt en automne. Les femelles mettraient bas de manière synchronisée, à l'automne, tous les 2 à 3 ans. Le sex ratio est globalement équilibré toute l'année. Il est cependant difficile d'établir un schéma reproductif clair pour cette espèce, en effet, les différentes études menées sur la reproduction des rorquals ne rapportent pas toutes les mêmes périodes de pic de naissances.

En Méditerranée nord-occidentale, il y a eu une augmentation de la population de rorquals de 1992 à 2011, mais celle-ci rediminue depuis 2011. Peu d'individus atteignent la maturité, ce qui entraîne une réelle menace pour la survie de l'espèce. Des femelles gestantes sont présentes tous les ans ; le potentiel démographique de cette espèce est globalement fort. Cependant, ces résultats peuvent aussi être interprétés comme les signes d'une population en situation de résistance, de survie, avec une mortalité massive des plus jeunes.

On observe une légère augmentation de la taille des groupes au printemps (autour de 1,9 individu par groupe), puis elle redescend en été. Il y a un lien significatif entre la taille du groupe et la présence de nouveaux nés dans l'étude de Tardy et al. publiée en 2016, réalisée entre 2005 et 2015. (groupes plus grands quand présence de nouveaux-nés).

g. Autres espèces

i. La baleine à bec de Cuvier

C'est une espèce très discrète qui détient le record de plongée (plus de deux heures !), ce qui la rend très difficile à étudier. Elle est peu présente dans les eaux françaises. On la retrouve plutôt dans les eaux de la mer Tyrrhénienne, ou au sud-est de la Corse.

ii. Le dauphin commun

Ce dauphin est abondant sur nos côtes atlantiques, mais il est devenu très rare en mer méditerranée française, et ne sera donc pas abordé ici.

h. Domaines lacunaires

Le dauphin de Risso, le globicéphale noir, le cachalot et le rorqual commun (du moins étudié au plus étudié) sont les espèces de cétacés les moins bien connues en mer méditerranée française (Tableau 2). En particulier, le dauphin de Risso. C'est une espèce très répandue dans les eaux tempérées et tropicales, mais elle reste mal connue, peu d'études lui sont consacrées. La taille de la population n'est pas correctement estimée, on ne connaît pas bien la structure de la population, peu de nouveaux nés sont observés, les sites de reproduction restent à clarifier. On possède quelques pistes de localisation des sites de nourrissages autour des îles d'Hyères.

Pour l'espèce la plus étudiée de ces 4 espèces, le rorqual commun, l'état des connaissances nous rappelle que l'acquisition des données sur ce type d'animaux est un travail très long et fastidieux. L'écologie du rorqual commun est difficile à établir avec certitude, en particulier sur le plan reproductif. Comme tout animal sauvage, qui plus est dans le milieu marin, il est difficile

de réaliser un suivi rigoureux des individus qui nous permettraient de connaître avec précision les tendances actuelles des populations. La tendance générale tend à montrer que les périodes de reproduction et de mise-bas ont lieu à l'automne, et peuvent s'étendre à l'hiver, (Sylvestre, 2014) quand le nombre d'effort d'observation -c'est-à-dire le temps passé par des observateurs expérimentés à scruter la mer à l'aide de jumelles dans des conditions favorables- est le plus faible. On constate de forts taux de mortalité des nouveaux nés et des jeunes ainsi que la faible fréquence d'observation des nouveau-nés par rapport à ce qu'il serait attendu, même en tenant compte de cette mortalité. Ces constatations restent à ce jour des mystères à élucider. Cependant, ces études permettent de mieux connaître cette espèce pour mieux la protéger. On peut par exemple aisément comprendre l'importance de limiter le dérangement des femelles notamment en été, période à laquelle le flux touristique est le plus fort, et à laquelle les femelles seraient à priori et en majorité, en état avancé de gestation. On peut également suggérer aux bateaux de redoubler de vigilance et de conserver leurs distances face à un groupe d'individus, plus à même d'être accompagné d'un nouveau-né.

	Dauphin bleu et blanc	Grand dauphin	Dauphin de Risso	Globicéphale noir	Cachalot	Rorqual commun
Caractères généraux	Rencontré très fréquemment en méditerranée	Très étudié Espèce opportuniste	Mal connu, peu étudié	Mal connu, peu étudié	Mal connu, peu observé	Mysticète, deuxième plus grand animal du monde
Alimentation	Poissons, céphalopodes, crustacés	Poissons, crevettes, sèches, calmar	Céphalopodes	Calmars	Calmars géants, poissons abyssaux	Petits poissons et crustacés planctoniques
Reproduction	Eté à automne	Printemps-été	Eté	Printemps-été	Sites préférentiels au sud de Nice et de la Camargue, Est Corse	A priori automne mais études contradictoires
Menaces et statut méditerranéen de l'IUCN	Filets dérivants, sur-pêche, épidémies, pollution, dérangement Vulnérable	Compétition avec les pêcheurs, pollution, dérangement Vulnérable	Captures accidentelles dans les engins de pêche, pollution, dérangement Données insuffisantes	Trafic maritime, pollution, filets dérivants, échouages de masse, dérangement Données insuffisantes	Collision avec les navires, enchevêtrements dans des filets dérivants, dérangement En danger	Collision avec les navires, enchevêtrements dans des filets dérivants, dérangement Vulnérable

Structure sociale	Fission fusion, dizaine d'individus	Fission-fusion, douzaines d'individus ou plus	20 à 50 individus, souvent en compagnie d'une autre espèce	Structure matriarcale Forte cohésion sociale Souvent en compagnie d'autres espèces	Structure matriarcale + individus plutôt isolés	Seuls ou petits groupes
Lieux préférentiels	Groupes côtiers et résidents repérés, migration saisonnière	Groupes surtout côtiers (<200 m)	600-1500 m Site préférentiel Ouest Provence	Chasse à -500m	Chasse à - 2000m	Sites préférentiels en Mer Ligure
Acoustique	Emission haute fréquence Sensibilité aux sons de moyenne à très haute fréquence	Emission haute fréquence Sensibilité aux sons de moyenne à très haute fréquence	Emission haute fréquence de petit delphinidé Sensibilité aux sons moyenne à très haute fréquence	Emission fréquences plus basses et plus espacées que les petits delphinidés Sensibilité aux sons moyenne à très haute fréquence.	Clics pendant la chasse	Emission de sons basses fréquences Sensibilité des sons de basse à moyenne fréquence
Ethogramme	Bien renseigné	Bien renseigné	Position caractéristique en poirier, mais domaine lacunaire	Lacunaire	Lacunaire	Lacunaire

Tableau 2 : Tableau synthétique des domaines de connaissances des cétacés de Méditerranée.

Les connaissances nécessaires à la bonne préservation des principales espèces de cétacés de méditerranée française restent toujours très lacunaires à ce jour. Dans le paragraphe suivant, nous préciserons les activités anthropiques présentes en mer méditerranée française et susceptibles de constituer une menace pour les cétacés.

1- Les menaces (Conseil Maritime de Façade (CMF), DIRM 2016)

L'observatoire PELAGIS, unité mixte du CNRS (Centre national de la recherche scientifique) et de l'Université de La Rochelle, qualifie de pression tout « *mécanisme par lequel une activité humaine déployée dans la sous-région marine a un impact avéré, mais pas nécessairement quantifié, sur les individus ou les populations de mammifères marins* », (Site internet de PELAGIS, 2021). Trois types de pressions sont identifiés (figure 7) :

- Les pressions primaires comprennent notamment les captures accidentelles par les engins de pêche. Elles sont la cause d'une mortalité directe.
- Les pressions secondaires font référence aux pollutions chimiques du milieu marin. Elles affectent l'état de santé de l'animal, sa capacité à se reproduire et, sur le long terme, les dynamiques de populations.
- Les pressions tertiaires dégradent l'ambiance générale de l'habitat des espèces. Ce sont ces pressions que PELAGIS regroupe sous le nom de « dérangements ».

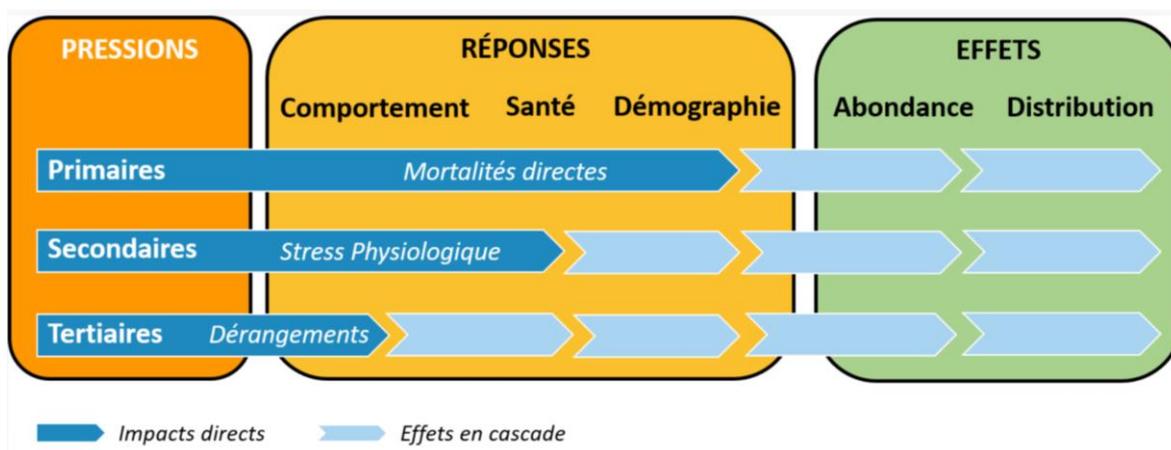


Figure 7 : Schématisation des différentes pressions subies par les cétacés, les modalités de réponses des animaux et leurs impacts sur les populations, (Site internet de PELAGIS, 2021).

Egalement, le gouvernement a élaboré, en 2013, des fiches qui établissent les enjeux environnementaux en mer méditerranée et dresse l'état des lieux de ses caractéristiques et utilisations, (Site du Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Ministère délégué aux transports, à la mer et à la pêche 2013). Ces fiches décrivent la méditerranée comme étant une mer riche, appartenant aux 10 points chauds de biodiversité de la planète, mais aussi comme une mer fragilisée par le tourisme, l'urbanisation et la pêche. En effet, ses eaux subiraient notamment 31% du tourisme international, 25% du transport maritime international, dont 30% du trafic maritime pétrolier. Elle hébergerait pourtant, toujours d'après cette fiche de 2013, 7% des

espèces marines sur moins de 1% de la surface globale des océans. De plus, en tant que mer semi-fermée, le temps de renouvellement de ses eaux, de 90 à 100 ans, ajoute à la fragilité de ce milieu.

Ces dernières décennies, la montée de la société de loisir, notée par les sociologues et les historiens, a vu les activités balnéaires, de plaisance ou de sports nautiques se démocratiser. Ces activités sont encadrées par l'Etat afin de limiter les nuisances, à la fois pour les riverains et le milieu naturel. Dans les années 60, une volonté politique d'aménagement touristique conduit à la mise en place de la mission Racine, ou « Mission Interministérielle d'Aménagement Touristique du Littoral du Languedoc-Roussillon ». C'est un projet touristique et urbanistique visant à aménager l'ensemble du littoral méditerranéen du golfe du Lion. Dans les années 80, la Mission Racine cède la place au Syndicat Mixte pour l'aménagement touristique du littoral qui rassemble le Conseil Régional et les Conseils Généraux de l'ancien Languedoc-Roussillon. Les principales difficultés de la gestion du domaine public maritime résident en la difficulté de concilier les contradictions entre l'intérêt général et les intérêts particuliers, comme celles entre pêcheurs et plaisanciers, entre protection du littoral et développement touristique des activités de mer... (Conseil Maritime de Façade (CMF), DIRM 2016).

Les principales activités de la côte sont aujourd'hui :

- **Les entreprises conchycoles, aquacoles et la pêche**
- **La filière Energie Marine Renouvelable** : ce secteur en plein essor prévoit, à travers le projet Eolmed, la création de parcs pilotes éoliens flottants d'ici 2022.
- **Les travaux publics maritimes** (dragages en mer, travaux sous-marins, travaux d'aménagements portuaires, réalisations de quais, digues, travaux de défense contre la mer...) avec extraction de matériaux marins, notamment de granulats pour le rechargement des plages et la préservation du trait de côte. (Par exemple, la zone potentielle d'extraction (Enjeux du Secteur Potentiellement EXPloitable en Sables ; ESPEXS, au large du Golfe du Lion)

- **Le trafic maritime en général (Figure 8)** (transport, commerce, activités militaires avec notamment la base navale française de Toulon...). Denis Ody, dans un interview pour le World Wide Fund (WWF) « Les innovations au service de la protection des cétacés », rapporte que la probabilité que, au cours d'une année, un rorqual commun ou un cachalot se trouve sur la trajectoire d'un navire et risque une collision est estimée à 3500 fois par an, (Podcast « L'effet PANDA » 2020).

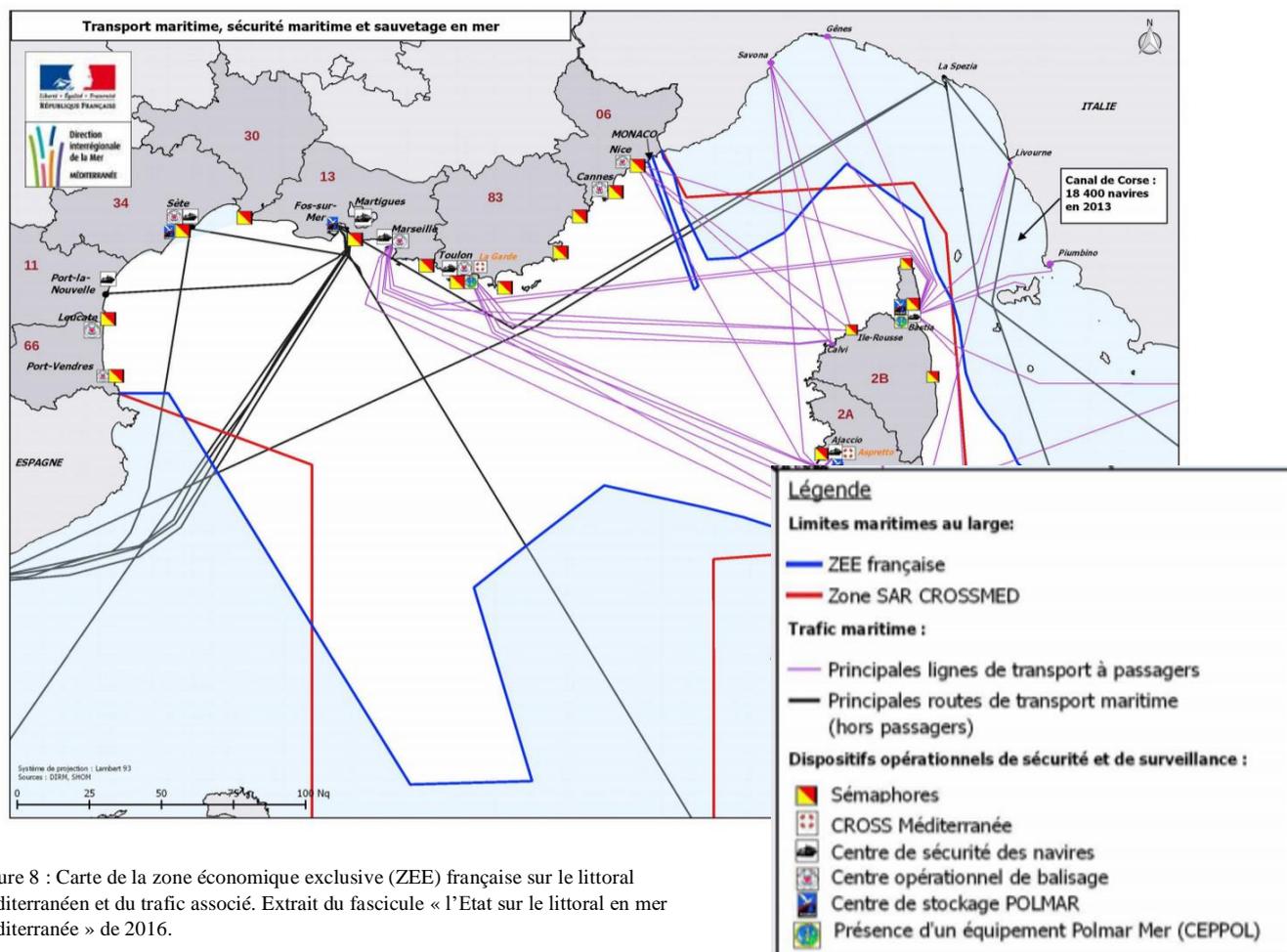


Figure 8 : Carte de la zone économique exclusive (ZEE) française sur le littoral méditerranéen et du trafic associé. Extrait du fascicule « l'Etat sur le littoral en mer méditerranée » de 2016.

- **Les activités de plaisance**, tout au long de l'année, avec principalement des bateaux à moteurs inférieurs à 6 m. On peut citer les activités de pêche récréative, la baignade (38% des zones de baignades de la métropole se trouvent sur le secteur méditerranéen), les sports nautiques (la voile, la plongée, le kite surf...).
- **Le tourisme** ; Les activités touristiques en Méditerranée sont d'une importance économique prédominante par rapport aux autres façades de France métropolitaine. (Conseil Maritime de Façade (CMF), DIRM 2016). Le whale watching, notamment, est une activité en plein essor, (Figures 9a et 9b), (Mayol, Beaubrun 2005; Mayol et al. 2014).

Ceci conduit de nombreux chercheurs scientifiques à s'interroger sur les moyens d'encadrement de cette activité, (Hoyt 2007), (OConnor et al. 2009).

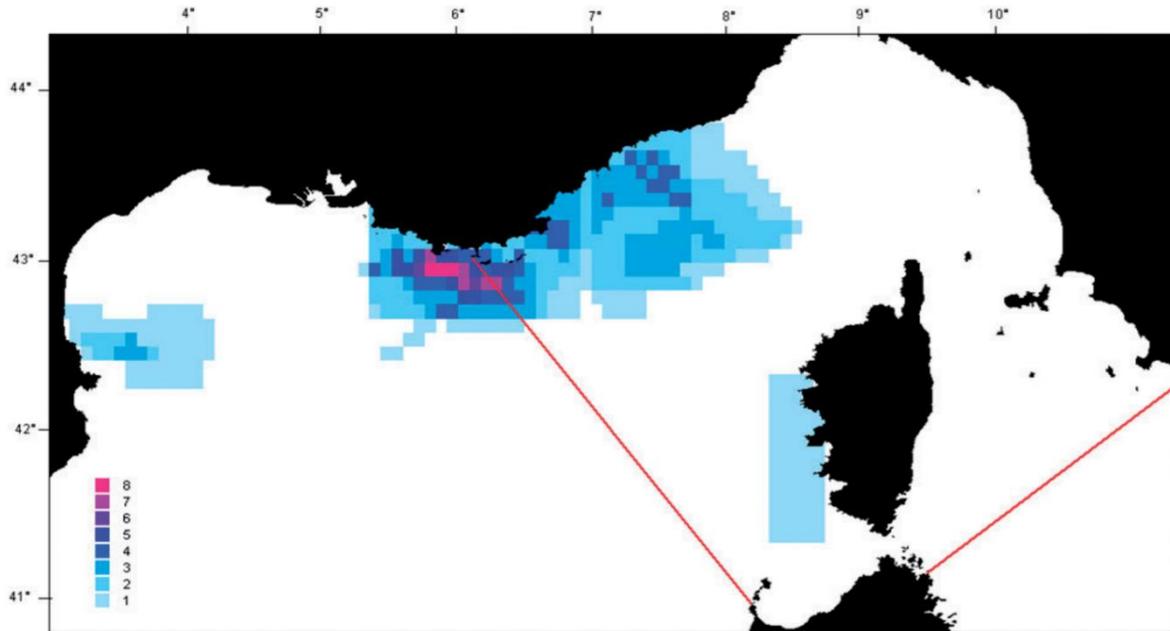


Figure 9a : Zones d'activités des opérateurs de whale watching en Méditerranée française, en 2012. Les couleurs vont du bleu au rouge dans le sens croissant du nombre d'opérateurs (de 1 à 8) qui exercent dans chaque quadrilatère de 5° de latitude sur 5° de longitude. Source : (Mayol et al. 2014)

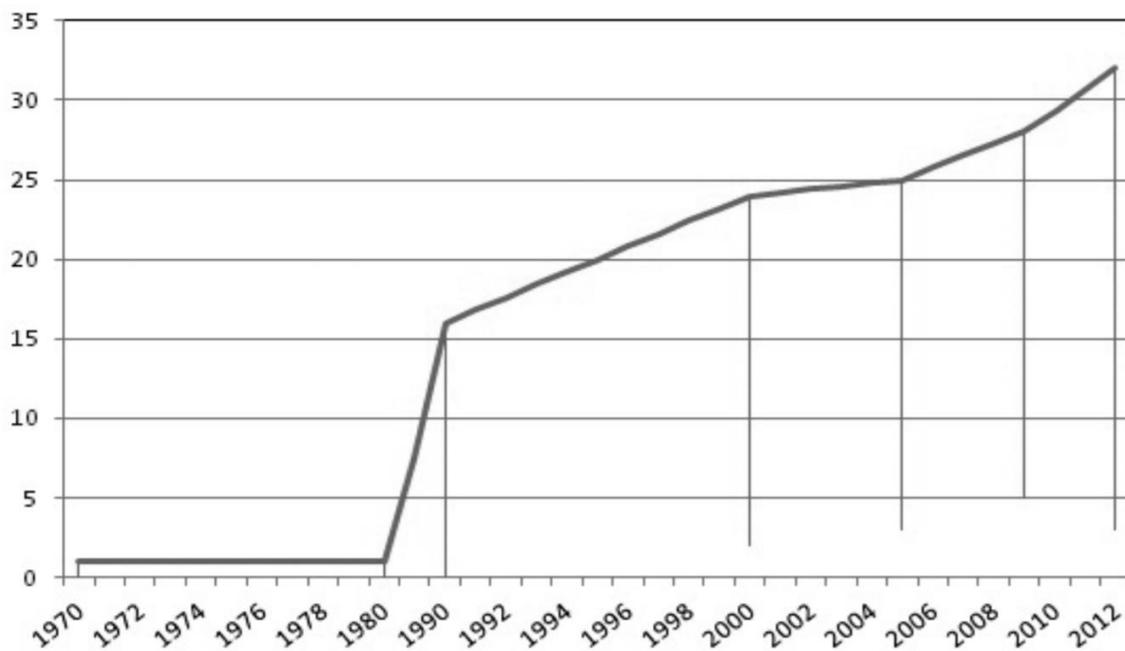


Figure 9b : Évolution du nombre d'opérateurs de whale-watching depuis 1970 en Méditerranée française. Chaque barre bleue correspond aux années de recensement (pour 1990 et 2000, les valeurs ont été évaluées par enquête, cf. Mayol et Beaubrun, 2005). L'écart entre l'axe des abscisses et le bas de l'axe bleu correspond au nombre de structures ayant cessé leur activité depuis le précédent recensement.

Le whale-watching désigne l'observation de grands ou petits cétacés dans leur milieu naturel, le plus souvent à bord de bateaux, même s'il existe des possibilités d'observation depuis la terre, ou bien par les airs (en hélicoptère ou avion). Les opérateurs de ces « tours » sont variés, allant de l'entreprise dédiée à ce type de tourisme, au particulier ou au pêcheur avec son embarcation personnelle, (OConnor et al. 2009). Une étude, (Chazot, Charrier, Leseignoux 2020b) confirme la tendance mise en évidence par Mayol et Beaubrun dès 2005, et rapporte une augmentation annuelle de 3,75% du nombre d'opérateurs de whale watching depuis 2014.

Toutes ces activités engendrent du bruit anthropique et une présence permanente de navires dans les eaux méditerranéennes, susceptibles de modifier l'écologie du milieu, et des animaux qui le peuplent.

Les menaces les plus sérieuses pour les cétacés sont, d'après le Plan d'Action pour la Méditerranée (ONU Environnement/PAM Athènes 2017) :

- Le harcèlement, la chasse, la capture, le massacre, ainsi que les prises accidentelles dans les engins de pêche. Les chiffres varient en fonction des méthodes de pêche, mais les longs filets maillants de fond présentent l'impact le plus significatif en termes de prises accidentelles sur les marsouins et les grands dauphins. A titre d'exemple, pour la seule méthode de pêche au chalut, on a observé en 2010, 4 captures de dauphins bleu et blanc (*Stenella coeruleoalba*) dans le golfe du Lion, (ACCOBAMS, 2019).
- La pollution.
- L'amenuisement ou l'épuisement des ressources en nourriture.
- La dégradation et les perturbations des habitats.

2- Le contexte législatif

a. Statuts de conservation des espèces

Sur le site internet de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN), on trouve la liste rouge des espèces menacées. La figure 10 présente les statuts de conservation à l'échelle nationale et mondiale des espèces étudiées dans cette thèse. Le cachalot est vulnérable à ces deux échelles, le rorqual commun est en danger à l'échelle mondiale, et quasi-menacé à l'échelle nationale, le dauphin de Risso est quasi-menacé à l'échelle nationale, et de préoccupation mineure à l'échelle mondiale. Le grand dauphin et le dauphin bleu et blanc sont de préoccupation mineure aux deux échelles, tandis que le globicéphale noir est de préoccupation mineure à

l'échelle nationale, mais son statut à l'échelle mondiale ne peut être établi, car les données sont insuffisantes.

Ordre	Nom scientifique	Nom commun	Statut de présence*	Catégorie Liste rouge France	Critères	Tendance	Catégorie Liste rouge mondiale
Carnivora	<i>Monachus monachus</i>	Phoque moine de Méditerranée	R	RE			EN
Cetartiodactyla	<i>Eubalaena glacialis</i>	Baleine franche de l'Atlantique Nord	V	RE			EN
Cetartiodactyla	<i>Physeter macrocephalus</i>	Cachalot	R	VU	D1	?	VU
Carnivora	<i>Halichoerus grypus</i>	Phoque gris	R	NT	VU (D1) (-1)	↗	LC
Carnivora	<i>Phoca vitulina</i>	Phoque veau-marin	R	NT	VU (D1) (-1)	↗	LC
Cetartiodactyla	<i>Balaenoptera physalus</i>	Rorqual commun	R	NT	pr. C2	?	EN
Cetartiodactyla	<i>Grampus griseus</i>	Dauphin de Risso	R	NT	pr. C2	?	LC
Cetartiodactyla	<i>Lagenorhynchus albirostris</i>	Lagénorhynque à bec blanc	V	NT	VU (D1) (-1)	?	LC
Cetartiodactyla	<i>Phocoena phocoena</i>	Marsouin commun	R	NT	pr. C2	?	LC
Cetartiodactyla	<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Petit Rorqual	V ^(R?)	LC		?	LC
Cetartiodactyla	<i>Delphinus delphis</i>	Dauphin commun	R	LC		→	LC
Cetartiodactyla	<i>Globicephala melas</i>	Globicéphale noir	R	LC		?	DD
Cetartiodactyla	<i>Stenella coeruleoalba</i>	Dauphin bleu et blanc	R	LC		?	LC
Cetartiodactyla	<i>Tursiops truncatus</i>	Grand Dauphin	R	LC		?	LC
Cetartiodactyla	<i>Balaenoptera borealis</i>	Rorqual boréal	V	DD		?	EN
Cetartiodactyla	<i>Megaptera novaeangliae</i>	Baleine à bosse	V	DD		?	LC
Cetartiodactyla	<i>Lagenorhynchus acutus</i>	Lagénorhynque à flancs blancs de l'Atlantique	V	DD		?	LC
Cetartiodactyla	<i>Orcinus orca</i>	Orque	V	DD		?	DD

Figure 10 : La Liste rouge des espèces menacées en France ; Mammifères de France métropolitaine (2017). Source : (UICN Comité Français 2017) et (UICN Mondial 2020)

Eteinte (EX), Eteinte à l'état sauvage (EW), En danger critique (CR), En danger (EN), Vulnérable (VU), Quasi menacée (NT), Préoccupation mineure (LC), Données insuffisantes (DD), Non évaluée (NE)

La sous population méditerranéenne de cachalot est évaluée « en danger » sur la liste rouge de l'IUCN, celle du grand dauphin, du dauphin bleu et blanc et du rorqual commun sont évaluées « vulnérables », tandis que les connaissances sur le dauphin de Risso et le globicéphale noir sont insuffisantes pour déterminer leurs statuts, (IUCN Méditerranée 2020).

b. Cadre juridique international, européen, français et local

Les efforts de conservations sont, depuis les années 70, focalisés sur des zones, plutôt que sur une espèce ou une population. En effet, les populations de cétacés réalisent des déplacements et des migrations, guidés par la recherche de conditions environnementales favorables et de ressource alimentaire, qui les amènent à traverser des mers, des océans et surtout les frontières administratives humaines. Ce concept de conservation est appelé « place-based », et s'appuie sur le principe de protection des habitats critiques, (Labach 2021).

De nombreuses zones protégées sont ainsi instaurées pour la protection de la faune du littoral (Conseil Maritime de Façade (CMF), DIRM³ 2016). Nous réalisons ici une liste non exhaustive des différents textes légiférants la conservation des cétacés de Méditerranée.

³ Direction Interrégionale de la Mer Méditerranée

Une Aire Marine Protégée (AMP) est un espace délimité en mer, répondant à des objectifs de protection de la nature à long terme. Elles permettent de concilier les enjeux de protection de la nature et le développement durable d'activités. Il existe différents types d'AMP : les réserves naturelles, les réserves de biosphère, les domaines publics maritimes du Conservatoire du littoral, les parcs naturels marins (ces 4 types d'AMP sont gérés grâce à des plans de gestion). On trouve aussi des sites Natura 2000, gérés par un document d'objectif, des parcs nationaux, gérés par une charte, et enfin des aires de protection de biotope ainsi que des réserves nationales de chasse et de faune sauvage, gérée par arrêtés, (Office français de la biodiversité 2021). Aux échelles nationales et locales, différents textes définissent les statuts juridiques d'aires marines protégées.

Au niveau international, citons par exemple la convention des Nations-Unies sur le droit de la mer, qui exige des États Parties de protéger et de préserver le milieu marin, (CONVENTION DES NATIONS UNIES SUR LE DROIT DE LA MER, 1994). La France a ratifié la convention sur la diversité biologique, lors du sommet de la Terre à Rio en 1992, qui vise, entre autre, à protéger l'espace marin mondial notamment par la constitution d'un réseau cohérent d'aires marines protégées.

À l'échelle européenne, la France met en œuvre les Directives « oiseaux » et « habitats-faune-flore » qui encadrent la création du réseau de sites Natura 2000. Depuis 2008, la Directive cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM) vise à maintenir un bon état écologique des eaux européennes, notamment par la mise en place d'une stratégie marine et des programmes de mesures intégrant la constitution d'un réseau cohérent d'aires marines protégées.

Au niveau national, la France est également impliquée dans six conventions de mers régionales, dont une concerne l'espace méditerranéen : La Convention de Barcelone de 1976. Les 5 autres concernent des régions d'Afrique de l'Est, des Caraïbes, de Nouméa, de l'Atlantique Nord, et de l'Antarctique. Ces conventions intègrent les AMP comme des outils opérationnels nécessaires à la bonne gestion et à la protection du milieu marin. La France exerce une juridiction sur des espaces marins dont la superficie la place au deuxième rang mondial (soit un peu plus de 10 millions de km² et 3 % de la surface totale des océans), (Ministère de la transition écologique et solidaire 2019). En France, les cétacés bénéficient d'une protection précisée dans l'arrêté du 27 juillet 1995 comme suit : « *Sont interdits sur le territoire national, y compris la zone économique définie à l'article 1er de la loi du 16 juillet 1976 modifiée susvisée, et en tout temps, la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement intentionnels, la naturalisation des mammifères marins*

d'espèces suivantes ou, qu'ils soient vivants ou morts, leur transport, leur colportage, leur utilisation, leur mise en vente, leur vente ou leur achat : Cétacés : toutes les espèces. »

Le réseau d'AMP françaises (Figure 11) regroupe deux parcs nationaux (dont le Parc national de Port-Cros créé en 1963), trois réserves naturelles, trois arrêtés de protection de biotope, un parc naturel marin, une cinquantaine de sites Natura 2000 et 5 zones maritimes relevant du Conservatoire du Littoral. On trouve aussi le sanctuaire Pelagos (figure 12), espace de protection des mammifères marins déterminé à l'issue de l'Accord Pelagos, signé en 1999 par la France, l'Italie et la principauté de Monaco (Barcelo et al. 2014). Ce sanctuaire a été institué par la convention de Barcelone en tant qu'Aire Spécialement Protégée d'Importance Méditerranéenne (ASPIM). Les côtes méditerranéennes françaises comprennent 4 autres ASPIM, en plus du sanctuaire Pelagos : le Parc marin de la Côte Bleue, l'Archipel des Embiez, le Parc National de Port Cros, la Réserve naturelle des Bouches de Bonifacio, (Spa-rac 2021).

La superficie des eaux protégées en Méditerranée française s'élève ainsi à 85,25% des eaux territoriales, et 34,43% de la ZEE française, (Conseil Maritime de Façade (CMF), DIRM 2016).

FAÇADE MÉDITERRANÉE

Aires marines protégées

EDITEE LE : 04/03/2015

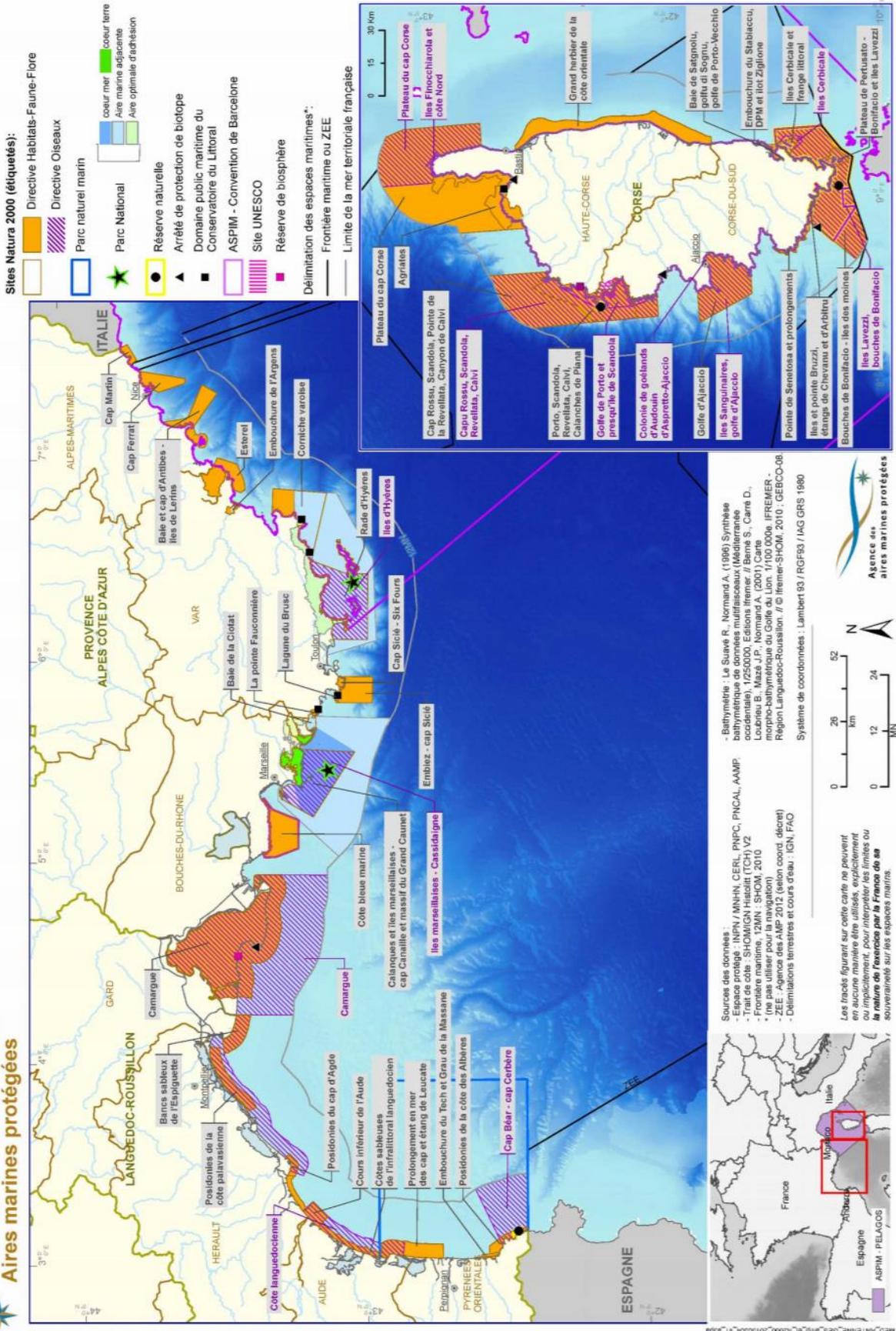


Figure 11 : Aires marines protégées de la façade méditerranéenne française (Source : (Conseil Maritime de Façade (CMF), DIRM 2016))



Figure 12 : Espace marin couvert par l'Accord Pelagos. Source : Site internet du Parc National de Port-Cros.

La préservation des espèces marines et de leurs habitats passe aussi par de nombreux accords internationaux : Convention de Barcelone du 16 juillet 1976, Convention de Bonn du 23 juin 1979 et son accord ACCOBAMS (accord pour la conservation des Cétacés de la Mer Noire, de la Méditerranée et de la zone Atlantique adjacente), Convention de Berne 19 septembre 1979... Notamment, l'arrêté ministériel du 1^{er} juillet 2011 permet de sanctionner les perturbations intentionnelles occasionnées aux mammifères marins dans les eaux sous juridiction française, (Journal Officiel de la République Française du 26 juillet 2011). Cet arrêté condamne la perturbation « intentionnelle » de la faune sauvage, mais toute activité humaine n'est pas forcément perturbante, ni intentionnelle. La difficulté de caractériser et de prouver le caractère intentionnel d'un dérangement de la faune sauvage rend cette juridiction peu applicable concrètement, (Landelle, Suas 2016). La figure 13 propose un récapitulatif synthétique de la législation autour de la protection des mammifères marins de Méditerranée.

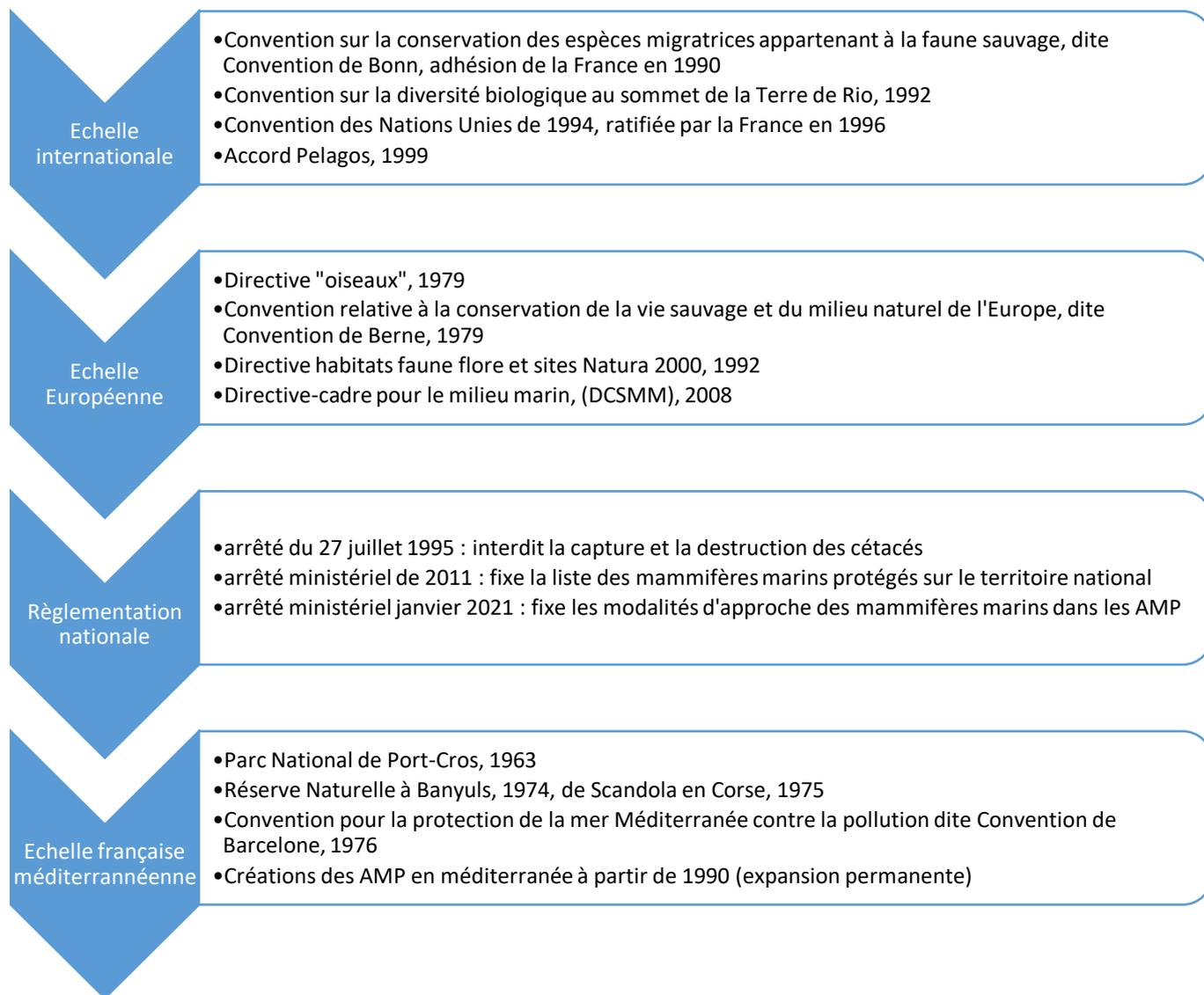


Figure 13 : Frise récapitulative des textes légiférant la protection des mammifères marins de méditerranée. Liste non exhaustive.

Malgré ce cadre juridique, une équipe du CNRS a montré en 2020 que l'immense majorité des AMP en mer Méditerranée ne présentent pas de différence de régulations par rapport aux zones hors AMP, et que la protection ainsi offertes aux espèces est insuffisante, (Claudet et al. 2020).

Les mesures de protection des cétacés se sont durcies depuis la sortie de cette étude, avec l'arrêté ministériel du 1^{er} janvier 2021, qui interdit l'approche à moins de 100 m des cétacés dans les AMP françaises.

c. Exemples d'outils de terrain et de mesures mises en place

La mise en place de **labels**, comme celui du High Quality Whale Watching (HQWW), associée à des formations et des ateliers de sensibilisation, permettent d'encadrer les activités de whale watching et encouragent le respect du Code de Bonne Conduite pour l'observation des cétacés, proposé par le Sanctuaire Pelagos et l'Accord sur la Conservation des Cétacés de la mer Noire, de la Méditerranée et de la zone Atlantique adjacente, (ACCOBAMS, 2010). Le label HQWW est un certificat qui incite à l'application des bonnes pratiques, comme le respect du code de bonne conduite d'observation des cétacés, et de savoirs faire responsables, par les opérateurs de whale-watching. Il s'agit d'un gage de qualité et de responsabilité environnementale.

Le Code de Bonne Conduite (figure 14) établit un ensemble de recommandations quant aux distances et zones d'approche des cétacés : Il préconise ainsi une allure lente, une progression calme et constante du navire dès le repérage des cétacés, en particulier dans la zone des 300 m. Une zone d'approche interdite est définie 100 m autour de l'animal. La durée d'observation maximale est fixée à 30 min si le bateau est seul, et à 15 min si d'autres bateaux sont en attente. Les bateaux souhaitant s'approcher dans la zone de vigilance des 300 m de l'animal doivent y aller un par un. Il est aussi fortement recommandé de ne jamais toucher, nourrir ou nager avec un cétacé.

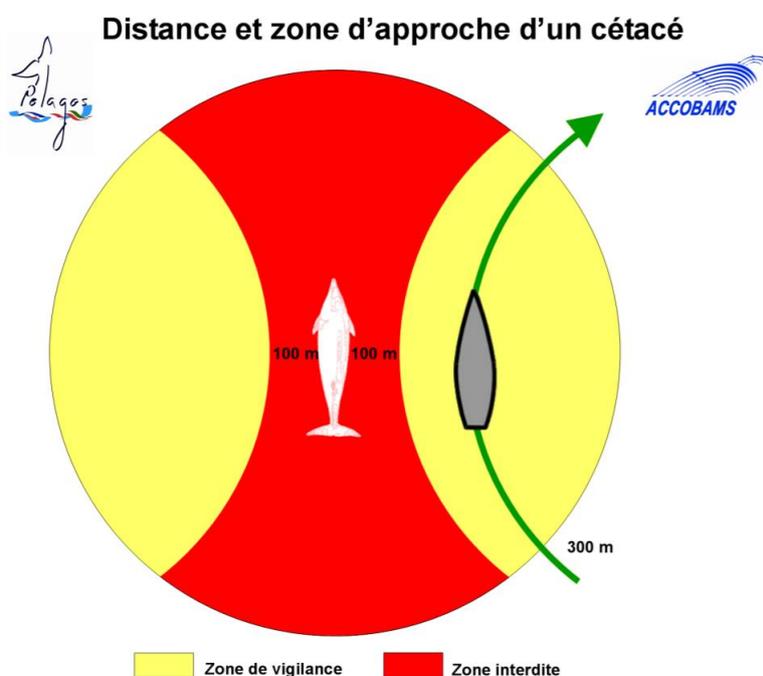


Figure 14 : Zones de vigilance et d'interdiction d'approche d'un cétacé établies par le code de bonne conduite de l'ACCOBAMS et de l'Accord Pelagos. (ACCOBAMS, 2010)

La protection des cétacés passe également par l'utilisation de **l'outil REPCET**. C'est un projet conduit initialement par l'association Souffleurs d'Ecumes, comme moyen pour limiter les collisions entre navires marchands et grands cétacés tout en renforçant la sensibilisation des équipages. Il s'agit d'un outil informatique et collaboratif à l'usage de la navigation commerciale. REPCET permet le partage en temps réel des positions connues de baleines sur les routes de navigation, grâce à une communication satellite. Son efficacité repose sur le nombre de contributeurs : plus celui-ci sera élevé, plus l'effort sera homogène et plus intéressant sera le jeu de données récolté. De plus, les équipages utilisant REPCET sont accompagnés par une formation à l'identification des espèces et à l'utilité de la démarche, (Arcangeli et al. 2012).

Dans le département de la Réunion, des **périodes de quiétudes** ont été mises en place entre 18h et 9h. Durant cette période, toute activité d'observation et de mise à l'eau est interdite à moins de 300 m d'un cétacé, d'après l'arrêté préfectoral n°2479 du 20 juillet 2020, (Jacques BILLANT, 2020).

3- L'étude et la conservation des cétacés en mer Méditerranée

Aujourd'hui, la mise en place, en France, de la Directive européenne Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM), a nécessité un plan d'action, le Plan d'Action pour le Milieu Marin (PAMM), ce qui a permis d'identifier différents enjeux liés à l'état écologique de la mer et aux pressions qui s'y exercent. Y sont mentionnées, notamment, 7 espèces de cétacés, et l'impact des collisions, prises accidentelles et la contamination de leur chaîne trophique.

a. Les acteurs

De nombreux acteurs participent à améliorer la connaissance des cétacés de Méditerranée afin de les protéger au mieux des activités anthropiques.

Des acteurs publics

- Les conseils généraux, mairies, et départements de Provence-Alpes-Côte-D'azur et des Bouches du Rhône

Des acteurs de la conservation

De nombreux organismes (AMP, organisations non gouvernementales (ONG)) participent à la conservation des cétacés en Méditerranée française. Citons par exemple :

- Le sanctuaire Pelagos : espace maritime de 87 500km² né d'un accord tripartite entre l'Italie, Monaco et la France.
- L'ACCOBAMS : accord intergouvernemental entré en vigueur en 2001, issu des consultations menées par les Secrétariats de quatre conventions : les Conventions de Barcelone, de Bonn, de Berne et de Bucarest. Il rassemble 24 pays d'Europe et d'Afrique, dont la France.
- L'office Français de la Biodiversité (OFB), anciennement Agence Française pour la Biodiversité, sous la tutelle des ministères de la Transition écologique et de l'Agriculture et de l'Alimentation.
- Le Parc National de Port-Cros (premier parc marin européen)
- Le Parc Marin de la Côte Bleue
- Le Fond Mondial pour la Nature, World Wide Fund for Nature en anglais (WWF) : organisation indépendante de protection de l'environnement dans le monde. Le WWF France est basé à Paris, Marseille, les Alpes, la Guyane, et la Nouvelle-Calédonie.
- Le Centre d'Activités Régionales/Aires Spécialement Protégées (CAR/ASP ou SPA/RAC), hébergé à Tunis en Tunisie depuis sa création en 1985, a été établi par les 22 parties contractantes à la Convention de Barcelone (dont la France et l'Union Européenne) dans le but d'assister les pays Méditerranéens dans la mise en application du protocole concernant les aires spécialement protégées en Méditerranée.

Des acteurs scientifiques

Citons par exemple :

- Le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), plus grand organisme public français de la recherche scientifique.
- L'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer).
- Les universités.
- Les associations (Souffleurs d'Ecume, le Groupe d'Etude des Cétacés de Méditerranée (GECEM), le Groupement d'Intérêt Scientifique pour les Mammifères Marins de Méditerranée (Gis3M) devenus MIRACETI, mais aussi EcoOcéan Institut, BREACH) : Acteurs scientifiques

dont la vocation est d'approfondir les connaissances sur les cétacés en concertation avec les institutions, les acteurs économiques et les acteurs de la conservation.

MIRACETI est une association née en 2020 de la fusion de trois acteurs -le GECEM, Souffleurs d'Ecumes et le GIS3M- (Figure 15), qui œuvraient déjà ensemble depuis plusieurs années pour la protection des cétacés de Méditerranée. L'association compte aujourd'hui 7 membres de l'équipe permanente, et 8 membres du conseil d'administration. Pour répondre à la problématique de protection des espèces de cétacés de Méditerranée, MIRACETI mène des missions d'amélioration des connaissances des espèces et des pressions qui pèsent sur eux, de conseil auprès des professionnels et des politiques publiques pour la mise en œuvre de stratégie de conservation, de formation des acteurs, et de sensibilisation auprès du grand public. Le siège de l'association est basé dans le village de La Couronne, sur la commune de Martigues (13).



Figure 15 : Création de MIRACETI en 2020

Cette thèse a été proposée et encadrée par la directrice de MIRACETI, Hélène LABACH.

On pourrait également citer les citoyens impliqués dans la science participative (alimentation du logiciel REPCET par les navigateurs, opérateurs de whale-watching labélisés...).

b. Les actions et initiatives

La volonté de préserver les cétacés est très présente en Méditerranée, chez un grand nombre d'acteurs. Ces derniers doivent coopérer, et se réunir autour d'objectifs et d'enjeux

communs afin de permettre une progression optimale des connaissances. Pour cela, différents textes définissent des marches à suivre :

Le Sanctuaire Pelagos suit par exemple un plan de gestion qui s'articule autour de 4 thèmes :

- Les activités humaines : Evaluer les impacts existants et potentiels sur les mammifères marins du Sanctuaire pour optimiser les décisions de gestion
- La recherche et le suivi : Mieux comprendre les mammifères marins et leurs habitats
- Eduquer et impliquer : informer le public, les professionnels et les usagers de la mer, afin d'assurer à long terme la conservation des mammifères marins et de leurs habitats
- Structure administrative de gestion : Remplir toutes les fonctions précédentes dans les meilleures conditions possibles

Ce plan de gestion s'inspire de plusieurs textes qui se recoupent, notamment le Plan d'Action pour la Méditerranée, réexaminé tous les 4 ans. Ce Plan d'Action pour la Méditerranée, et en particulier le volet pour la conservation des cétacés, a été mis à jour en 2017. Il rappelle les objectifs et enjeux actuels de la protection des mammifères marins de Méditerranée (ONU Environnement/PAM Athènes 2017). Les priorités actuelles relèvent de la protection, la conservation et la reconstitution des populations de cétacés dans la zone de la mer Méditerranée, ainsi que de leurs habitats, comprenant les aires d'alimentation et de reproduction.

Cette gestion passe, concrètement, par des recommandations comme l'interdiction des prises intentionnelles de cétacés, la prévention et l'élimination de la pollution, la prévention de la surexploitation des ressources halieutiques, et une surveillance continue des populations, grâce à la recherche, la collecte et la diffusion des données de biologie, des études éthologiques, des études sur les aires de répartitions des populations et de leurs habitats, et enfin, l'instauration d'activités éducatives destinées au grand public et aux professionnels (pêcheurs, opérateurs de whale-watching...).

Ainsi, la mer Méditerranée est un espace de biodiversité riche fortement anthropisé. Les 6 espèces de cétacés les plus observées en mer Méditerranée bénéficient ainsi d'un cadre législatif vaste, basé sur la coopération internationale. L'application des réglementations de protection reste néanmoins difficile à contrôler, malgré des acteurs investis et de nombreuses initiatives. Dans la prochaine partie de cette thèse, nous verrons la définition du dérangement de la faune sauvage, les sources de ce dérangement, et ses conséquences à court, moyen et long terme sur les animaux.

Partie 2 : Dérangement de la faune sauvage et application aux cétacés de Méditerranée française

1- Le dérangement : Définition et origine

a- Caractériser le dérangement

Le bien-être animal s'est longtemps défini par l'absence d'expériences négatives, à savoir le respect des « cinq libertés » : 1) l'absence de faim, de soif, de malnutrition, 2) l'absence de peur et de détresse, 3) l'absence de stress physique et thermique, 4) l'absence de douleur, de lésions et de maladie, et 5) la possibilité pour l'animal d'exprimer les comportements normaux de son espèce, (OIE 1965). Initialement proposée comme description pratique du bien-être des animaux d'élevage, (Mounier, De Boyer des Roches, Veissier 2010), ces « cinq libertés » sont considérées comme une référence mondiale dans le domaine du bien-être animal, toutes espèces confondues.

En 2018, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a proposé une nouvelle définition du bien-être animal :

Le bien-être animal serait « l'état mental et physique positif lié à la satisfaction de ses besoins physiologiques et comportementaux, ainsi que de ses attentes. Cet état varie en fonction de la perception de la situation par l'animal. » (ANSES 2018). Par cette définition, « le concept de bien-être s'applique à la dimension mentale du ressenti de l'animal dans son environnement. Il se place avant tout aux niveaux individuel [...] et contextuel [...]. La dimension mentale porte l'attention sur le fait qu'une bonne santé [...] ou une absence de stress ne suffisent pas. Il faut aussi se soucier de ce que l'animal ressent, des perceptions subjectives déplaisantes, telles que la douleur et la souffrance, mais aussi rechercher les signes d'expression d'émotions positives [...]. ». L'ANSES propose également des précisions sur les termes employés comme « besoin » et « attente ». Le besoin est « *une exigence de survie et de qualité de vie liée au maintien de l'homéostasie et aux motivations comportementales [...]. La non-satisfaction d'un besoin entraîne un état de mal-être et/ou de frustration pouvant induire des perturbations comportementales et/ou physiologiques [...].* ». L'attente est « *un processus mental généré par l'anticipation d'un événement, auquel l'animal va se référer pour évaluer la valence de cet événement, d'agréable à désagréable. Les attentes se traduisent par des réponses comportementales et physiologiques anticipatoires. Selon le niveau de satisfaction de ses attentes, l'individu ressent des émotions positives ou négatives. [...].* » (ANSES 2018).

D'après ces définitions, tout stress entraînant l'interruption de la satisfaction d'un besoin, c'est-à-dire d'une exigence de survie et de qualité de vie liée à l'homéostasie et aux motivations comportementales, va à l'encontre du bien-être animal. Si le bien-être varie en fonction de la perception de l'animal, et est mis à l'épreuve dans ses conditions de vie naturelles, les activités humaines viennent souvent rajouter à ce stress. C'est le cas du dérangement.

Nombre d'organismes de protection de la nature appellent régulièrement à la vigilance devant le dérangement intempestif de la faune sauvage. C'est le cas de la LPO Auvergne en période post confinement, par exemple, ou encore de l'ONCFS dans sa réunion du 4 février 2019 (Site internet de la LPO Auvergne 2020; Site internet du Parc National des Ecrins, 2019). Dans certaines régions, des zones de quiétudes ont même été déterminées pour limiter ce dérangement, ((Association CEDTM 2021),(Jacques BILLANT 2020), (Site internet de l'agglomération du Pays de Gex, 2020)).

Dans la littérature, le thème du dérangement est particulièrement abordé dans le cadre d'études sur les oiseaux sauvages.

Pour Triplet et Schricke, en 1999, un dérangement est considéré comme « *tout évènement généré par l'activité humaine qui provoque une réaction (l'effet) de défense ou de fuite d'un animal, ou qui induit directement ou non, une augmentation des risques de mortalité (l'impact) pour les individus de la population considérée ou, en période de reproduction, une diminution du succès reproducteur* » (Triplet, Schricke 1998). Cependant, cette définition présuppose que le dérangement a forcément une conséquence plutôt négative sur l'animal.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous plaçons d'un point de vue écologique, avec un regard le plus neutre possible, en considérant le dérangement comme une perturbation non létale d'origine anthropique, qu'elle soit négative ou positive. On peut donc définir le dérangement comme une interaction humain-animal directe ou indirecte entraînant une **modification du comportement** de la faune, en particulier sur ses comportements essentiels (nourrissage, migration, reproduction, mise-bas, élevage des petits, hibernation, recherche de partenaires sexuels...). Si le dérangement intervient lors d'une de ces activités essentielles, il peut les interrompre et engendrer un stress auquel l'animal va tenter de répondre, en cherchant un compromis entre la prise de risque et l'activité essentielle, (Tableau 3). On distingue le dérangement, qui relève de l'éthologie et de l'écologie, de la perturbation écologique qui désigne plutôt une détérioration de l'écosystème. Le dérangement est une perturbation qui relève d'indicateurs différents, et il est plus difficile à mesurer et à objectiver qu'une perturbation écologique. (Triplet, Schricke 1998)

Caractéristiques	Exemples d'études
Taille et utilisation de l'habitat	Altamann & Muruthi (1998), McLellan & Shackleton (1989), Albert et Bowyer (1991), Bejder et al. (2006b)
Comportement alimentaire	Galicia & Baldassarre (1997), Gander & Ingold (1997)
Succès reproducteur	Safina et Burger (1983), Giese (1996), Mullner et al. (2004), Bejder (2005)
Condition corporelle et sensibilité aux maladies	Altmann et al. (1993), Philips-Conroy et al. (1993), Nizeyi et al. (1999), Woodford et al. (2002), Mullner et al. (2004)
Le ratio mâle/femelle	Clout et al. (2002)
Période d'activité quotidienne	Griffiths et van Schaik (1993)
Développement social	De la Torre et al. (2000)
Structure sociale et système d'accouplement	Lacy & Martins (2003)

Tableau 3 : Les caractéristiques écologiques susceptibles d'être modifiées par un dérangement anthropique, (d'après Bejder et a. 2009).

En particulier, le dérangement peut être perçu comme un **risque de prédation** (figure 16) par les animaux, et engendrer le comportement correspondant, (Frid, Dill 2001).

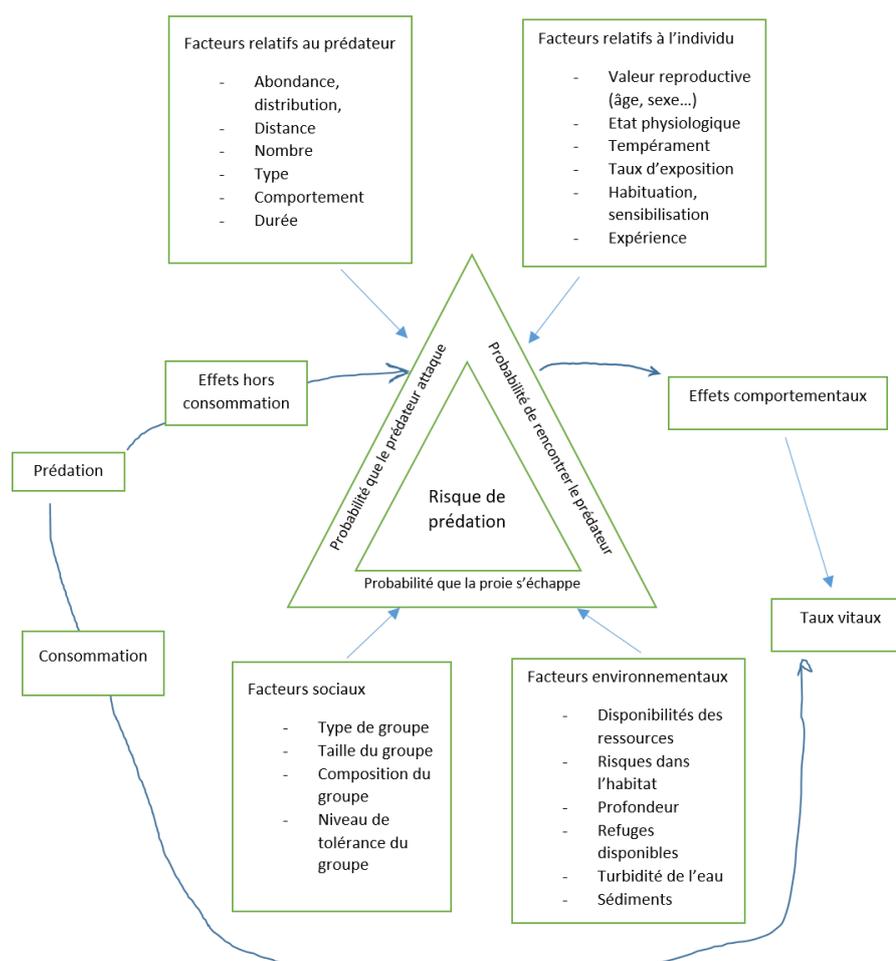


Figure 16 : Les effets directs et indirects de la prédation sur les cétacés. Source : (Christiansen, Lusseau 2013)

Le risque de prédation perçu par les animaux est influencé par de nombreux facteurs. Il est construit sur 3 aspects : la probabilité de rencontre avec un prédateur, la probabilité qu'une fois le prédateur rencontré, celui-ci attaque, et la probabilité que l'individu puisse fuir le prédateur en cas d'attaque, (Christiansen, Lusseau 2013). Bejder et al. (2009), soulignent la complexité des réponses de la faune sauvage au dérangement anthropique, influencées par un large panel de facteurs liés à l'environnement, au contexte, à l'histoire de vie de l'animal, et mettent en garde contre les conclusions de causes à effets hâtives. Ils donnent comme outil d'interprétation, la théorie de l'évolution. Selon eux, les différentes études sur les impacts non létaux du dérangement anthropique devraient être basées sur l'hypothèse selon laquelle la faune sauvage y répond de la même manière qu'elle le ferait à une menace de prédation.

Pour se soustraire à un dérangement, les individus dérangés évaluent la balance bénéfice/risques d'une délocalisation dans un nouvel environnement moins exposé. Ce choix s'appuie sur les critères suivants (Frid, Dill 2001) :

- La qualité de l'aire actuellement occupée, soumise au dérangement
- La disponibilité de sites alternatifs
- La qualité de ces sites alternatifs en terme de risque de prédation et de densité de potentiels compétiteurs ou au contraire, alliés.

Si le coût de rester occuper la zone dérangée tout en tolérant le dérangement dépasse les bénéfices apportés par l'habitat, l'individu peut passer d'un état d'évitement comportemental temporaire à un évitement général à long terme. On peut considérer deux caractéristiques des individus qui quittent le site dès l'apparition du dérangement : les individus les moins tolérants, et parmi eux, les animaux les plus robustes. En effet, les animaux qui quittent leur habitat de prédilection sont ceux qui possèdent les réserves et la condition physique nécessaires à une relocalisation. Cet effet de relocalisation sur le court terme diminue la densité moyenne de la population dans la zone dérangée, mais diminue également la réponse moyenne au dérangement enregistrée par les éthologues, qui évalueront alors soit des animaux « tolérants », et/ou des animaux qui restent « par défaut » exposés au dérangement anthropique chronique et à ses potentielles conséquences sur le long terme, (Bejder et al. 2009).

Les animaux peuvent aussi tout simplement ne pas avoir d'autre choix que celui de rester dans la zone soumise au dérangement chronique, si par exemple cette zone constitue un site d'alimentation obligatoire, de reproduction... D'autres encore peuvent se trouver obligés de rester dans la zone par dépendance sociale à celle-ci, manque d'expérience (jeunes), ou ont un investissement dans la zone (dominant d'un groupe, habitat particulier...). (Bejder et al. 2009)

D'après Bjeder et al. ce sont ces effets comportementaux à l'échelle individuelle qui permettent de mesurer l'impact biologique d'un dérangement anthropique, ainsi que l'interprétation des changements des paramètres démographiques qui en découlent.

Lors d'une étude comportementale, certains concepts sont importants à définir. C'est le cas de la **tolérance**, et des processus **d'habituation** et de **sensibilisation**.

L'habituation et la sensibilisation sont des processus d'apprentissage par soumission cumulative à certains stimuli. Ils reflètent les interactions d'un individu avec l'être humain, ainsi que le nombre et l'issue/les conséquences de cette exposition au long de la vie de l'animal (Bejder et al. 2009b) :

L'habituation des animaux est une adaptation progressive à un stimulus, à mesure qu'ils comprennent qu'il n'y a ni conséquences négatives ni positives issues de ce stimulus, subit en permanence ou de manière répétée, (Peters et al. 2012). On peut alors percevoir le dérangement initial comme ayant peu ou pas d'effet puisque la population s'y est « habituée ». Pourtant, cette habituation peut avoir des effets négatifs sur la faune sauvage, avec par exemple une diminution de leur vigilance à l'égard de l'homme, des véhicules, du trafic... et donc une augmentation de l'exposition à certains dangers directs, comme une collision, ou une entrave dans des filets de pêche...

La sensibilisation, c'est l'augmentation de la réponse des animaux à un stimulus au bout d'un certain temps, à mesure que ceux-ci se rendent compte de l'impact positif ou négatif de celui-ci, (Peters et al. 2012). Par exemple, les animaux qui trouvent leur compte en nourriture en récupérant les poissons rejetés par les bateaux de pêche prennent pour habitude de les suivre.

La tolérance est l'intensité du dérangement maximale à laquelle un individu peut être soumis sans y répondre, (Nisbet 2000). Les niveaux de tolérance peuvent être mesurés de manière instantanée et sont plus faciles à voir et à montrer que les processus d'apprentissage sur le long terme (habituation et sensibilisation). La tolérance est un état comportemental tandis que l'habituation et la sensibilisation sont des processus comportementaux.

Ces processus sont difficiles à objectiver ; la variabilité individuelle est grande et leur mise en place dépend de nombreux facteurs, (Tableau 4).

Facteurs	Exemples d'études
Espèce	Gutzwiller et al. (1998)
Âge	Stalmaster & Newman (1978), Constantine (2001)
Sexe	Williams et al. (2002), Lusseau (2003)
Condition reproductive	Culik & Wilson (1995), Nellemann et al. (2000), Parent & Weatherhead (2000)
Condition corporelle	Doenier et al. (1997), Beale & Monaghan (2004a)
Expérience antérieure	Burger et Gochfeld (1999)

Tableau 4 : Les facteurs à même d'influencer la réponse des animaux à un dérangement. (Source : Bejder et al. (2009))

En fait, l'habituation et la sensibilisation sont perceptibles dans le changement de tolérance d'un individu sur le long terme. On les différencie selon le sens du changement : plus le seuil de tolérance augmente au cours du temps, plus on pourra parler d'habituation. Si au contraire le seuil de tolérance diminue, on parlera de sensibilisation. Les seuils de tolérance peuvent être différents d'un individu à l'autre, d'un groupe à un autre, mais savoir si les individus ou groupe ont vécu une habituation ou une sensibilisation ne peut être mesuré que par des observations sur le long terme.

Quand des réponses du type habituation ou sensibilisation ont lieu, un éventail de mécanismes explicatifs devrait être considéré. Par exemple, pour un phénomène d'habituation, on pourrait l'expliquer par :

- l'apprentissage : les individus apprennent à ne pas répondre à ce stimulus, leur seuil de tolérance s'élève.
- Le déplacement : les individus les moins tolérants au stimulus vont changer d'aire de vie au début de la stimulation, et biaiser ainsi les mesures des études d'impacts, qui ne seront donc finalement réalisées que sur les individus les plus tolérants.
- La physiologie : comme par exemple, une exposition à un son trop fort : à force, on ne l'entend plus, ou on peut avoir un endommagement de l'ouïe, lésionnelle ou pas.
- L'écologie : Les animaux peuvent diminuer leur réponse à un stimulus (comme rester dans la zone où ils y sont soumis) par contraintes écologiques, et à défaut de pouvoir l'éviter (pas d'autre habitat favorable à proximité).

En conclusion, on peut dire que, face à un dérangement, l'animal peut développer un processus d'habituation ou de sensibilisation, selon son seuil de tolérance. L'habituation doit bien être

comprise comme un processus sur du long terme pour ne pas conduire à des conclusions hâtives si on mesure différentes tolérances d'un groupe exposé à un autre. De plus, l'apparente habituation mesurée dans une population ne peut pas être immédiatement considérée comme quelque chose de positif. En effet, l'habituation relevant des 4 mécanismes cités précédemment, peut être juste un biais de mesures qui masque des conséquences néfastes. Des dommages physiologiques ou des déplacements par exemple, pourraient être préjudiciables au succès reproductif des populations.

b- Causes de dérangements subis par les cétacés

On considère deux sources principales de dérangement anthropique subi par les cétacés, (Tuomainen, Candolin 2011) : **le bruit et l'occupation physique de l'espace**. Le bruit peut être engendré par la navigation en mer, ou bien encore par des activités industrielles ou militaires, en mer ou sur les terres littorales. Il s'agit d'interactions indirectes. L'occupation de l'espace se fait par la présence de navires en mer, les activités de nage avec les cétacés, ou encore les plateformes flottantes.

Ces sources de dérangement sont d'intensités variables, selon le nombre de navires en interaction avec les animaux, leur motorisation ou non, leur vitesse, leur trajectoire par rapport aux animaux... C'est sur ces facteurs de variabilité que s'appuient les réglementations, afin d'en limiter les impacts sur les individus (cf le Code de Bonne Conduite pour l'Observation des Cétacés, ou encore le label High Quality Whale Watching).

On ne considèrera pas les captures accidentelles ou les collisions comme un dérangement, selon la définition énoncée dans le sous-chapitre précédent.

2- Les conséquences du dérangement des cétacés sauvages

Quand un bruit, ou la présence d'un navire, entre en interaction avec un cétacé, il peut y avoir une interaction directe et ponctuelle. Les animaux reprennent le cours de leurs activités après un délai plus ou moins long. La réaction à cette intrusion peut être estimée positive, par exemple si l'animal cesse ses activités pour venir « jouer » volontairement dans l'étrave du navire, comme c'est souvent le cas chez les petits delphinidés. La réaction peut également être indifférente, et les animaux continuent leurs activités en cours comme si de rien n'était. La réaction peut être

considérée comme négative si l'animal cesse son activité et adopte un comportement d'évitement, une nage chaotique... (David 2002).

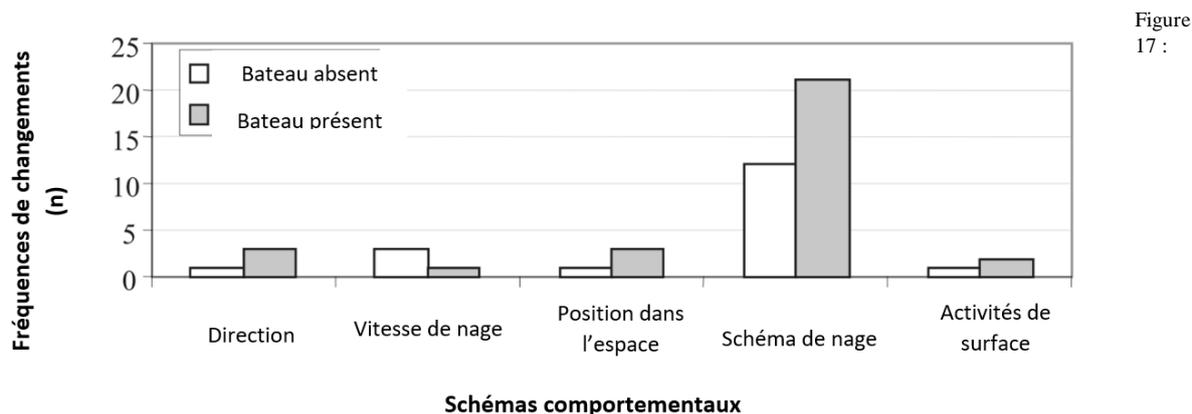
Ces réactions sont des conséquences à court terme du dérangement. Dans les paragraphes suivants, nous établissons un état des lieux des connaissances actuelles de ces réactions ponctuelles.

Notons que, d'un point de vue écologique, les impacts qui nous intéressent sont les variations d'effectif (diminution ou non de la taille de la population considérée) et les variations de distribution (modification de l'espace occupé). Qu'un dérangement ait un impact négatif ou positif sur les espèces étudiées n'est pas l'objet de cette thèse, c'est l'interférence humaine sur l'écologie des espèces qui nous intéresse.

a- Conséquences individuelles à court terme du dérangement

i. Modifications comportementales

Les principales conséquences à court terme du dérangement mesurées aujourd'hui sont comportementales. Des études comportementales sur des mammifères terrestres mettent en évidence l'adoption d'un comportement anti-prédateur en conséquence de la présence de l'Homme. Duparc et al. (2017) rapportent notamment ce type de comportement chez les chamois du Massif des Bauges. Ces analyses sont souvent basées sur des **changements de comportement**. Par exemple dans l'étude de Magalhães et al. (2002a), le dérangement engendré par des activités de whale watching entraîne des modifications du comportement des cachalots, avec des changements de direction de plus de 30°, des modifications de l'arrangement des individus au sein des groupes, des schémas de nage erratique, des temps de sondes modifiés, et non précédés par une grande prise d'air, (Figure 17).



Fréquence des changements de comportement du cachalot en fonction de la présence ou non de bateaux. (Résultats issus des observations basées à terre.) (Source : (Magalhães et al. 2002a)).

En 2007, Lusseau et Bejder mettent en évidence différentes réponses comportementales du Grand Dauphin au whale watching, à travers 2 études réalisées, l'une en Australie, et l'autre en Nouvelle-Zélande, (Lusseau, Bejder 2007). Ces modifications comportementales vont du changement des budgets temps attribués à des comportements essentiels (alimentation, socialisation, repos...) à des stratégies d'évitement vertical (l'animal plonge) ou horizontal (l'animal fuit).

En 2021, Ribaric et Clarkson listent les modifications à court terme provoquées par le dérangement anthropique des cétacés (Ribaric, Clarkson 2021a) : ces changements concernent les vocalisations, les mouvements dans un objectif d'évitement (augmentation des temps de plongée, augmentation de la vitesse de nage et de la fréquence des changement de direction), et les activités (modifications des pourcentage de temps passés à se nourrir, se reposer ou à sociabiliser).

Pour ce qui est du dérangement sonore, il va de l'audible au changement de comportement, et du dérangement sévère jusqu'à blesser l'animal, voire le tuer. En effet, l'anatomie de l'oreille interne des cétacés est analogue à celle des autres mammifères, y compris l'Homme. Ils développent ainsi une gamme de réactions similaire à celle qui est observée chez les mammifères terrestres, allant de la simple gêne à une surdité définitive, en passant par la douleur et l'altération temporaire de l'audition ; la réaction peut être telle qu'elle peut engendrer des échouages à grande échelle, (Gannier 2013). Le bruit peut également masquer les signaux de communication des cétacés. D'après Dr Gannier (2013), plus le bruit ambiant augmente, plus les cétacés doivent augmenter le niveau de leurs vocalisations pour maintenir une même distance de communication ou d'écholocation, (figure 18).

D'après W.C Verboom, (Verboom 2002) l'effet de ce dérangement sonore dépend :

- Du niveau d'énergie acoustique produit par la source,
- De la propagation et des pertes sonores entre l'animal et la source. Ces deux facteurs donnent le niveau d'exposition sonore reçu par l'animal.
- De l'espèce considérée et sa sensibilité au bruit
- Des paramètres acoustiques de la source (fréquence du signal, durée, répétitions éventuelles du signal, durée de l'exposition, schéma de propagation, le bruit ambiant).

En fonction de cela, le dérangement sonore peut blesser l'animal, modifier son seuil de perception auditive de façon temporaire (Temporary treshold shift) ou permanente (Permanent treshold shift), mener à une perturbation comportementale avec des processus d'habituation ou de sensibilisation, ou encore masquer des activités comme celles d'alimentation ou socialisation, (Wisniewska et al. 2018), (Verboom 2002). Un dérangement sonore intense, tel que l'utilisation de sonar lors d'exercices militaires navals, pourrait également conduire à une perturbation de la régulation de l'azote chez certains individus, conduisant à la formation de bulles de ce gaz dans le sang, à des accidents de décompression, et donc à des échouages de masse, (Bernaldo de Quirós et al. 2019).

Espèce	Audiométrie	Répertoire	Sensibilité à basse fréquence	Sensibilité à moyenne fréquence	Sensibilité à haute fréquence	Sensibilité à très haute fréquence
Dauphin bleu et blanc	Jaune	Bleu	Bleu	Jaune	Rouge	Rouge
Dauphin commun	Jaune	Bleu	Bleu	Jaune	Rouge	Rouge
Grand dauphin	Jaune	Bleu	Bleu	Rouge	Rouge	Rouge
Dauphin de Risso	Jaune	Bleu	Bleu	Jaune	Rouge	Rouge
Globicéphale noir	Jaune	Bleu	Bleu	Rouge	Rouge	Rouge
Ziphius de Cuvier	Jaune	Bleu	Bleu	Rouge	Rouge	Rouge
Cachalot	Rouge	Bleu	Gris	Gris	Rouge	Jaune
Rorqual commun	Rouge	Bleu	Rouge	Gris	Gris	Bleu

Figure 18 : Sensibilité aux nuisances sonores des cétacés. Source : (Gannier 2013). Code couleurs des résultats : bleu : il y a des résultats précis sur l'espèce considérée – Jaune : il n'y a pas de résultat sur l'espèce, mais sur une espèce voisine – Rouge : il y a peu d'éléments utilisables. Code couleurs des sensibilités : Bleu : Faible – Jaune : moyenne – Rouge : forte – Gris : Inconnu.

D'après Gannier (2013), on peut s'attendre, pour les bruits à basses fréquences, à une sensibilité forte du rorqual commun, et peut-être du cachalot. Pour les hautes fréquences, tous les odontocètes seraient à priori sensibles aux nuisances. Davantage d'incertitude plane sur les moyennes fréquences.

On peut dégager 3 niveaux d'impact liés au dérangement sonore des cétacés (Thompson et al. 2020) :

- Une onde sonore ponctuelle et intense peut blesser l'animal et causer des dommages auditifs aigus,
- Une accumulation de dérangement sonore peut causer des dommages auditifs chroniques,
- Il peut y avoir des conséquences sub-létales à ce dérangement, comme des troubles d'écholocalisation ou de communication entre les individus.

Par exemple, l'étude de Sprogis et al. (2020) montre que le niveau de bruit d'un navire entraîne une réponse comportementale à court terme des baleines à bosse. Lors de playbacks (diffusion de sons préalablement enregistrés) de bruit d'intensité faible, les mères ont continué à se reposer, ce qui laisse penser que lors d'une sortie d'observation, les couples mères-baleineaux sont susceptibles de rester à la surface. En revanche lors de playbacks de bruit d'intensité moyenne et élevée, les couples mères-baleineaux ont plongé et se sont éloignés. Il a ainsi été mis en évidence qu'à 172dB, le temps de repos des mères-baleineaux diminuait du tiers, la fréquence respiratoire doublait et la vitesse de nage augmentait de 37% en comparaison à un niveau sonore de 148 dB (faible).

Ces modifications comportementales peuvent traduire un **stress**. D'après Veissier et Miele (2015), la définition du comportement, vu comme une réponse adaptative qu'un organisme produit en réaction à des stimuli de l'environnement, correspond pour un behaviouriste, à ce que le stress est pour un physiologiste. Or, chaque individu a sa propre sensibilité au stress, et celui-ci n'est pas forcément délétère. Dans la nature, les cétacés sont quotidiennement soumis à des épisodes de stress : présence de prédateurs, conditions océanographiques et météorologiques, conflits intra spécifiques, plongées prolongées lors de la chasse... Le dérangement d'origine anthropique est un facteur de stress supplémentaire et non naturel, qu'il est donc important d'évaluer. L'évaluation biologique du stress relève de la **physiologie, l'immunologie, l'endocrinologie et la neurologie** (Figure 19).

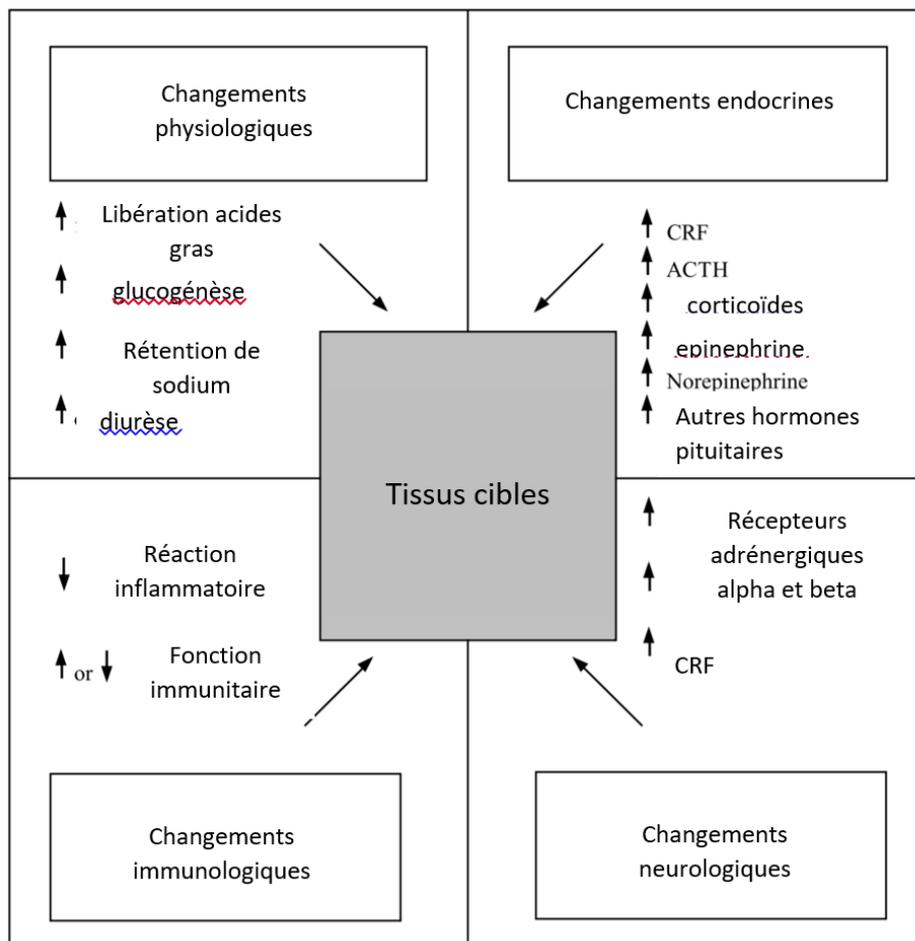


Figure 19 : Changements biologiques principaux dans un organisme soumis au stress. (Source : (Dierauf, Gulland 2001))

ii. Modifications hormonales

La réponse à un stress a donc plusieurs composantes : comportementale, physiologique et cognitives. Ces composantes sont coordonnées par l'amygdale. L'amygdale provoque les premiers réflexes comportementaux (immobilisation, sursaut) via respectivement le noyau gris central et le noyau réticulaire du pont. Elle va également stimuler le système nerveux autonome sympathique, qui est responsable de la mise sous tension de l'organisme, afin de lui permettre de répondre à l'urgence (adrénaline). (Diederich 2011) Pour revenir à l'état de base (homéostasie corporelle), c'est le système nerveux autonome parasympathique qui sera activé. L'amygdale stimule aussi l'hypothalamus, qui va activer l'axe hypothalamo-hypophysaire-surrénalien. Encore appelé axe corticotrope, l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (HHS), (figure 20), est la voie de contrôle de la sécrétion des glucocorticoïdes. Le fonctionnement de cet axe est bien conservé chez l'ensemble des mammifères. Il est ainsi similaire chez les espèces terrestres et marines

(Atkinson et al. 2015). On a donc un facteur de stress qui stimule l'hypothalamus. Celui-ci va alors sécréter de la corticolibérine, ou CRH (*Corticotropin Releasing Hormone*). La CRH est versée dans le système porte hypothalamo-hypophysaire, qui rejoint l'adénohypophyse. Là, elle va stimuler la libération d'ACTH (*AdrenoCorticoTropic Hormone*). L'ACTH va être libérée dans le flux sanguin et va stimuler la synthèse et la libération des glucocorticoïdes ainsi que de minéralocorticoïdes chez les mammifères marins, par le cortex des glandes surrénales, (St Aubin 2001).

Les hormones surréaliennes, dont le cortisol, diffusent ensuite dans le sang sous forme liée ou libre, et agissent sur les tissus cibles. Elles exercent un rétrocontrôle négatif sur le système hypothalamo-hypophysaire, qui inhibe les sécrétions de CRH et d'ACTH.

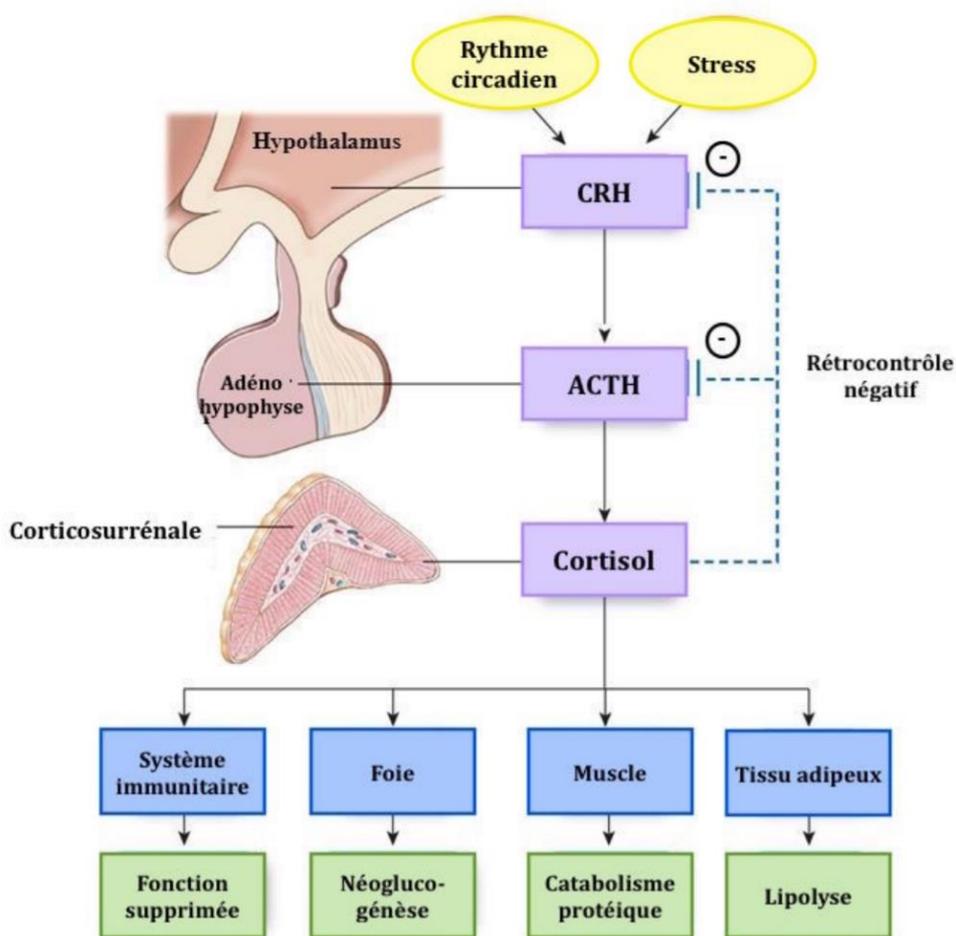


Figure 20 : Axe hypothalamo-hypophysio-surrénalien dans le contrôle de la sécrétion de cortisol. Source : (Silverthorn, Ober, Johnson 2007)

CRH : Corticotropin Releasing Hormone

ACTH : AdrenoCorticoTropic Hormone

La réponse au stress aigu commence par la reconnaissance d'un facteur stressant, et est orchestrée par le système limbique et le centre hypothalamique du cerveau. Le stimulus stressant produit de la peur ou de l'anxiété, qui est perçue par le système limbique, (Dierauf, Gulland 2001). Dans un premier temps, les hormones de type peptidique ou amine interviennent. La CRF, principal neuropeptide régulant l'activation de l'axe hypothalamo-adréno-pituitaire, agit comme un neurotransmetteur et aide l'intégration sensorielle, comportementale et endocrinienne de la réponse de l'animal au stimulus. La CRF stimule la sécrétion de l'ACTH qui lui-même stimule l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien. L'innervation directe de la médulla surrénalienne conduit au largage de catécholamines pour ajuster les processus physiologiques, et des connexions nerveuses aux nœuds lymphatiques servent à relier le système nerveux central et le système immunitaire. Ces catécholamines sont induites rapidement, et leur action réside principalement dans la préparation de l'organisme à une réaction immédiate (ajustement du système cardiovasculaire et du métabolisme énergétique).

Dans un second temps, les hormones stéroïdiennes prennent le relais. Durant cette seconde phase, la sécrétion des glucocorticoïdes est stimulée par la production de CRF et d'ACTH, tandis que celle des stéroïdes sexuels est diminuée de manière concomitante à la diminution de la GnRH, de LH et de FSH. (Sapolsky, Romero, Munck 2000)

On a donc une première phase qui promeut la vigilance, l'évaluation de la situation et la prise de décision, puis une deuxième phase qui permet une réponse adaptative prolongée. Une fois cette réponse hormonale enclenchée, chaque hormone va agir sur sa cible respective, ce qui va entraîner des changements physiologiques, neurologiques, et immunologiques, (Atkinson, Dierauf 2018).

Voici les principaux changements ainsi générés par la réponse hormonale de stress (Sapolsky, Romero, Munck 2000) :

- La mobilisation des réserves d'énergie et sa réorientation vers les muscles et le cerveau,
- L'augmentation de l'activité cardiovasculaire et la redistribution du flux sanguin afin d'apporter davantage de substrats énergétiques aux muscles et au cerveau,
- La modulation du système immunitaire,
- L'inhibition de la fonction de reproduction ainsi que du comportement sexuel,
- L'augmentation de la perfusion cérébrale et de la consommation cérébrale en glucose,
- Une diminution de l'appétit.

Le cerveau analyse la situation, et permet la prise de décision, ordonnant aux muscles la fuite, la défense, ou l'attaque. Ainsi, le stress provoque à court terme des réactions biologiques qui influencent le comportement de l'animal, et sont susceptibles d'altérer les temps d'activités essentielles ou d'engendrer un déplacement de l'animal. Si les réponses d'un animal à un dérangement anthropique sont le plus souvent comportementales, elles peuvent, à terme, impacter la distribution, la reproduction et la survie de la population, (Tuomainen, Candolin 2011).

Répété sur le long terme, le stress chronique va concerner la santé des individus, et des facteurs internes qui affectent l'état général et l'homéostasie. Ces facteurs sont susceptibles de donner lieu à des modifications des dynamiques de population, (Puszka, Shimeta, Robb 2021). Dans les paragraphes suivants, nous nous intéressons aux conséquences à moyen-long terme du dérangement sur un individu.

b- Conséquences à moyen-long terme du dérangement d'un individu

Le stress chronique s'installe en cas de dérangement fréquent et/ou répétitif. Chez la plupart des mammifères, le stress chronique peut engendrer une concentration plasmatique élevée en glucocorticoïdes, sur de longues périodes. Ces situations peuvent rendre les effets des glucocorticoïdes délétères pour l'organisme en prolongeant leur durée, conduisant ainsi à l'altération de nombreuses fonctions de l'organisme (hypertension, immunosuppression, modifications métaboliques...), (Atkinson et al. 2015) (Bonnet 2011).

Les glucocorticoïdes ont une action catabolique, notamment au niveau protéique, ce qui peut entraîner à terme une perte de masse musculaire, une perte de masse osseuse par inhibition de l'activité ostéoblastique, pouvant conduire à l'ostéoporose, (Figure 21). Egalement, une fréquence accrue des infections peut-être observée, à cause de l'action immunosuppressive des glucocorticoïdes, (Kyrou, Tsigos 2009),(Sapolsky, Romero, Munck 2000), (Collier et al. 2020).

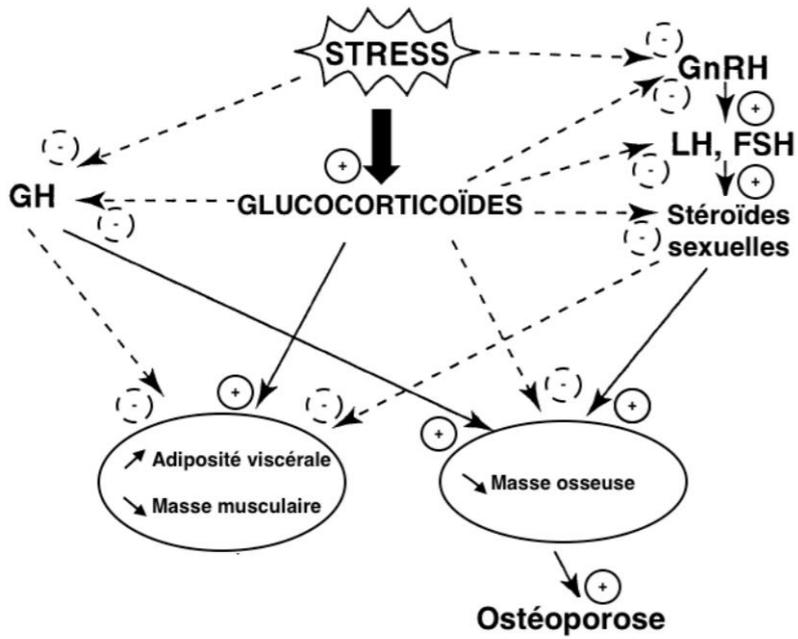


Figure 21 : Schéma non exhaustif des effets du stress chronique sur la physiologie des mammifères. Source : (Bo MERCERA 2019).

GH : Growth hormone

GnRH : Gonadotropin-Releasing Hormone), gonadolibérine

FSH : Follicle Stimulating Hormone)

LH : Luteinizing Hormone

Clark et al. (2006) suggèrent des modifications physiologiques liées au stress chronique chez les grands dauphins : on aurait ainsi une augmentation de la taille des surrénales, augmentation du ratio cortex/medulla, et production d'épinephrine par les cellules de la medulla donnant lieu à un épaissement médullaire.

La **croissance** et la **reproduction** des mammifères sont fréquemment altérées lors de stress chronique, (Figure 22).

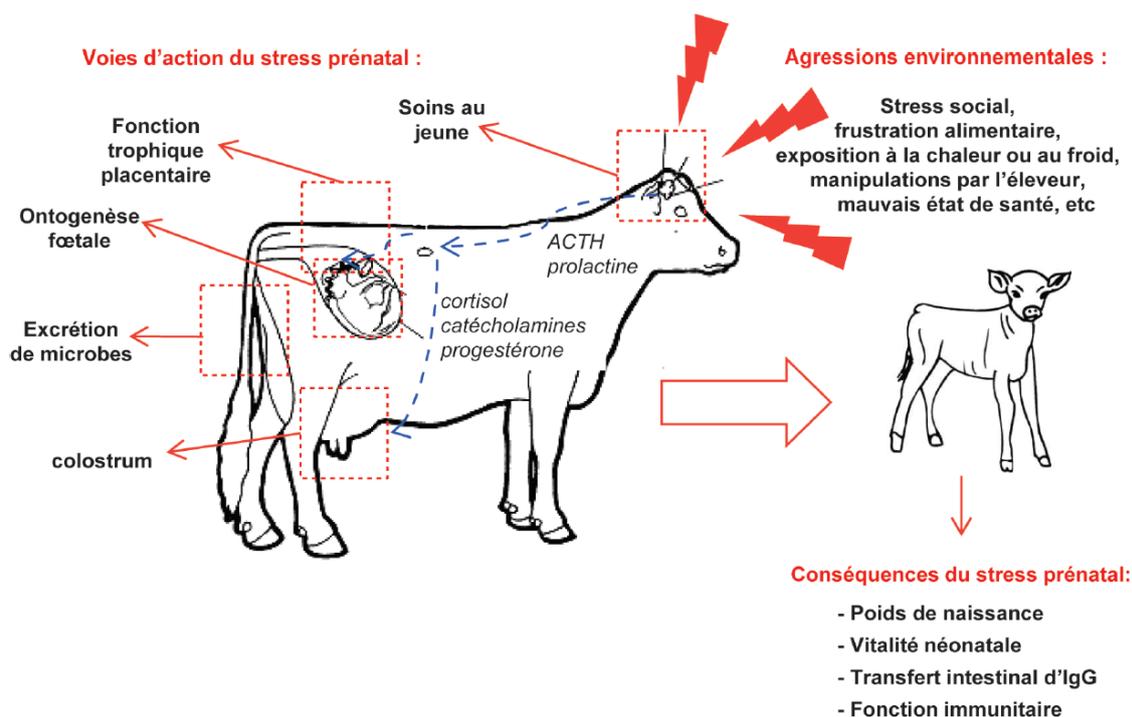


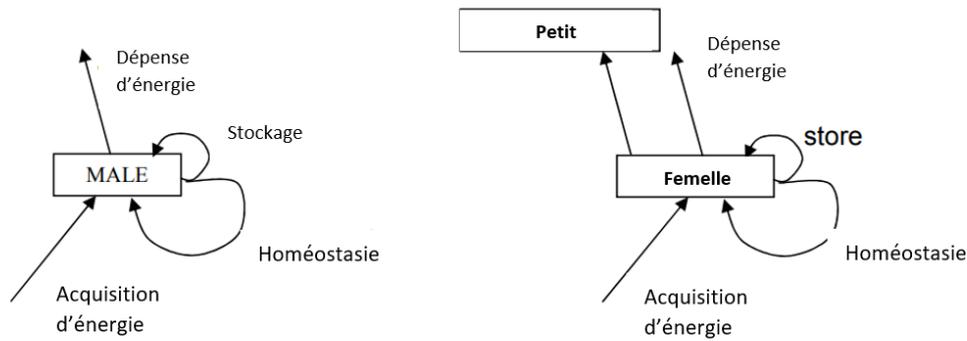
Figure 22 : Caractéristiques de la mère et du nouveau-né potentiellement influencées par le stress pré-natal et pouvant affecter la survie du jeune, chez les mammifères d'élevage. (Source : (Merlot, Quesnel, Prunier 2015))

Le stress pré-natal engendrerait chez la vache une diminution du poids du veau à la naissance, de la vitalité néonatale, du transfert d'immunoglobuline G (IgG) et de la fonction immunitaire. Par analogie, de telles conséquences pourraient être observées sur les mammifères marins sujets au stress chronique engendré par le dérangement anthropique.

D'après Lusseau, (2006), et plus récemment, Ribaric, Clarkson (2021a) l'expérience cumulative des dérangements anthropiques provoquerait plus généralement :

- Une **altération des budgets énergétiques et donc du score corporel** de l'animal (par modifications des activités de nourrissage, socialisation et repos) (figure 23),
- Des **déplacements, un changement d'habitat** (par évitement),
- Une **altération des paramètres biologiques** (diminution des taux de survie et des taux de reproduction).

(a) Témoin :



(b) Impact directement observé :

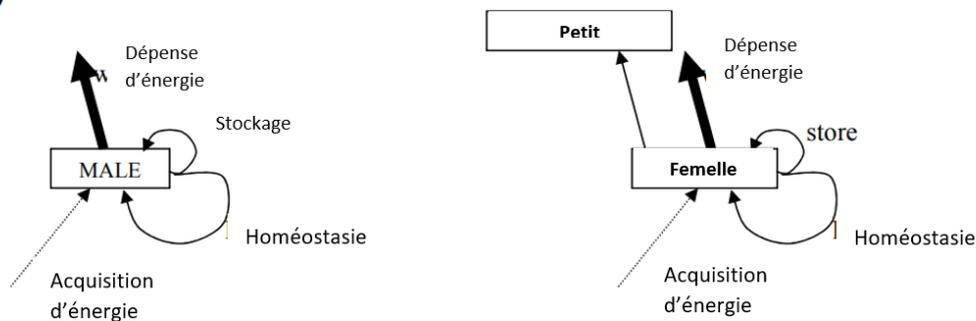


Figure 23 : Schéma représentant les individus comme des systèmes énergétiques, avec des individus témoins (a) et des individus soumis au whale watching, avec une visibilité de l'impact direct sur la répartition énergétique. Source : (Lusseau, 2006)

L'animal diminue ses activités en lien avec un apport énergétique, et augmente ses dépenses. Il perd ainsi en condition corporelle et est moins susceptible de survivre ou de se reproduire. Le dérangement agirait finalement comme une forme de sélection évolutive (Lusseau et Bejder 2006). Les phénomènes d'habituation et de sensibilisation/désensibilisation peuvent être des résultantes du stress chronique. Mais dans cette étude, Lusseau et Bejder mettent en garde sur les biais d'observation présents dans les études. Notamment, comme évoqué précédemment, une apparente habituation des animaux pourrait en fait dissimuler une sélection des animaux les moins sensibles à ce dérangement, ou de ceux les plus disposés à s'exposer au risque, et donc une modification de la dynamique écologique. Ils insistent ainsi sur l'importance de définir le contexte pour décider de la pertinence biologique des effets à courts terme observés.

La figure 24 dresse un bilan des conséquences du stress aigu et chronique sur les cétacés.

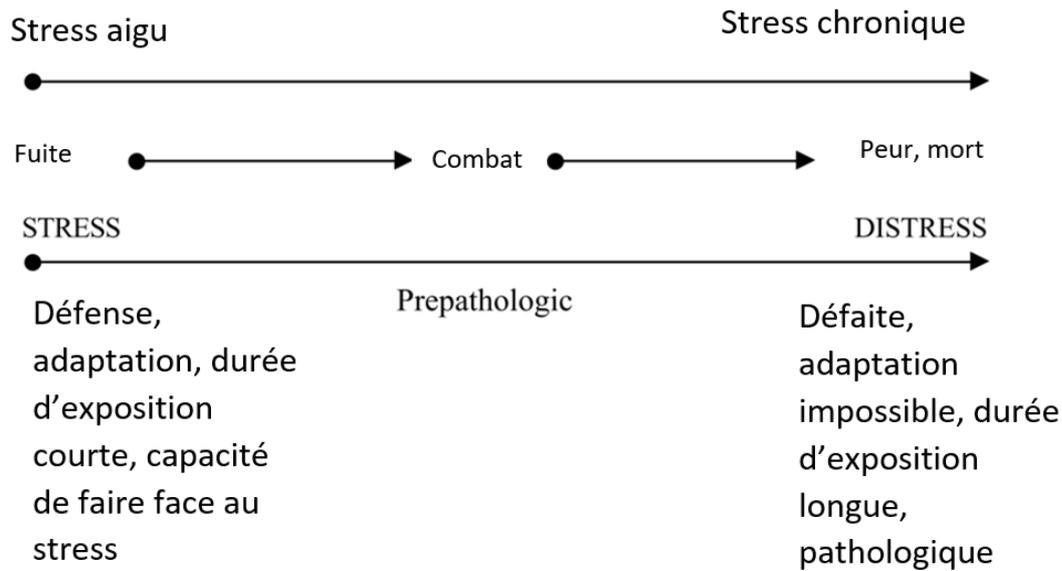


Figure 24 : Conséquences du stress aigu et du stress chronique sur les cétacés sauvages. Source : (Dierauf, Gulland 2001)

c- Conséquences du dérangement sur les populations

Les impacts du dérangement sur les populations découlent directement des modifications comportementales et hormonales détaillées dans la sous-partie précédente à l'échelle individuelle. Le dérangement conduisant à des modifications comportementales et hormonales d'un individu, à terme, est susceptible d'affecter ses fonctions biologiques primaires comme l'alimentation ou la survie. Si plusieurs individus sont sujets à ce dérangement, alors les taux de survie et de reproduction des groupes concernés se retrouvent également affectés. Ces diminutions des taux de survie et de reproduction conduisent alors à **une diminution des effectifs**, avec notamment une population vieillissante comptant de moins en moins de jeunes, modifiant ainsi **la structure des populations**, et, comme conséquence ultime, à **l'augmentation de la probabilité d'extinction de l'espèce**. Cet enchaînement de conséquences du dérangement anthropique des cétacés est schématisé dans la figure 25. Notons que les odontocètes possèdent une structure sociale très développée par rapport aux mysticètes (systèmes matriarcaux chez les globicéphales et les cachalots par exemple, avec présence de nurses, des sevrages plus tardifs, une transmission culturelle plus importante...). Aussi, toute perturbation de cette cohésion sociale par un dérangement serait davantage susceptible d'être néfaste pour les odontocètes que pour les mysticètes, (Wade, Reeves, Mesnick 2012).

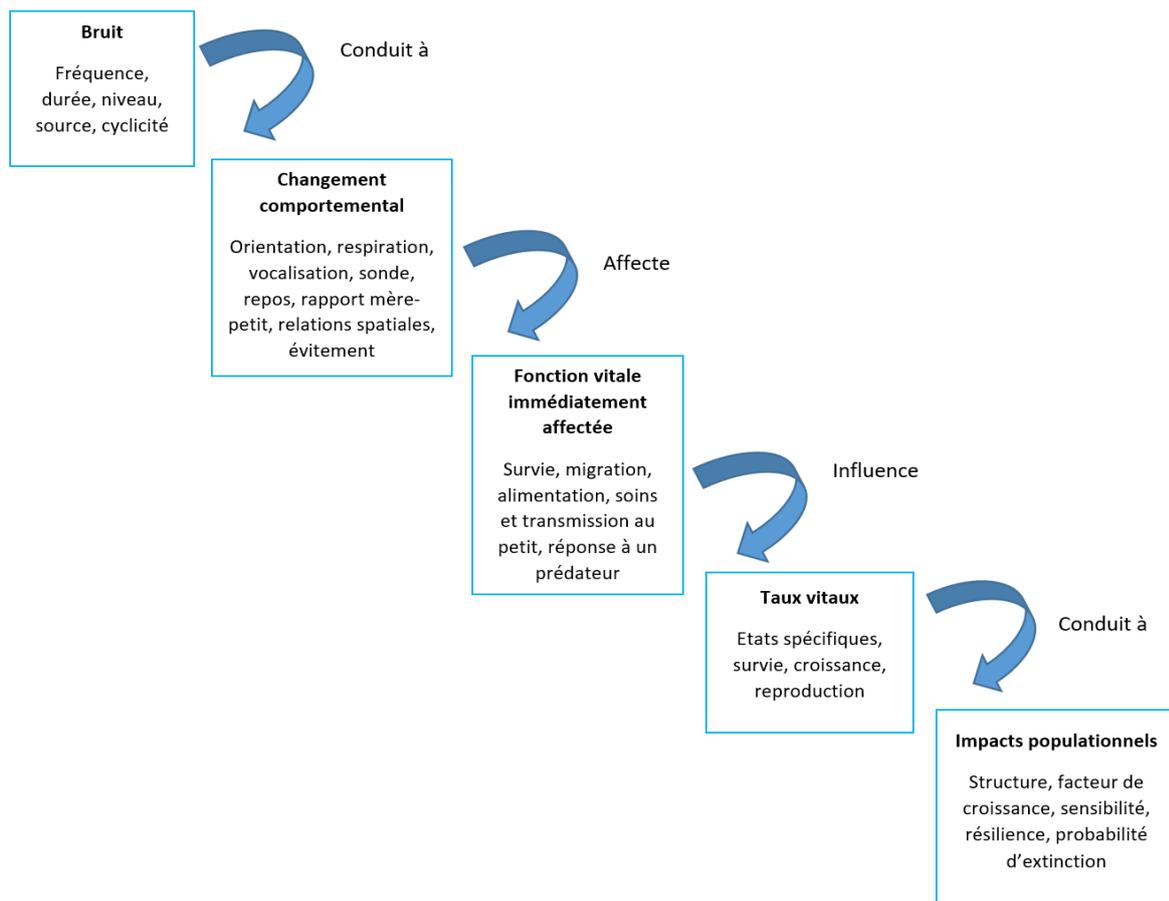


Figure 25 : Modélisation des conséquences du dérangement, de l'échelle individuelle à l'échelle des populations. Source : (Lusseau, 2006)

Rigoureusement, on rappelle qu'il nous faut également tenir compte des phénomènes écologiques possibles d'habituation, de sensibilisation et de désensibilisation, avant d'extrapoler les résultats observés à l'échelle individuelle, à l'échelle populationnelle. Il est en effet important de réfléchir aux biais générés par ces phénomènes dans nos études, comme le recommande Bejder et al. (2009c). Par exemple, dans l'étude de Lusseau et Bejder (2006), réalisée en Australie à Shark Bay, les mouvements erratiques des grands dauphins sont relevés davantage dans la zone témoin que dans la zone soumise à une forte pression de dérangement. La question qui se pose sur le fait que les dauphins dans la zone témoin réagissent aux bateaux avec des mouvements plus erratiques que ceux dans la zone soumise à une forte pression de dérangement, est la suivante : la réponse diminuée de la part des individus de la zone à forte pression est-elle le fruit d'une habituation de leur part, ou bien le résultat d'un affaiblissement général de cette population ? A ce jour, les difficultés liées à la taille du terrain d'étude que constitue la Méditerranée, et la mer en général, et le suivi de tels animaux sauvages, donnent lieu à une connaissance quasi-nulle de ces phénomènes chez ces animaux.

Nous allons maintenant présenter les différentes méthodes utilisées par les scientifiques pour évaluer le dérangement et ses impacts sur les cétacés.

Partie 3 : Méthodes d'évaluation du dérangement des cétacés : Des individus aux populations

En captivité, les études du bien-être animal se basent sur de nombreux indicateurs, et font appel à différentes disciplines (santé, éthologie...) qui permettent d'émettre une évaluation la plus fiable possible de ce bien-être, (Veissier, Miele 2015). Dans le milieu naturel, la mise en place de telles études se complexifie.

Le dérangement est difficile à percevoir et donc à évaluer. Dans son rapport 2015 sur la psychologie environnementale, le laboratoire LETG-Brest-Géomer de Brest souligne que, contrairement aux déchets, dégradation désormais choquante et visible de l'environnement, les signes du dérangement de la faune sauvage ne sont pas perçus par les individus, (Cosquer et al. 2015). Les cétacés, dotés d'un corps « globalement lisse, dépourvus de poils et d'appendices à agiter comme les oreilles, sont des animaux dont le langage non verbal est pauvre en signaux interprétables par nous autres êtres-humains », (Servais 2018). Dans cette partie, nous parlerons dans un premier temps des méthodes d'évaluation du dérangement des cétacés à l'échelle individuelle, et nous aborderons le passage de ces méthodes à l'échelle des populations.

1- Méthodes d'évaluation du dérangement d'un individu ou d'un groupe d'individus

Pour Véronique Servais, *se couper de la participation à l'interaction avec l'animal entraîne un certain type d'aveuglement, tandis que la participation expose au biais symétrique : l'illusion anthropomorphique*, (Servais 2010). La question de la perception et de l'évaluation de la souffrance ou du bien-être animal relève de la biologie et de la philosophie. Pour appréhender la souffrance animale, Véronique Servais plaide pour une *empathie solidement informée par l'éthologie et l'écologie*. Les méthodes d'évaluation du dérangement individuel des cétacés rapportées dans cette thèse reposent sur ce principe, et seront abordées à travers deux axes ; l'évaluation des paramètres comportementaux, et celle des paramètres physiologiques.

a- Méthodes d'évaluation du dérangement basées sur les paramètres comportementaux

i. Généralités et précautions sur les méthodes trouvées dans la littérature

Les études analysant le dérangement des cétacés se basent pour la majorité d'entre elles sur des données comportementales, avec un pattern de protocole assez reproductible. Il est important de fixer les conditions environnementales durant lesquelles vont être effectuées les efforts d'observation, dans un tel milieu naturel, où nous n'avons aucune prise sur les paramètres. Ainsi, les études renseignent d'abord les conditions spatiales (lieux, profondeurs, distances bateau-individus, distance observateur/individus), temporelles (saison, périodes...), et météorologiques (état de la mer, vent, pluie). Généralement, les observations ont lieu sous une échelle inférieure ou égale à 3 sur l'échelle de Beaufort. Elles caractérisent également le personnel (observateur, nombre, profession, âge, utilisateurs des instruments...) et le matériel (type de bateau, théodolite, ordinateur, logiciels de suivi...).

Ensuite, il est important de caractériser l'observation en elle-même (technique d'observation, fréquence des relèvements) et l'objet d'étude avec précision ; il faut pour cela définir en amont le sujet étudié, ce que l'on considère comme un groupe, un juvénile, un adulte.

Les comportements intégrés dans l'étude doivent être définis.

Une méthode d'évaluation du risque anthropique sur un cétacé, le Dugong, est décrite par Grech et Marsh en 2008, (Grech et Marsh, 2008). Voici les étapes proposées, ajustables à notre situation Méditerranéenne :

- **Identification de la pression** : Dans le cas du dérangement, il s'agit du bruit, et de la présence de bateaux.
- **Quantification de l'exposition à cette pression** : L'exposition de l'individu à une pression va dépendre de son taux d'exposition à la fois spatial et temporel à celle-ci. Ces taux dépendront de l'espèce considérée (lieux et modes de vies, gammes de perceptions sonores...). Pour cette étape il pourrait être judicieux de créer ces « taux d'exposition », à la manière de Ribaric et Clarkson (2021), qui fixent le niveau d'exposition aux navires des grands dauphins à 69,8% durant la saison touristique, dans le nord-est de la mer Adriatique, entre l'Italie, et la péninsule Istrique de la Croatie. D'après cette étude, ce taux d'exposition dépasse celui (fixé entre 14 et 25%, c'est-à-dire la proportion de temps passé

en présence de bateaux) auquel apparaissent les effets cumulatifs des interruptions des activités vitales, (Ribaric, Clarkson 2021a).

- **Estimation des risques que cette pression fait peser sur les cétacés de Méditerranée :**
Dans l'étude de Grech et Marsh de 2008, cette étape est renseignée à l'aide d'une sollicitation d'expert, (Grech, Marsh 2008).

Les analyses des données comportementales sont ensuite réalisées à l'aide de tests statistiques, l'utilisation des Markov Chains notamment est très répandue (figure 26).

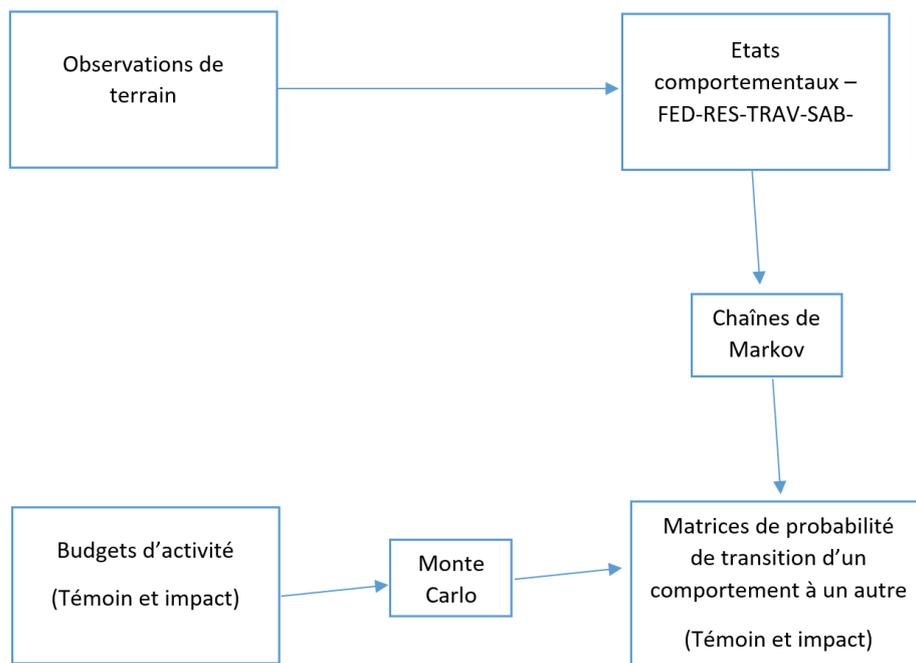


Figure 26 : Exemple de marche à suivre pour analyser le comportement de grands cétacés. Source : (Di Clemente et al. 2018)

Simulations de Monte-Carlo : algorithmes utilisés dans le but d'estimer la probabilité d'occurrence d'un scénario dans lequel interviennent des paramètres aléatoires.

FED = Feeding, activité d'alimentation

RES = Resting, repos

TRAV = Traveling, voyage

SAB = Surface active behavior, comportements de surface

ii. Paramètres comportementaux retrouvés dans la littérature

Afin de caractériser l'importance des modifications comportementales engendrées par un dérangement dans le temps et l'espace, certains indices, qu'il convient de définir en amont de

chaque étude, ont été proposés dans la littérature. En voici quelques-uns, proposés par Akkaya Bas et al. (2017) :

- **La probabilité de transition comportementale** : utilisation de chaînes de Markov. C'est un processus mathématique qui permet de visualiser les probabilités de transition d'un état à un autre en fonction de certaines règles statistiques.
- **Les budgets comportementaux** : La proportion de temps passé dans un état/une activité donnée. Souvent, les activités investiguées dans les études sur les cétacés correspondent, au repos, l'alimentation, la socialisation, le voyage, et le « milling », décrit par la littérature comme un individu ou un groupe qui nage à proximité de l'observateur sans autre activité apparente (Scheer 2010). Ces budgets comportementaux sont très fréquemment utilisés, (Peters et al. 2012, Clarkson et al. 2020, Kassamali-Fox et al. 2020, Lusseau 2003, (Ribaric et Clarkson 2021a).

Des répertoires comportementaux, ou éthogrammes, ont été conçus afin d'objectiver ces comportements. (Tableaux 5a et 5b ci-dessous pour les grands cétacés, et tableau 5c pour les petits cétacés). Notamment, la thèse vétérinaire de Céline Duroyon, a consisté à constituer un répertoire éthologie de *Tursiops truncatus* en captivité, milieu dans lequel les observations sont plus facilement réalisables, mais qui ne permet pas d'observer l'ensemble des comportements ayant lieu en milieu naturel, (Duroyon 2009).

Dans le Handbook of Marine Mammal Medicine, (Dierauf et Gulland 2001), on trouve un extrait d'une étude de Norris et al. de 1978, rapportant un comportement d'agitation et de stress suite à un dérangement par la présence et le bruit d'un navire. Les dauphins se positionnent « le plus loin possible » et frappent l'eau avec la queue, la tête, nagent de manière très rapide, se bousculent, et présente des trajectoires erratiques. Au contraire, un cas de dauphins à longs becs encerclés par des filets de pêche a révélé un comportement de passivité, qui pourrait être lui aussi interprété comme une réaction au stress.

Activité	Manifestation	Description
Alimentation	Absorption en grande quantité	Les proies sont filtrées dans l'eau, l'animal fait surface en fermant sa bouche, à la verticale ou l'horizontale
	Filets de bulles	Création d'un piège de bulle vers la surface, avant de se nourrir de la manière décrite précédemment
	Allaitement	Le veau effectue des sondes répétées et vient se placer sous la queue de sa mère, où se trouvent les mamelles
	Piège des proies	Positionnement en surface, bouche ouverte, tandis que les proies s'engouffrent à l'intérieur
Repos	Corps flottant, mouvements lents	La baleine adopte un comportement de quasi-immobilité en surface pendant plus de 30 s
Comportements de surface	« slap » ventral	La baleine sort émerge en partie son corps à la verticale et retombe sur sa partie ventrale
	« slap » de nageoire	La baleine frappe avec ses nageoires pectorales sur la surface de l'eau
	Emersion complète	Plus de la moitié du corps de la baleine sort de l'eau et effectue une rotation
	Emersion partielle	La moitié ou moins du corps de la baleine sort de l'eau
	Battements de queue	La baleine adopte un comportement stationnaire à la surface de l'eau et effectue des battements de queue répétés
	Roulement	Rotation horizontale du corps de la baleine
	Espionnage	Seule la tête fait surface, le corps est à la verticale ou presque
	Emersion de la queue	La queue fait surface et effectue un mouvement latéral hors de l'eau
Voyage	Sonde basse de la caudale	La queue fait surface mais sa partie ventrale n'est pas visible
	Sonde haute de la caudale	La queue fait surface et la partie ventrale est visible
	Dos	La nageoire dorsale sort bien de l'eau, sans souffle apparent
	Plongée profonde	Plongée sans sortir la queue de l'eau avant
	Souffle/souffle du petit/souffle de la mère	Expiration par les événements. Le souffle de la mer est plus long et plus grand que celui du petit.

Tableau 5a : Exemple d'éthogramme comportemental pour les grands cétacés. Source : (Di Clemente et al. 2018)

Activité	Définition
Déplacement	Dauphins avançant à une vitesse soutenue, se dirigeant tous dans la même direction, et nageant avec des intervalles de plongée courts et relativement constants.
Repos	Dauphins restants près de la surface et proches les uns des autres. Ils remontent en surface à intervalles réguliers de manière coordonnée, en n'avançant pas du tout ou en avançant très lentement dans une direction constante, tout en nageant avec des intervalles de plongée courts, relativement constants et synchrones
« Milling »	Dauphins en mouvement avec de fréquents changements de direction de façon qu'aucune direction ou activité en cours claire n'est perceptible. Ils restent dans la même zone générale.
Sonde	Direction du mouvement variable, les plongées en groupe sont synchronisées pendant de longs intervalles, l'espace entre les individus varie.
Socialisation	Divers évènements comportementaux interactifs observés, tels que les contacts corporels, les sauts, les inspections génitales et les coups de queue. Les individus changent souvent de position dans le groupe. Le groupe est divisé en petits sous-groupes. Les intervalles de plongée varient.
Chasse	Nage et sonde rapides en groupe resserré, dans une surface restreinte avec des sondes fréquentes et synchronisées distinguées par un dos arqué.
Etrave	Dauphins nageant à l'étrave du navire

Tableau 5b : Définitions des activités de petits cétacés. Source : (Chazot, Charrier, Leseignoux 2020a)

La majorité des études éthologiques ou liées au dérangement conduites à travers le monde portent sur les grands dauphins (*Tursiops truncatus*) ou les marsouins communs pour les odontocètes, et sur les baleines à bosse pour les mysticètes. De rares tentatives ont été réalisées afin d'éclaircir les schémas comportementaux d'autres espèces, comme les globicéphales et les dauphins de Risso, (Shane 1995). On trouve dans l'étude de Scheer (2010) un répertoire relativement complet des comportements recensés chez les cétacés envers les humains, (Scheer 2010).

Les autres indices proposés par Akkaya et al. (2017) sont :

- **Le temps total passé dans un état/une activité donnée**
- **Les budgets comportementaux cumulatifs** : Ils tiennent compte du temps passé dans un état/une activité donné, à la fois dans le groupe témoin et le groupé dérangé. On fait varier artificiellement le temps d'exposition aux bateaux en 24h de 0 à 100%, et on regarde à quel niveau d'intensité d'exposition le budget comportemental cumulatif sur 24h du groupe dérangé devient significativement différent du budget du groupe témoin.

Souvent, les études sur les impacts comportementaux à courts terme du dérangement anthropique des cétacés prennent également en compte :

- **Le schéma respiratoire** (durée, fréquence de sonde) : chez le cachalot, (Cosentino 2016), chez le grand dauphin, (Lusseau 2003), ou chez d'autres espèces absentes en Méditerranée, (Morete et al. 2007, Ng, Leung 2003).
- **Le schéma de déplacement** (vitesse de nage, résidence, changement de direction, nage constante ou erratique, abondance, dispersion, structure du groupe) : le grand dauphin (Lusseau, Bejder 2006, Lusseau 2005), le cachalot (Magalhães et al. 2002b), et encore d'autres espèces non présentes en Méditerranée comme les baleines à bosse (Schuler et al. 2019), (Scheidat et al. 2004).
- **Le schéma acoustique** : association des réponses vocales correspondantes aux comportements observés chez le grand dauphin (May-Collado et Quiñones-Lebrón 2014), temps et intensité d'exposition sonore sur les baleines à bosses, (Frankel et Gabriele 2017), « upcalls » ou signaux mère-petit chez les baleines franches de l'atlantique nord (Tennessen et Parks 2016).

iii. *Suivi de ces paramètres*

Les suivis de ces paramètres comportementaux peuvent être focalisés sur un individu, ou sur un groupe. Souvent, les grands cétacés sont suivis individuellement, ou alors en petits groupes (mère-petits par exemple), tandis que les petits cétacés, plus susceptibles de vivre en bande, sont suivis en groupe.

L'observation comportementale directe : Cette observation peut se faire depuis la terre ou depuis une plateforme occasionnelle (un avion ou un bateau par exemple), suivant des trajectoires aléatoires ou bien des transects de lignes définis en avance.

Le protocole « *Continuous sampling method* », est utilisé préférentiellement pour les grands cétacés, (Rorquals communs et Cachalots, en Méditerranée). Il s'agit d'effectuer un échantillonnage permanent sur toute la période d'observation. (Mann 1999). Les observateurs enregistrent ensuite des données en début d'observation et dès que possible : le nombre d'individus présents dans le groupe observé, la composition de ce groupe en jeunes et adultes,

l'approche du navire à l'origine du dérangement ; et en cours d'observation : les comportements des animaux observés et ceux du navire. C'est la méthode utilisée par exemple dans cette étude pour le suivi de petits groupes mère-petits chez la baleine à bosse : (Morete, Bisi, Rosso 2007).

Le protocole « *Instantaneous scan sampling method* » est utilisé préférentiellement pour les petits cétacés. C'est un échantillonnage instantané, réalisé à intervalles de temps réguliers, (Mann 1999). C'est la méthode utilisée pour le grand dauphin dans l'étude de Constantine et al. (2004). L'observation débute lorsque le navire entre dans la zone de vigilance établie par le Code de Bonne Conduite de Pelagos, à savoir une distance de 300 m autour des animaux. Les comportements sont rapportés en début d'observation, ainsi que le nombre d'individus et la composition du groupe, puis toutes les deux minutes sont relevées les activités principales et secondaires du groupe, ainsi que le nombre d'individus. L'observation se termine lorsque les animaux se trouvent à une distance supérieure à ces 300 m.

L'observation comportementale indirecte : L'observation des cétacés peut se faire par l'intermédiaire des drones, ou UAS, (Unmanned Aerial System, UAS), (Nowacek et al. 2016). D'après Ramos et al. (2018), qui a étudié les réactions comportementales de plusieurs mammifères marins aux drones, cette technologie est utile et impacte peu les animaux et leur comportement, tant que la personne aux manettes du drone est un pilote averti, et que le drone vole assez haut. En effet, la majorité des réactions des animaux observées ont eu lieu quand le drone était à moins de 20 m d'altitude. Généralement, les dauphins et baleines observent le drone, mais la grande majorité des animaux étudiés n'ont pas trop réagi à sa présence, et ce même si ses apparitions étaient fréquentes, tant qu'il se trouvait à une altitude assez haute. Le principal inconvénient de cette technologie à ce jour est le temps de vol, limité par la batterie.

Des hydrophones et des caméras sous-marines peuvent également permettre de suivre en continu le comportement et les signaux de communication des animaux sur de courtes périodes, (Booth, Sinclair, Harwood 2020).

Le suivi géographique (GPS, tags, photo-ID, photogrammétrie, vidéométrie, individual-tracking) : Les cétacés sont difficiles à suivre. Ils disparaissent pendant leurs sondes, sans laisser de trace quelconque ; il n'y a aucune piste à suivre, (Mann 1999). Pour pallier à cela, les chercheurs ont développé différentes méthodes de suivi : la photo-identification permet de reconnaître des individus dont les observations sont séparées par des années et des milliers de kilomètres. Les chercheurs utilisent également des marquages, ou « tags » qui peuvent être acoustiques, radio ou satellite.

La télémétrie permet un suivi individuel, pour suivre les mouvements d'un individu sur du court, moyen ou long terme. Cette approche a été beaucoup utilisée pour établir une base de patterns comportementaux et les réponses d'un animal à une perturbation, (McClintock et al. 2013).

L'utilisation de tags multi senseurs à haute résolution renseigne sur les mouvements et l'acoustique, (DeRuiter et al. 2013). Le principal défaut de ces tags est qu'ils sont gros et peuvent donc influencer sur le comportement de l'animal en le gênant.

Enfin, la transmission des informations visuelles par satellites pourraient permettre d'avoir un monitoring longitudinal de ces variables sur une période de plusieurs mois (Miller et al. 2019). Ces tags satellites sont surtout utilisés sur les baleines à bosses à ce jour, pour les suivre lors de leur migration notamment.

Il est important de garder à l'esprit que ces observations, notamment par la pose de tags, peuvent être biaisées par une sélection des animaux récupérés ou vus ; ces derniers pourraient être toujours les mêmes car les moins farouches.

Dans une étude sur le dérangement des chamois (Duparc et al. 2017), le dérangement est évalué grâce au suivi GPS des trajectoires des animaux. Cette étude met en évidence le caractère prédictif du dérangement des chamois par les randonneurs (tous les jours en période estivale, sauf par mauvais temps, et dans les zones de sentiers), et questionne sur la possibilité pour ce mammifère de compenser les effets négatifs du dérangement pendant les heures fréquentées par une suractivité d'alimentation pendant les heures calmes par exemple. Ceci pourrait être intéressant à reproduire dans le cadre des cétacés, cependant, le trafic maritime est moins prédictible qu'un sentier de randonnée, et on peut imaginer les difficultés pour les animaux d'anticiper les dérangements anthropiques lors de la période touristique.

L'acoustique passive : L'acoustique passive permet de détecter, traquer et identifier les cétacés, et de réaliser un suivi de présence et de distribution spatiale sur de grandes distances (Frankel, Clark 1994). Elle est très utile pour repérer les cachalots notamment, chez qui les sondes sont profondes et longues. Son utilisation est limitée chez certains petits odontocètes, dont l'émission des clics est à fréquence trop élevée. On peut suivre les activités de socialisation et d'alimentation ou de chasse grâce aux différents sons émis par les animaux (Van Parijs et al. 2009). Le point critique de cette méthode est de pouvoir caractériser les vocalisations de l'espèce étudiée ; en effet, l'acoustique passive est souvent utilisée pour témoigner de la présence ou de l'absence de l'espèce recherchée, mais le niveau de précision permet rarement d'obtenir davantage d'informations,

comme le nombre d'individus, l'activité, etc. On utilise des hydrophones remorqués, et plus récemment, des hydrophones sur des planeurs ou des plateformes mobiles.

Les études conduites sur l'acoustique ont notamment mené à l'établissement d'un seuil de régulation à 120 dB re 1 μ Pa lors de basses fréquences, comme le niveau sonore au-dessus duquel des impacts sont observables sur les cétacés, (Committee on Low-Frequency Sound and Marine Mammals, National Research Council 1994). Ce seuil se base sur des études réalisées sur les Baleines grises et les Baleines boréales. Ce seuil est quelque peu empirique, et nous faisons face à un cruel manque d'études acoustiques sur les autres cétacés. Il est à noter que chaque sous-population d'une même espèce possède ses propres répertoires sonores, aussi il serait intéressant que chaque région fasse ses propres études acoustiques, correspondant aux populations de cétacés locales.

La méthode la plus effective des études d'impacts serait d'associer au monitoring comportemental des mesures physiologiques d'état corporel, des dosages hormonaux, des fréquences cardiaques, des températures corporelles... Idéalement il faudrait donc monitorer les réponses physiologiques et comportementales d'un individu, sur le long terme. De plus, les modifications physiologiques en réponse à un dérangement peuvent parfois être détectées sans qu'il n'y ait de changements comportementaux. Les deux modalités à prendre en compte sont donc le comportement et la physiologie. Les animaux peuvent répondre via une modalité et pas l'autre à un stimulus, et de même, ils peuvent s'habituer via une modalité et pas l'autre.

b- Méthodes basées sur les paramètres physiologiques

D'après Dierauf et Gulland, le stress est d'autant plus difficile à évaluer biologiquement parlant que l'on ne dispose pas de population de référence, (Dierauf, Gulland 2001).

Les paramètres physiologiques d'un individu vont permettre d'effectuer un suivi de la santé de celui-ci et d'évaluer son niveau de stress, ponctuel ou chronique.

i. Méthodes de captures

La capture ou capture-relâché (*hands-on assessment*): les prélèvements sont réalisés sur des animaux capturés dans leur milieu avant d'être relâchés, des animaux échoués, morts ou

vivants. Cette méthode est difficilement réalisable sur les cétacés en général : en effet, les animaux échoués vivants ou morts peuvent constituer des biais non représentatifs d'une population en bonne santé. De plus, les cétacés qui nous intéressent dans cette thèse sont peu enclins à être retrouvés échoués sur nos côtes, l'échantillon d'individus disponible pour la collecte de données est donc très faible, (Booth, Sinclair, Harwood 2020).

La capture- recapture : cette méthode induit un marquage de l'animal lors d'une première capture (par photo-identification par exemple). De tels suivis sont régulièrement effectués sur les espèces de delphinidés côtiers comme le grand dauphin mais on a aussi été réalisés sur des grands cétacés comme les cachalots de l'archipel des Açores (Matthews, Steiner, Gordon 2001), ou sur des mysticètes : les baleines boréales du Canada (Wiig et al. 2011) par exemple.

ii. Suivi de l'état de santé

Un paramètre important à considérer est le **cout énergétique** du dérangement pour l'animal considéré (Williams, Lusseau, Hammond 2006). Ce paramètre peut être suivi par photogrammétrie et vidéométrie. En effet, ces outils renseignent sur l'identité de l'animal (forme de la dorsale, taches, cicatrices), sur son âge (taille), et sur son état de santé en général (statut nutritionnel, état corporel, lésions, dépression scapulaire, forme de la dépression post-nucale), (Durban et al. 2016), (Rolland et al. 2016). Quand les images sont combinées avec une échelle, on peut estimer les caractéristiques morpho métriques et donc évaluer l'âge, ou l'état d'un individu. On peut alors suivre un animal et tracer des courbes de croissance, des notes d'état corporelles... Cette méthode a une bonne faisabilité et une plutôt bonne utilité dans plusieurs groupes d'espèces, en particulier pour les grands cétacés, (Booth, Sinclair, Harwood 2020).

On peut utiliser différents outils d'acquisition de données visuelles, comme pour les études comportementales, avec différents types de caméras, ou des drones par exemple.

Outre l'utilisation de ces outils, les déductions des études comportementales peuvent apporter directement des informations sur l'état de santé d'un individu. Par exemple, l'analyse du comportement de plongée peut donner des informations sur la flottabilité d'un individu, qui peut être indicatrice de sa condition corporelle, (Dunkin et al. 2010), (Larrat 2014), (Miller et al. 2016).

Pour évaluer le dérangement provoqué par le bruit, la méthode technique d'audiométrie électro-physiologique (AEP) consiste à mesurer la sensibilité auditive grâce à des électrodes implantées sur la peau au-dessus de la tête de l'animal, afin d'enregistrer les micro-potentiels

électriques qui émanent du cortex auditif. Cette méthode permet d'obtenir des audiogrammes d'animaux qui ne peuvent pas être maintenus en captivité, et de mesurer les pertes d'audition consécutives à l'exposition préalable à des niveaux sonores élevés, (Gannier 2013). De tels audiogrammes, présentés dans le rapport de Gannier (2013), ont été tirés des prospections du Groupe de Recherche sur les Cétacés (GREC), grâce à un hydrophone remorqué entre 1990 et 2010.

iii. Échantillonnages biologiques

Marqueurs immunitaires : Le système immunitaire est composé de nombreuses molécules cellulaires utiles pour mesurer le stress chronique. Notamment, des mitogènes de lymphocytes T comme la PHA (Phytohemagglutinin) et la concanavalin A agissent comme des stimulateurs non spécifiques de la fonction immunitaire, et cause une prolifération et une activation des lymphocytes. De tels tests ont été utilisés pour évaluer la santé des orques et du grand dauphin, notamment, (Dierauf, Gulland 2001).

D'après Bourret (2016), des marqueurs immunologiques du stress comme la leucocytose, la neutrophilie, et la lymphocytopenie pourraient être utilisés pour suivre et caractériser un état de stress chez les mammifères marins, (Bourret 2016).

Dosage des glucocorticoïdes : Dans l'évaluation biologique du stress des animaux, on a souvent recours aux dosages des corticostéroïdes en tant que marqueurs de la réaction des corticosurrénales au stress, (Cook 2012).

Les dosages hormonaux des cétacés sauvages ont longtemps été réalisés à partir de prélèvements sanguins. Ceux-ci nécessitaient obligatoirement la capture de l'animal, précédée d'une poursuite potentiellement stressante pour l'animal et donc à même de générer un stress aigu. Désormais, les chercheurs utilisent préférentiellement des biopsies de gras sous-cutané, des prélèvements d'urine, de salive, et des techniques peu invasives comme les fèces ou le souffle, (de Mello et de Oliveira 2016).

D'autres études montrent que le taux de glucocorticoïdes est un bon indicateur de stress, avec l'augmentation de celui-ci chez des baleineaux avant de mourir des suites de blessures infligées par des mouettes, (Fernández Ajó et al. 2020).

Atkinson et Dierauf (2018) expliquent que le stress chronique peut engendrer une des deux réactions suivantes :

- L'habituation : la réponse au stress diminue à chaque épisode stressant et la physiologie de l'organisme s'habitue aux évènements stressants. La concentration en glucocorticoïdes serait faible dans ce cas, malgré que l'animal soit dans un état de stress chronique, (Herman et al. 2016), (Terjung 2011).
- La sensibilisation : la réponse au stress augmente à chaque épisode de stress et la physiologie de l'organisme est incapable de s'adapter. Le potentiel endocrinien et immunitaire s'épuise, et la concentration en glucocorticoïdes serait élevée, (Atkinson, Dierauf 2018).

Cependant, certains scientifiques soutiennent que le cortisol ne serait pas un bon indicateur de stress lorsque sa concentration est interprétée de manière isolée. Pawluski et al. (2017) ont réalisé une étude comparative sur le taux sanguin de cortisol et la concentration en métabolites fécaux des glucocorticoïdes de chevaux répertoriés comme étant dans un état de bien-être ou de mal-être d'après des critères éthologiques. Ces derniers ont pu montrer que les chevaux dans un état de mal-être évident présentaient un faible taux sanguin en cortisol et une faible concentration de métabolites fécaux de glucocorticoïdes. L'analyse seule de la concentration en glucocorticoïdes ne serait donc pas pertinente pour l'étude d'un stress chronique (Pawluski et al. 2017).

L'étude isolée de la concentration en glucocorticoïdes est peu instructive sur l'état de bien-être de l'animal. Mais, couplée à d'autres indicateurs de stress, comme des analyses comportementales, elle peut devenir intéressante. Il paraît donc important de contextualiser le statut physiologique de l'animal dans un cadre éthologique particulier. Si un animal montre des signes comportementaux de mal-être chronique, et des mesures comportementales visant compenser ce stress, le dosage des glucocorticoïdes pourrait permettre de déterminer si le mal-être met en danger l'organisme de l'animal, par sensibilisation, qui serait accompagnée par des concentrations élevées et prolongées de ces glucocorticoïdes.

Biopsies de gras sous-cutané (« blubber ») : La graisse sous-cutanée des cétacés peut être prélevée par biopsie, sur animal vivant ou mort, et renseigne sur l'âge, l'état physiologique et corporel, des marqueurs de la fonction immunitaire et permet également des dosages hormonaux, (Booth, Sinclair, Harwood 2020), (Trego, Kellar, Danil 2013), (Hunt et al. 2013). Les concentrations de cortisol retrouvées dans les graisses de baleines ayant subi un stress intense sont 3 à 5 fois supérieure à celles retrouvées sur des baleines vivantes ; c'est ce que rapporte cette étude sur les baleines franches de l'Atlantique nord, qui compare les concentrations de cortisol mesurées

dans les graisses sous cutanées de baleines vivantes à celles dont la mort fut précédée d'un stress anthropogénique intense. (Enchevêtrement dans des filets de pêche, collision avec un navire...) (Graham, Burgess, Rolland 2021).

La teneur en hormones du tissu adipeux varie bien moins rapidement que celle du sang. Par conséquent, la concentration hormonale dans le tissu adipeux est représentative d'une plus grande fenêtre de temps physiologique et est peu influencée par les événements qui ont lieu dans les minutes précédant le prélèvement. L'utilisation de ce substrat en milieu sauvage présente donc l'intérêt de permettre d'étudier la réponse au stress en évitant les interférences engendrées par la chasse, la capture et le mode de prélèvement, (Champagne et al. 2017), (Kellar et al. 2015).

Salive : La concentration salivaire en cortisol peut être corrélée à la concentration sanguine en glucocorticoïdes : le cortisol salivaire correspondrait à 27% du cortisol sanguin chez le grand dauphin, (Cook 2012).

Fèces et urine : Ce sont les deux voies d'excrétion principales des glucocorticoïdes. La concentration de métabolites dosée dans les fèces est le produit de l'activité corticosurrénalienne mais aussi de différents processus comme la conjugaison hépatique, le temps de transit, la composition bactérienne du tube digestif et la composition de la ration alimentaire, (Cook 2012). En particulier, plus le temps de transit est élevé, plus les fèces incorporent des glucocorticoïdes du fait d'un temps d'exposition accru, (Cook 2012). La concentration mesurée n'est donc pas la concentration en glucocorticoïdes d'un instant t mais une moyenne de la concentration en glucocorticoïdes sur une période indéterminée qui est fonction du temps de transit : la méthode de prélèvement n'a donc pas d'impact sur la concentration en métabolites fécaux de glucocorticoïdes. Celle-ci informe sur une concentration moyenne d'une période révolue.

Les deux principales techniques de dosage des glucocorticoïdes fécaux sont des dosages immunologiques qui se basent sur la liaison d'un antigène (dans notre cas, le cortisol par exemple), à un anticorps. On retrouve le dosage radio-immunologique (RIA) et le dosage immuno-enzymatique (ELISA) (Mercera, et al. 2021).

Il existe des chiens, appelés K-9, entraînés pour alerter sur la localisation de fèces flottants, notamment ceux des baleines, (Rolland et al. 2012). Les fèces de dauphins sont généralement trop petits et liquides pour que leur récolte soit réalisable autrement qu'en les capturant.

Le prélèvement d'urine, lui, est réalisé principalement chez les dauphins captifs de manière volontaire, mais est inenvisageable chez les cétacés en milieu sauvage.

Souffle, ou air expiré : Ce type de prélèvement peut être utilisé pour le dosage de nombreuses hormones stéroïdiennes telles que les glucocorticoïdes, les minéralocorticoïdes, la progestérone et la testostérone, (Proie 2013). Il s'agit du prélèvement de mucus pulmonaire à l'aide d'une compresse au bout d'une perche, placée au-dessus de l'évent de l'animal lorsqu'il expire.

Fanons : Le dosage du cortisol et des glucocorticoïdes peut également se faire dans les fanons d'une baleine. Ils permettent de mesurer le stress sur plusieurs années (4 cm = 60 jours d'intervalles) (Hunt et al. 2017).

Cérumen : Une étude américaine parue en 2013 a montré que le taux de cortisol mesuré dans le cérumen d'une baleine bleue était équivalent à celui dosé dans le gras sous-cutané. (Trumble et al. 2013).

Les méthodes d'étude et de suivi du dérangement des cétacés sont en grande partie limitées à ce jour car nous ne disposons pas vraiment de valeurs de références, notamment pour ce qui est des marqueurs physiologiques. La mise en place de structures types sanctuaires, à mi-chemin entre la captivité et le milieu naturel, permettrait des études de comportements et de physiologie unique, notamment lors de retour au milieu naturel, dans le contexte actuel de fermeture des delphinariums. On pourrait par exemple suivre la réduction des effets du stress chronique lié à la captivité prolongée, suite au transfert de l'animal dans le sanctuaire, (Bourret 2016).

L'étude de Booth et al. (2020), dresse un état des lieux assez complet de la faisabilité de ces méthodes. Grâce à une sollicitation d'experts, ils classent les différentes méthodes de la moins pertinente (0) à la plus prometteuse (3), (Booth, Sinclair, Harwood 2020).

Par exemple, sont répertoriées dans le tableau 6 et en annexe 1 les méthodes de collectes de données permettant d'évaluer la santé d'un individu, en fonction de son espèce.

Méthode	Cétacés à sonde profonde	Mysticètes	Dauphins côtiers	Dauphins du large
Capture, capture-relâché	0 à 1	0 à 1	2	1
capture- recapture	2 à 3	3	3	1 à 2
Photogrammétrie	2 à 3	3	2	1 à 2
Suivi individuel	2 à 3	2	2	0 à 1
Biopsie	2 à 3	3	3	3
Souffle	1	2	0 à 1	0 à 1
Fèces	1 à 2	2	1	1
Observations	2	3	3	1
Acoustique	1 à 2	2	2 à 3	1 à 2

Tableau 6 : Résultat de la sollicitation d'expert sur l'évaluation de différentes méthodes de collectes d'informations sur la santé individuelle des individus de chaque espèce. Source : (Booth, Sinclair, Harwood 2020). 0 : Données non collectables ni analysables en 5 ans , 1 : Données collectables et analysables en 5 années, mais aucune étude actuelle réalisée, 2 : Méthodes utilisées dans des études dont les résultats sont suffisants pour espérer des bonnes estimations de la situation dans les 5 années à venir, 3 : La méthode est connue et fiable et peut être utilisée pour apporter des mesures d'état de santé individuelles.

c- Autres méthodes : avis d'experts et modèles

i. L'outil WATWC : exemple des sollicitations d'experts

L'outil WATWC, pour Welfare Assessment Tool for Wild Cetaceans (Outil d'évaluation du bien-être des cétacés sauvages), est basé sur la sollicitation et l'avis d'experts. Ces experts évaluent, à l'aide de leurs connaissances et de documents d'informations spécifiques à la situation donnée, le dérangement subi par un cétacé dans un scénario donné, à l'aide de grilles et de système de scoring. Il est également demandé à ces experts d'évaluer leur confiance en leurs propres scoring.

Cet outil repose sur le principe des 5 libertés fondamentales considérées pour les animaux terrestres par l'OIE comme : 1. L'absence de faim, de soif et de malnutrition, 2. L'absence de peur et de détresse, 3. L'absence de stress physique ou thermique, 4. L'absence de douleur, de lésions, de maladie, 5. Et la possibilité pour l'animal d'exprimer les comportements normaux de son espèce, (OIE 1965).

Dans le contexte du bien-être animal appliqué aux cétacés, ces 5 libertés ont été revues et classées en 4 catégories comme suit : Nutrition, Environnement, Santé, Comportement.

Un 5eme domaine, plus subjectif a été établi : l'état affectif, (Tableau 7). Ces 5 principes forment le FDM (Five Domains Model).

Facteurs de survie (potentiellement observable)		Facteurs liés à la situation (potentiellement observable)	
Domaine 1 : Nutrition. Considérant un potentiel impact du scénario sur : Capacité de chasser, ingestion, digestion, disponibilité, qualité et variété des proies, nécessités énergétiques	Domaine 2 : Environnement. Considérant un potentiel impact du scénario sur : Présence de toxines dans l'eau, bruit, autre perturbation qui empêche l'utilisation optimale de l'habitat, pièges, température, évènements imprévisibles, menaces de prédateurs	Domaine 3 : Santé. Considérant un potentiel impact du scénario sur : Maladie, blessure interne, blessure externe, désorientation, parasitisme, problème respiratoire, déshydratation, perte d'état, perte d'une fonction sensorielle	Domaine 4 : Comportement. Considérant un potentiel impact du scénario sur : Perte des codes sociaux, séparation des individus, communication limitée, apprentissage compromis, repos perturbé, réaction aversive face à une situation menaçante ou imprévisible, altération des budgets temps
Expérience affective (non observable) : votre jugement sur la possibilité pour l'animal d'expérimenter un état mental négatif associé aux domaines 1 à 4, considérant :			
Douleur, colère, malaise, anxiété, panique, peur, inconfort, fatigue, léthargie, asociabilité, confusion, rage, irritation, nausées, à bout de souffle, autres états associés à une perturbation de l'homéostasie			

Tableau 7 : Version du « FDM » adaptée pour l'évaluation des effets des activités anthropiques sur le bien-être des cétacés sauvages. (Christine Nicol et al. 2020)

Cet outil a été testé et amélioré à travers différents regroupements d'experts (Au Parc national du Kruger, en Afrique du Sud en mai 2016, puis à Londres en 2018) traitant du bien-être animal et son évaluation. Puis, une étude pilote a été réalisée, sur les baleines à bec de cuvier ainsi que sur le grand dauphin, et revu dernièrement dans une seconde étude de cas à Bled (Slovenie), en 2018, (Christine Nicol et al. 2020).

C'est cet outil qui a été testé dans cette thèse, en 4^{ème} partie de ce rapport, appliqué au grand dauphin de Méditerranée, dans l'objectif d'évaluer la pertinence de l'utilisation de l'outil WATWC dans l'évaluation dématérialisée du dérangement des cétacés de méditerranée, ainsi que de son extension à l'échelle populationnelle.

ii. Les modélisations

Les tests statistiques et modélisations sont surtout utilisés pour traiter les données récoltées grâce aux méthodes citées précédemment. Des modélisations peuvent être créées à partir de sollicitations d'experts, comme c'est le cas dans l'étude de Booth et Thomas (2021), qui étudie l'effet de d'une diminution de la salinité de l'eau sur les grands dauphins. Certaines études ont également établis des modélisations afin de simuler des interactions humains-cétacés sur le long terme, pour tenter d'extrapoler les résultats obtenus aux échelles individuelles, à celle des populations, (Middel, Verones 2017).

Ainsi, les cétacés soumis à un dérangement peuvent exprimer, ou pas, des comportements en conséquence, qu'il nous est possible d'enregistrer visuellement grâce à des observations directes ou indirectes, grâce à un suivi individuel, à l'acoustique passive, ou encore grâce à des paramètres biologiques comme le dosage de glucocorticoïdes, de marqueurs immunitaires, ou le suivi de l'état général. Il est également possible d'estimer les conséquences d'un dérangement grâce à une sollicitation d'experts, ou bien de créer des modèles de simulation pour mettre en scène un dérangement sur un individu ou un groupe d'individu virtuels, et observer les conséquences ainsi générées par le logiciel.

Ces méthodes ont été largement utilisées afin de mettre en évidence des impacts à court-moyen terme, à une échelle individuelle. Aujourd'hui, de nombreuses études font remarquer le caractère évident de l'existence de conséquences à long terme, à l'échelle des populations de cétacés (Lusseau 2006) ; (Lusseau, Bejder 2006) ; (Kassamali-Fox et al. 2020) ; (Schuler et al. 2019), mais rares sont les méthodes qui permettent d'objectiver, et de quantifier les impacts du dérangement à une telle échelle.

Dans le cadre du projet MARKER, dont fait partie cette thèse, des indicateurs sont testés afin de mettre en évidence les effets de l'activité du whale watching sur les cétacés de Méditerranée, à l'échelle des populations, (figure 27).

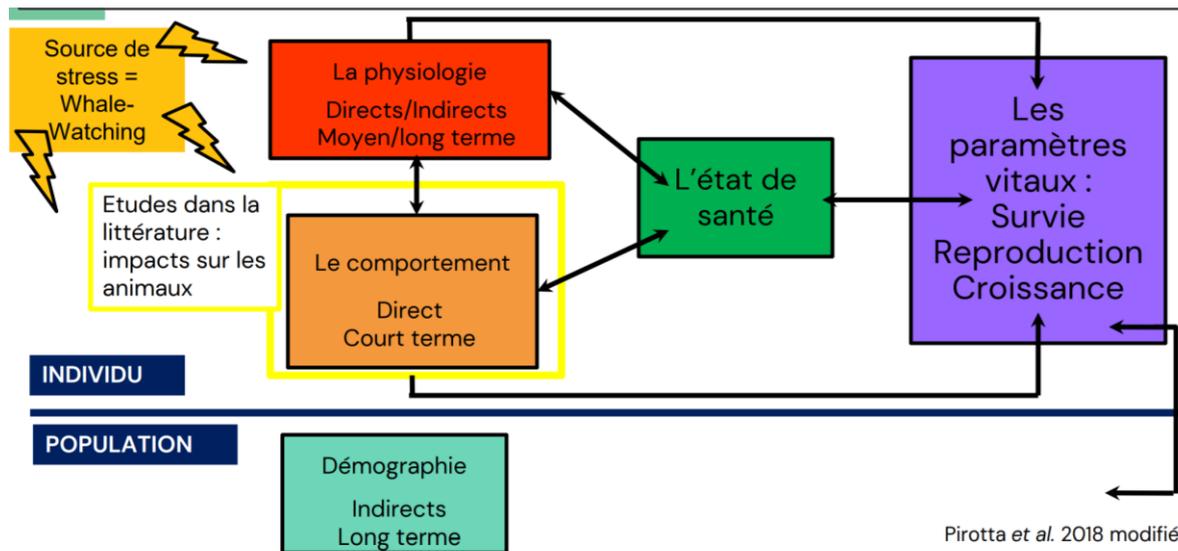


Figure 27 : Schématisation des effets de l'activité de Whale Watching sur les cétacés, de l'échelle individuelle à celle des populations. Source : (Pirota et al. 2018) modifié par l'association MIRACETI dans le cadre du projet MARKER

2- Passage de l'individu à la population

Les études comportementales portent par définition sur des individus. Si on veut extrapoler des résultats individuels à l'échelle populationnelle, il convient d'observer la même chose sur un assez grand nombre d'individus. On peut alors calculer des moyennes, des marges d'erreurs, et faire tourner des modèles à la recherche de ce qui pourrait influencer sur les résultats. Par exemple, si on a observé plusieurs comportements différents en réponse à un dérangement, on peut se demander quelle est l'influence du sexe ou de l'âge des individus, du type de dérangement, de la météo, ou n'importe quoi d'autre qu'on suppose pouvoir avoir un effet sur le comportement observé.

A propos des cétacés, ce type de raisonnement, qui intégrerait la notion de dérangement répété dans la durée à l'échelle individuelle, est très ambitieux.

Notons que la majorité des études sur les effets du dérangement a été menée sur les odontocètes, et moins sur les mysticètes. En particulier, l'extension des effets du dérangement individuel aux populations n'a quasiment jamais été réalisée sur les mysticètes, (Barcelo et al. 2014).

La plupart des études disponibles aujourd'hui font de la « prédiction » à partir des résultats comportementaux observés sur le court terme. Les lois sont à ce jour basées sur ces prédictions et sur les recommandations qui en découlent.

Dans le cadre du projet MARKER, l'association MIRACETI a proposé des indicateurs de pression, des indicateurs de risque, et des indicateurs d'impact individuels et d'impacts populationnels.

a. Propositions d'indicateurs

Indicateurs de bien-être

Le comité de bien-être animal de l'association européenne pour les animaux aquatiques (European Association for Aquatic Animals, (EAAM)) travaille actuellement à l'élaboration d'indicateurs de bien-être pour les dauphins. La grande majorité d'entre eux ont été validés scientifiquement à ce jour mais les publications restent à venir. Si de nombreux indicateurs ont déjà été proposés pour l'évaluation du bien-être des dauphins en captivité (Rosen, Koopman, Reichmuth 2014), les indicateurs en cours d'élaboration engloberont aussi, à l'aide de grilles d'évaluation, celui des dauphins en liberté.

Indicateurs de dérangement

Durant cette année 2021, l'association MIRACETI a défini des métriques pour renseigner des indicateurs (Tableaux 8a, 8b, 8c et 8d) basés sur l'information qu'ils apportent (pression, risque, impact), leur échelle (individuelle ou populationnelle), et leur pertinence.

Métriques	Définition de la métrique
Aire et densité d'occupation, zone d'activité du whale-watching (Localisation)	Surface absolue ou relative occupée par l'activité whale-watching
Nombre de structures référencées en whale watching (niveau de pression)	Nombre de structures de whale watching référencées sur la zone
Proportion d'opérateurs qui proposent la nage avec les cétacés (nature de la pression)	Nombre d'opérateurs proposant la nage / nombre d'opérateurs recensés
Intensité (niveau de pression)	Nombre de sorties, durées de ces sorties
Type de bateaux (capacité, moteur, longueur...)	En discussion

Tableau 8a : Indicateurs de pression, en cours d'élaboration par Laurène Trudelle, MIRACETI.

Métriques	Définition de la métrique
Aire d'occupation, chevauchement de la zone d'activité de whale watching et de la zone occupée par une espèce (localisation du risque)	Surface relative occupée par chaque espèce qui chevauche l'activité
Nombre d'observations par espèce (niveau du risque ciblé)	Nombre d'observations par espèce/ nombre total d'observations
Nombre moyen d'individus observés en interaction avec un bateau de whale watching	Nombre d'individus observés en présence d'un bateau/ nombre total d'observations
Proportions d'observations en présence d'au moins 1 nouveau-né ou jeune	Nombre d'observation d'au moins un jeune ou nouveau-né/ nombre d'observation
Durée d'observation cumulée ou durée moyenne d'observation	Durée totale des observations/ nombre d'observations

Tableau 8b : Indicateurs de risque, en cours d'élaboration par Laurène Trudelle, MIRACETI.

Métrique	Définition de la métrique
Proportion de changement de comportement par rapport au comportement initial, à l'arrivée dans la zone de vigilance (300 m) (Niveau de dérangement comportemental)	Nombre de changement de comportements à l'arrivée du bateau dans la zone de vigilance / nombre d'observations
Proportion des groupes ayant eu un comportement de fuite/évitement à l'approche du navire	Nombre de fuite observées / nombre d'approches faites
Distance moyenne observée entre un groupe et un bateau	Somme des distances estimées / Nombre d'individus total

Tableau 8c : Indicateur d'impact individuel, élaboré par Laurène Trudelle, MIRACETI.

Métriques	Définition de la métrique
Abondance absolue par espèce (individus/km)	Nombre d'individus dans la zone d'étude
Abondance relative par espèce	Nombre d'individus/km/maille
Taux de rencontre par espèce, fréquentation	Nombre d'observation/km/maille
Aire d'occupation par espèce, distribution, localisation	Surface relative occupée par l'espèce
Diminution de la fréquentation d'une zone en lien avec l'intensité de la pression par espèce	Corrélation statistique significative de la diminution de la densité, de l'abondance d'une espèce dans une zone en lien avec l'intensité de l'activité de whale watching

Tableau 8d : Indicateur d'impact populationnel élaboré par Laurène Trudelle, MIRACETI.

Les indicateurs d'impact populationnel retenus concernent donc l'abondance des individus d'une espèce dans la zone étudiée, le taux de rencontre entre ces individus et le bateau

d'observation, la distribution des individus de l'espèce considérée, et enfin la corrélation entre la variation de la fréquentation de la zone étudiée et l'intensité de l'activité source de dérangement. L'idée de cette dernière information étant de tracer la distribution spatiale des facteurs de pression évalués (bruit et présence de bateaux, donc navigation essentiellement, avec whale watching, trafic maritime, mais aussi activités bruyantes à terre) et de la comparer à l'aire d'occupation de l'espèce, puis au taux de rencontre.

Ces métriques nécessitent un suivi à long terme des individus, grâce à l'élaboration de catalogues avec la photo-identification, un recensement du nombre d'individus de l'espèce considérée ainsi que du nombre de bateaux, et bien-sûr de nombreux efforts d'observation. Les catalogues ainsi créés permettent de comparer les caractéristiques démographiques de la population avant et après des évènements perturbateurs.

Pour le passage de l'individu à la population, on introduit la notion des taux. Ici, il s'agit du taux de rencontre par exemple, mais certaines études évoquent les taux de survie, taux de reproduction, taux d'exposition, (Ribaric et Clarkson 2021a). Cette dernière étude aborde le taux d'exposition du grand dauphin avec les engins nautiques en Croatie, décrit comme la proportion du temps passé en présence d'engins nautiques. Cette étude relie ce niveau d'exposition avec les budgets comportementaux, afin d'observer à quel niveau critique d'exposition le temps consacré à un comportement donné devient significativement différent de celui observé dans des conditions de dérangement moindre.

S'ajoutent également aux indices définis précédemment à l'échelle individuelle, de nouveaux indices, tels que l'activité de reproduction ou les activités de soins aux petits, (Lusseau et Bejder 2006).

b. Population Consequences Of Disturbances framework

Le PCOD, pour Population Consequences Of Disturbances, est un modèle considérant qu'une source de dérangement (présence de bateau, bruit d'origine anthropique, dans notre cas), va conduire à une modification comportementale (changement d'activité, diminution des budgets temps consacrés à une activité...) de la part de l'animal concerné, ce qui va affecter dans un second temps ses fonctions vitales (budget énergétique altéré), intimement liées aux taux de survie (taux de survie des jeunes, taux de reproduction). Ce déroulement peut conduire à terme à des effets

populationnels, visualisables grâce à des modélisations en série de fonctions de transferts, (figure 28), (Nowacek et al. 2016).

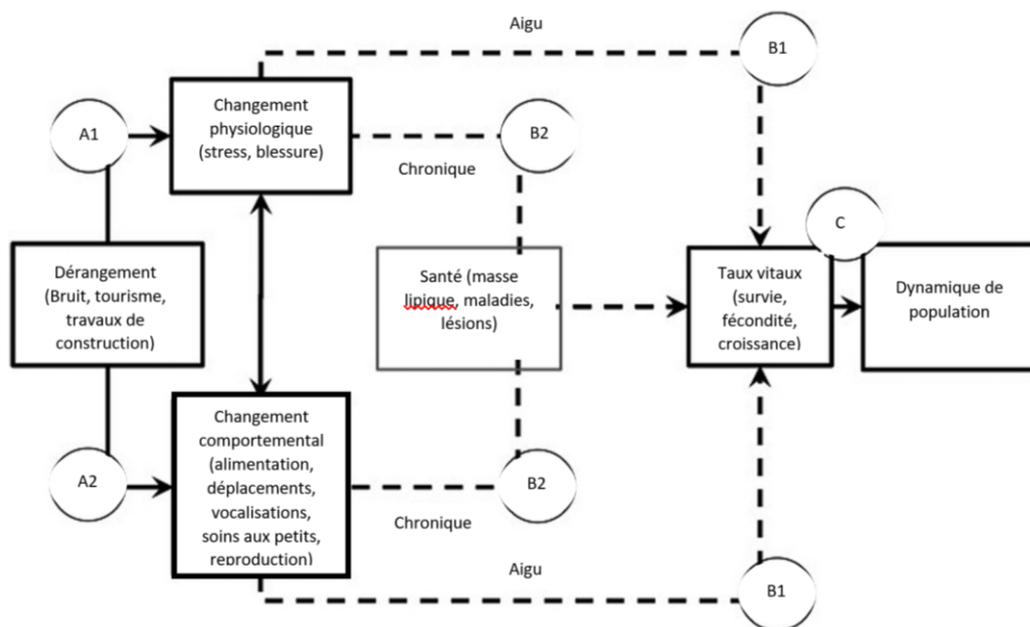


Figure 28 : Modèle conceptuel du PCOD. Ce schéma représente les effets de l'exposition à un facteur de dérangement sur les fonctions vitales d'un seul animal. Ces effets sont ensuite intégrés pour tous les individus de la population concernée, afin de modéliser les conséquences sur la dynamique de population. Source : (King et al. 2015). Les lettres dans les cercles indiquent l'utilisation de fonctions de transfert qui décrivent la relation entre les variables de chaque côté de la flèche. Les flèches en pointillés indiquent des fonctions de transferts qui ont été paramétrées grâce à un avis d'experts.

Dans l'étude de King et al. (2015), une sollicitation de 150 experts a été réalisée afin d'estimer les effets du dérangement sonore sur les taux de survie de 5 espèces de mammifères marins dans l'Atlantique nord-est. D'après cette étude, le modèle du PCOD peut être utilisé pour estimer les effets d'une source de dérangement au niveau populationnel, mais il faut disposer de données importantes sur les animaux ciblés, tels que le nombre d'animaux supposés dérangés par la perturbation, et l'extension de cette perturbation dans le temps et l'espace.

Ce modèle nécessite un apport de connaissances en paramètres démographiques et en données de santé des animaux.

Dans l'étude de Booth et al. (2020), les experts ont été sollicités pour évaluer la faisabilité de la collecte d'informations démographiques et de santé en fonction du type de cétacé (tableau 9).

Méthode	Cétacés à sondes profondes	Mysticètes	Dauphins côtiers	Dauphins pélagiques
Capture- capture relâché	0 à 1	0 à 2	3	1 à 2
Observations	1 à 2	3	3	2
Acoustique	3	3	1 à 2	1 à 2
Capture- recapture	3	3	3	1
Photogrammétrie	2 à 3	3	3	2 à 3
Echantillons de tissus	1 à 2	3	2 à 3	2 à 3
Suivi individuel	0	0	0	0

Tableau 9 : Résultat de la sollicitation d'expert sur l'évaluation de différentes méthodes de collectes de données démographiques, du moins réalisable (0) au plus pertinent (3). Source : (Booth, Sinclair, Harwood 2020). 0 : Données non collectables ni analysables en 5 ans, 1 : Données collectables et analysables en 5 années, mais aucune étude actuelle réalisée, 2 : Méthodes utilisées dans des études dont les résultats sont suffisants pour espérer des bonnes estimations de la situation dans les 5 années à venir, 3 : La méthode est connue et fiable et peut être utilisée pour estimer des variables démographiques.

D'après cette étude, la méthode de capture pour effectuer des prélèvements par captures-relâchés est très utile pour enrichir le PCOD en données démographiques et de santé. En effet, des paramètres démographiques peuvent être estimés à partir des données collectées, comme l'âge de la maturité sexuelle, l'âge moyen de la première gestation, le ratio mâles-femelles, le taux de survie et le taux de reproduction de l'espèce. Les données permettant d'estimer l'état de santé de l'individu, collectées avec cette méthode, concernent plutôt les pinnipèdes, ce qui ne nous intéresse pas ici. Cependant, la faisabilité de cette méthode est faible pour les cétacés en général (sauf s'il s'agit d'animaux capturés). Les animaux échoués ou morts peuvent nous permettre de réaliser des prélèvements, mais ils peuvent constituer des biais, non représentatifs d'une population en bonne santé. Par ailleurs, les cétacés qui nous intéressent dans cette thèse sont moins enclins à être retrouvés échoués (ou alors dans un état de décomposition variable) et l'échantillon qu'ils constituent est donc faible.

Les suivis visuels et acoustiques sont très réalisables et utiles pour étudier les cétacés, ils apportent surtout des informations sur les caractéristiques démographiques (ratios mères-petits par exemple), qui peuvent être utilisés pour estimer un taux de naissance.

Les captures dites par « Capture-recapture » : Cette méthode présente une grande faisabilité et une bonne utilité pour la collecte des paramètres démographiques. Elle est notamment très utilisée pour des espèces côtières comme celle du Grand Dauphin.

La photogrammétrie ou la vidéométrie présentent une forte faisabilité, et une bonne utilité pour tous les groupes d'animaux étudiés, autant pour la collecte des données démographiques que pour celles de santé. En effet, la taille des animaux serait un bon indicateur pour estimer le

taux de survie des petits : il a été montré une corrélation entre la taille du petit du Grand dauphin et son taux de survie au premier hiver, (Cheney et al. 2018). Pour cette méthode, on utilise une ou plusieurs cameras, pour avoir une bonne idée des dimensions de l'animal. Mais de telles photos sont parfois délicates à obtenir dans le cas de grands animaux à demi immergés. Les marques de cicatrices, la forme post-nuchal, ou encore la dépression scapulaire, peuvent donner des indices sur l'état de santé de l'animal, (Gryzbek 2013) ; (Bradford et al. 2012).

Les collectes d'échantillons biologiques présentent une bonne faisabilité et une utilité moyenne, pour tous les groupes d'animaux étudiés. Seulement, la collecte du souffle et des fèces restent des méthodes dont la faisabilité et l'utilité sont encore faibles à ce jour. Ces types d'échantillons peuvent apporter des informations sur les marqueurs de stress, les hormones impliquées dans la reproduction, la fonction immunitaire, l'état corporel général. Les biopsies de lard sous-cutané peuvent être utilisés pour obtenir des informations sur les ratios mâles femelles, les hormones reproductives et les acides gras, afin d'estimer l'âge, l'état physiologique de chaque individu. Ceci a déjà été fait pour des espèces de delphinidés, de baleines, de cachalot, (Trego, Kellar, Danil 2013) ; (Booth, Sinclair, Harwood 2020) ; (Ford et al. 2016). Les échantillons de fèces peuvent être analysés pour obtenir des informations sur les hormones de stress, les hormones reproductives, les hormones thyroïdiennes (qui indiquent un stress nutritionnel), le microbiote intestinal, l'exposition aux toxines, l'ADN des proies, les métabolites hormonaux pour différencier les stress chronique et le stress aigus... (Hunt et al. 2018)

Les résultats des simulations du PCOD dans cette étude de Booth et al. (2020) leur ont permis de dégager deux grands indicateurs démographiques pour signaler le déclin d'une population. Ces indicateurs constituent des signaux d'alarme plus précoces que le monitoring de la taille ou la densité de la population :

- **Le ratio mère-petit** (simulation faite sur le grand dauphin par exemple). Ce ratio permet d'estimer le taux de naissances.
- **La proportion d'animaux immatures** (simulation faite sur le grand dauphin également)

En effet, ils ont montré que ces indicateurs sont sensibles aux variations démographiques causées par le dérangement : le ratio mère/petit est sensible aux variations de fertilité de la mère et du taux de survie du nouveau-né, tandis que la proportion d'animaux immatures dans la population révèle les variations de fertilité de la mère, du taux de survie du nouveau-né et celui du juvénile.

Plus généralement, dans cette étude, les experts sollicités ont noté que si la majorité des méthodes existantes doivent encore faire leurs preuves, le renseignement par la collecte de données sur l'état de santé est un élément fondamental du PCOD. Les méthodes les plus pertinentes, selon les experts, pour renseigner les variables démographiques du modèle, sont résumées dans le tableau 10.

Catégorie	Méthode	Capture-relâché	Autopsie, échouage	Observations	Acoustique	Capture-recapture	Photogrammétrie	Echantillonnage de tissus
	Variable							
Variables démographiques	Vie reproductive	X	X			X		
	Taux de survie	X	X			X		X
	Abondance				X			
	Proportion d'immatures	X	X			X	X	
	Structure d'âges	X	X			X	X	X
	Structure d'états physiologiques	X		X		X	X	
	Age à la maturité sexuelle	X	X			X		X
	Probabilité de donner naissance à un veau viable	X				X		X
	Poids à la naissance (mère et petit)	X						X
	Ratios des jeunes de 1 an	X					X	
	Ratios mâles femelles	X		X		X		X
	Taux de femelles gestantes	X				X	X	X
	Taux de naissance	X		X		X	X	
	Intervalles naissance-naissance	X	X			X		
	Durée de la dépendance des jeunes	X	X			X		X
Age de sénescence	X				X			
Variables contextuelles	Stochasticité démographique			X		X		
	Variabilité environnementale	X	X	X	X	X		X
	Immigration/émigration					X		
	Structure sociale							

Tableau 10 : Méthodes retenues par les experts pour la collecte d'informations sur les variables démographiques des cétacés, afin d'alimenter le modèle du PCOD. Source : (Booth, Sinclair, Harwood 2020)

Ainsi, le modèle du PCOD permet de faire des simulations à partir de données récoltées sur le terrain, afin d'observer les conséquences d'un dérangement sur une population donnée. Il permet aussi de tester des ratios afin d'en faire des indicateurs précoces d'une réduction de la population concernée, (Booth, Sinclair, Harwood 2020).

Le PCOD relie donc des modifications comportementales et physiologiques, se produisant en réponse à un dérangement, et ayant des répercussions sur la démographie. Une série de fonctions de transfert permettent d'estimer ces impacts sur la population. L'obtention de données est cependant cruciale pour paramétrer/alimenter ces fonctions.

c. Autres modélisations

Pour utiliser le PCOD, il est donc nécessaire d'approvisionner ce programme en données physiologiques, biologiques, comportementales, et environnementales, de l'espèce étudiée.

C'est l'objectif de certains autres modèles bioénergétiques, comme celui de Hin et al. (2019). Ces derniers ont utilisé le modèle de Budget Énergétique Dynamique (Dynamic Energetic Budget, DEB, De Roos et al. 2009) afin de modéliser comment une femelle globicéphale répartie l'énergie assimilée depuis les ressources alimentaires, selon les 4 domaines de consommation de l'énergie, à savoir le métabolisme, la croissance, le développement du fœtus, et la lactation. Ils utilisent donc l'effet du score corporel sur le taux de survie des petits. Ils ont ainsi montré une corrélation entre l'impact du dérangement et la disponibilité des ressources, ainsi qu'une large réduction de la proportion de petits globicéphales qui survivent au sevrage, quand ceux-ci sont soumis à un dérangement.

D'autres modèles ont été élaborés afin de lier des paramètres individuels aux dynamiques de population ; ainsi, en 2006, Lusseau établi un modèle, basé sur des fonctions logistiques, qui fait le lien entre l'exposition aux bateaux de whale watching et l'abondance de la population, le taux de reproduction, et l'état énergétique de deux populations de dauphins (une grande et une plus petite), (Lusseau 2006). De même, New et al. (2013) ont développé un modèle mathématique pour investiguer l'effet du trafic maritime sur le grand dauphin. Ce modèle a été développé ensuite dans une autre étude, dans laquelle la santé des animaux est liée aux taux de survie des adultes et à leurs taux de reproduction, (Nowacek et al. 2016).

La figure 29 présente le modèle PCOD, les méthodes utiles pour obtenir les données nécessaires à son fonctionnement, ainsi que les études ayant employé ce modèle. Les flèches informent sur les étapes qui ont été informées par chaque étude. Un modèle PCOD complètement renseigné peut prédire les effets à l'échelle populationnelle d'un dérangement en particulier, ce qui peut ensuite servir à orienter les décisions de gestion du milieu.

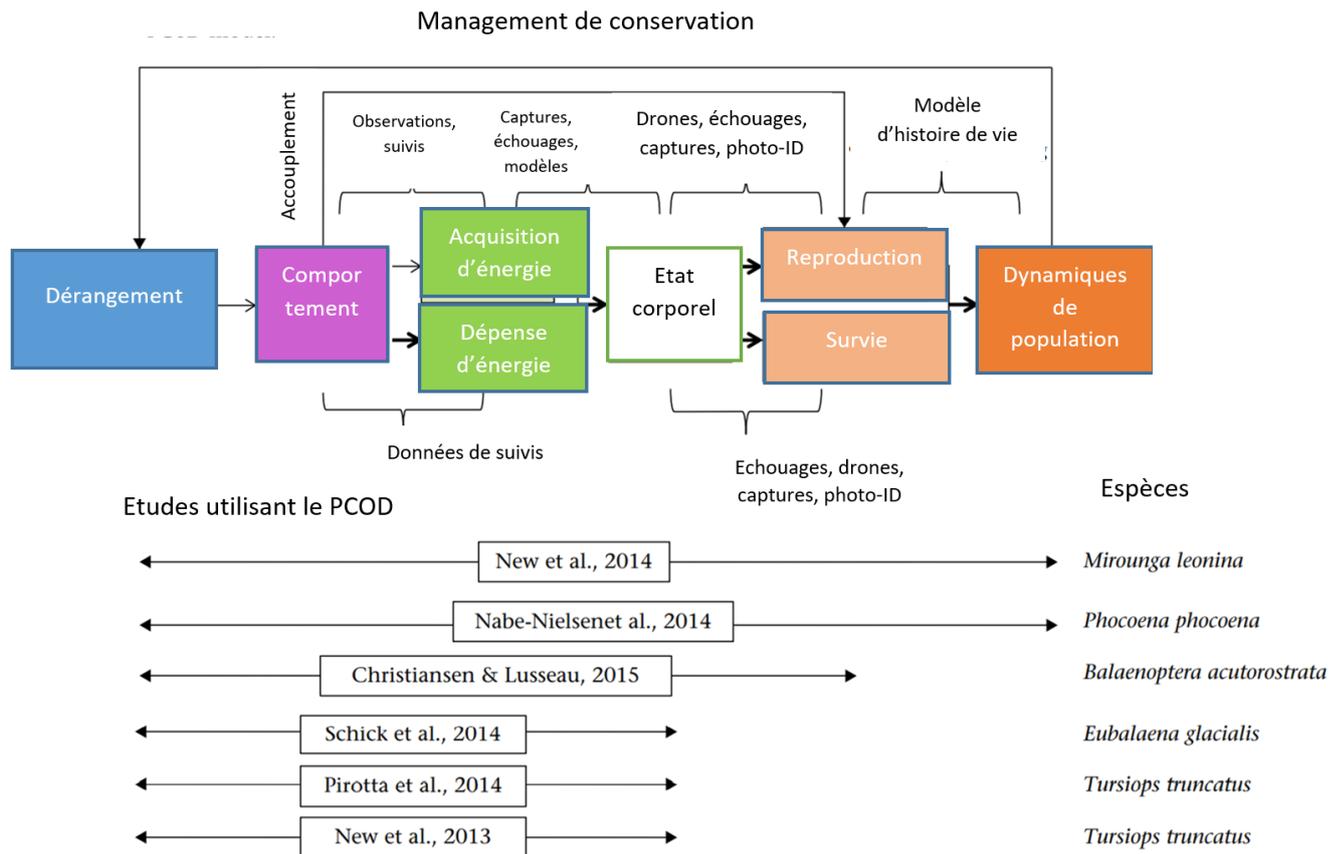


Figure 29 : Le modèle PCOD et les études utilisées pour l’approvisionner en données. Un modèle PCOD bien documenté peut prédire les effets d’un dérangement donné au niveau populationnel, et peut donc être intéressant dans la prise de décisions politiques. Source : (Nowacek et al. 2016)

Le modèle développé par Nabe-Nielsen et al. (2014) met en lien le comportement alimentaire des marsouins et leur état corporel, ainsi que leur taux de survie et de reproduction. Ces derniers paramètres permettent de simuler la dynamique de population, dans le cas d’un dérangement par la présence et le bruit des éoliennes et des navires, dans les eaux Danoises. Ainsi, la simulation simultanée du comportement alimentaire des individus d’une population entière, par ce modèle, permet de prédire les effets d’une modification de comportement induite par un dérangement anthropique, sur la dynamique de population.

Le logiciel MARK est le logiciel le plus connu et le plus utilisé pour les cétacés. C’est un logiciel gratuit, qui permet d’analyser des données collectées sur le terrain, afin d’estimer l’abondance des individus d’une population. Il inclut différents types de modèles, dans lesquels on rentre des historiques de captures, construits à partir de paramètres démographiques, eux-mêmes obtenus grâce aux données de la photo-identification. On définit notre échantillon, notre type de population étudiée (modèle dit « fermé » pour une population résidente, modèle dit « ouvert » s’il existe des déplacements de populations entre plusieurs sites...). Il existe un Master

à l'université de Saint Androze, en Ecosse, qui permet de se former à l'utilisation de ce type de logiciel sur les cétacés.

Ces modèles peuvent avoir des rôles prédictifs sur les dynamiques de population, mais ne sont pas infaillibles. En cette année 2021 notamment, le modèle utilisé pour prédire la venue des baleines sur les côtes Réunionnaises prévoyait, en corrélation avec un pic de chlorophylle élevé deux ans auparavant, une année riche en baleines. Pourtant, celles-ci n'ont presque pas été observées cette année.

3- Applications aux populations méditerranéennes dans un objectif de conservation

a- Synthèse des études recensées dans la méta-analyse bibliographique : centrage sur les 6 espèces choisies

La grande majorité des 40 études recensées sur le dérangement des cétacés concernent les grands dauphins, *Tursops truncatus*. La littérature ne manque pas pour les études de dérangement de cette espèce à travers le monde, comme on peut le voir dans le tableau 11. Cette espèce a même fait l'objet de simulations d'une exposition à un dérangement par le bruit dans la version 3 du PCOD, (Booth 2020).

Dans la méta-analyse réalisée pour cette thèse, quelques études sur le dérangement du cachalot par la présence de bateaux ont également été recensées. Celles-ci étaient basées sur les paramètres comportementaux.

La principale source de dérangement étudiée est la présence de bateaux et le trafic maritime en général. Quelques études concernent le dérangement par les ondes sonores spécifiquement, et une étude sur le dérangement par les drones a également été recensée.

La grande majorité de ces études reposent sur l'étude des patterns comportementaux des animaux. Quelques-unes utilisent strictement des modélisations, et quelques autres tiennent également compte des schémas de vocalisation des animaux.

De nombreuses autres études sur le dérangement ont été recensées dans la méta-analyse bibliographique effectuée pour cette thèse, mais celles-ci concernent des espèces de cétacés qui ne nous intéressent pas en mer Méditerranée (baleines à bosse, marsouins communs, orques, baleines franches de l'atlantique nord, etc...).

Espèce	Etude	Dérangement	Méthode
Grand Dauphin	(Peters et al. 2012)	Présence de bateaux, nage avec les dauphins	Patterns comportementaux
	(Clarkson et al. 2020)	Présence de bateaux	Etude des schémas comportementaux
	(Kassamali-Fox et al. 2020)	Présence de bateaux	Etudes des schémas comportementaux
	(Tenan et al. 2020)	Présence de bateaux	Corrélation de la présence des cétacés identifiés et des trajets des bateaux
	(Lusseau, Bejder 2006)	Présence de bateaux	Etude d'abondance et des schémas comportementaux
	(Lusseau 2006)	Présence de bateaux	Modélisation : Individual based model (IBM)
	(Middel, Verones 2017)	Ondes sonores dû à la construction d'un parc éolien	Modélisation
	(Marley et al. 2017)	Ondes sonores et présence de bateaux	Etudes des schémas comportementaux et des vocalisations associées
	(May-Collado, Quiñones-Lebrón 2014)	Présence de bateaux	Etudes des schémas comportementaux et des vocalisations associées
	(Lusseau 2003)	Présence de bateaux	Etude des schémas comportementaux et leurs interactions avec les bateaux
	(Lusseau 2005)	Trafic maritime	Etude du schéma de résidence en fonction du trajet du trafic
(Constantine, Brunton, Dennis 2004)	Présence de bateaux	Etude des schémas comportementaux	

	(Ramos et al. 2018)	Présence de drones	Etude des réponses comportementales des animaux
	(Ribaric, Clarkson 2021b)	Présence d'engins nautiques	Etude des schémas comportementaux, extrapolation des résultats avec constitution d'un taux d'exposition
Cachalot	(Cosentino 2016)	Présence de bateaux	Etude des schémas comportementaux (trajectoires, sondes, respirations)
	(Magalhães et al. 2002b)	Présence de bateaux et de nageurs	Etude des schémas comportementaux
Rorqual commun	(Aniceto et al. 2016)	Présence de ferrys	Etude des déplacements et de la structure de groupe
Dauphin de Risso	(Lomac-MacNair, Smultea 2017)	Présence d'un avion de recherche	Etude comportementale (cohésion et réorientation)
Globicéphale noir	(Visser et al. 2016)	Exposition à un sonar naval, au bruit d'une orque et à une pose de tags	Etude du comportement, de l'acoustique et de la structure du groupe

Tableau 11 : Tableau répertoriant les quelques études de dérangement sur les espèces présentes en mer Méditerranée, et les méthodes utilisées. Ce tableau est issu de la méta-analyse effectuée dans le cadre de cette thèse.

De rares études recensées sur les 20 dernières années permettent d'étudier le comportement des dauphins de Risso, des globicéphales noirs ou du Rorqual commun face à un dérangement. Ces champs d'étude sont donc très lacunaires à ce jour, en particulier en mer Méditerranée. Paradoxalement, aucune étude sur le dérangement anthropique du dauphin le plus abondant en mer Méditerranée, le dauphin bleu et blanc, n'a été trouvée. Les études recensées sur l'exposition à un dérangement anthropique concernent plutôt leurs cousins appartenant au même Genre, les dauphins à longs becs (*Stenella longirostris*). En effet, une population résidente et donc

plus facile à étudier est présente sur la côte Ouest de l'île de la Réunion, (Martín-Montalvo et al. 2021).

De même, les études sur le dérangement des espèces qui nous intéressent ne sont pas à ce jour renseignées de paramètres biologiques.

La problématique de passage à l'échelle populationnelle est abordé dans la plupart des études recensées dans la méta-analyse bibliographique, qui concluent sur des hypothèses sur les effets cumulés de l'exposition à un dérangement sur les couts énergétiques (Kassamali-Fox et al. 2020) ; (Schuler et al. 2019), le comportement des mères, la survie des jeunes (Lusseau 2006), le taux de reproduction des animaux (Lusseau et Bejder 2006). Les 3 études analysées dans cette publication de Lusseau et Bejder permettent d'avoir une idée des impacts de l'activité de whale-watching et du trafic à long terme, grâce à un monitoring de population sur le long terme, la disponibilité de l'information sur les variations de fréquentations par les bateaux de différents sites, et sur les interactions avec les individus et les populations. La figure 30 ci-dessous, inspirée de la figure 29 élaborée par Nowacek et al. en 2016, permet de récapituler les étapes de la méthode du PCOD et de situer les connaissances sur les différentes espèces qui nous intéressent ici.

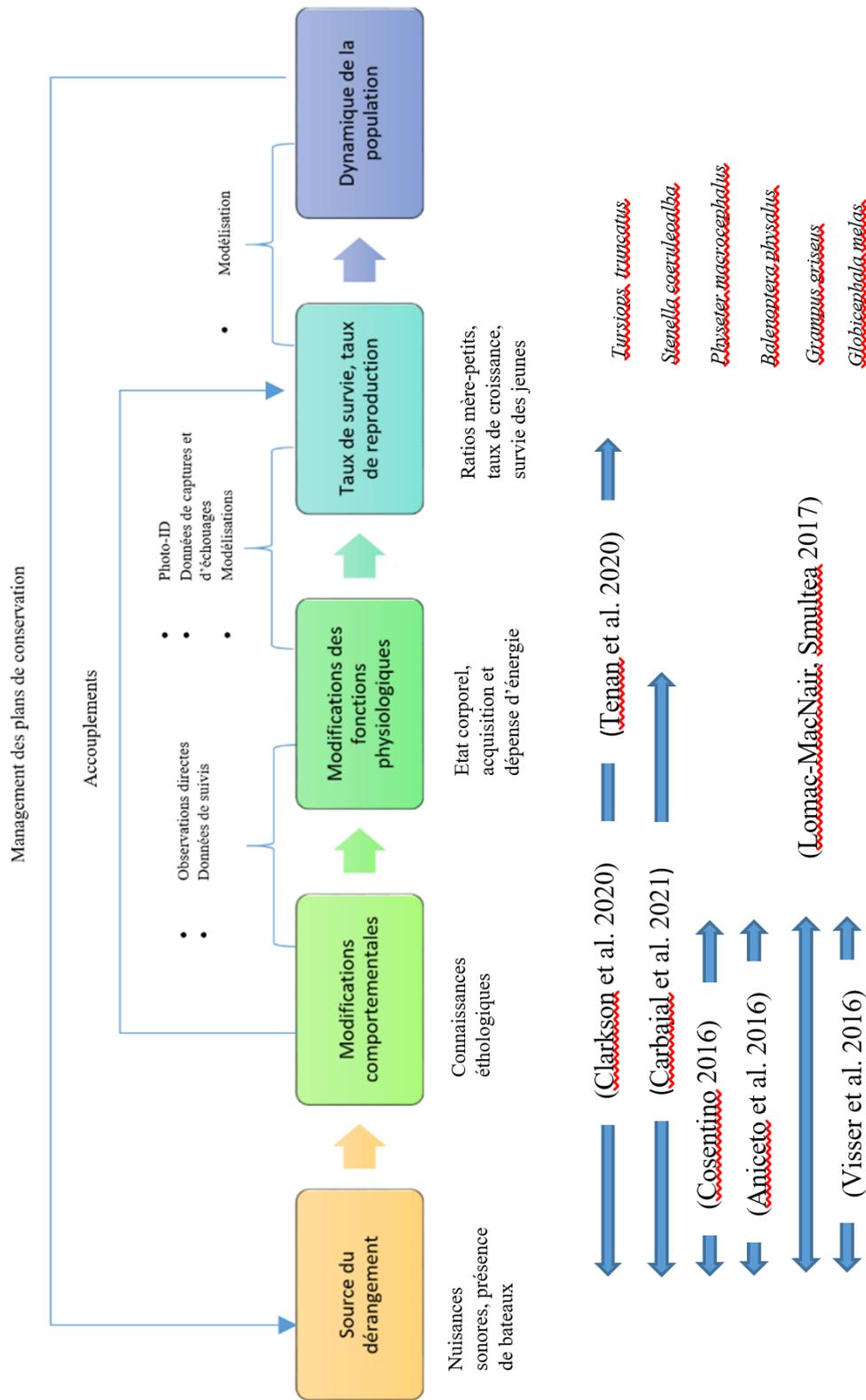


Figure 30 : Etat des lieux des connaissances permettant d'appliquer la méthode de PCOD sur les espèces en mer Méditerranée. Source personnelle inspirée de la méthode du PCOD.

Les premières cases présentent les domaines de recherche à enrichir à l'échelle d'un individu. L'ensemble de chaque individu va ensuite impacter la dynamique des populations. D'après cette

figure 30, aucune espèce de mer Méditerranée n'est à ce jour assez renseignée pour permettre l'application de la méthode du PCOD. L'espèce la mieux renseignée et la plus susceptible d'être évaluée en utilisant la méthode du PCOD reste le grand dauphin.

b- Méthodes et suggestions recensées dans la méta-analyse bibliographique

Difficultés spécifiques de la méditerranée

Comme soulevé dans cette étude de Magalhães et al. (2002b), les observations « témoins » à bord d'un bateau de recherche peuvent faire l'objet d'un biais, en provoquant le dérangement des animaux étudiés. De plus, l'approche du bateau est entendue de loin par les animaux : on manque probablement les premières réactions induites par le dérangement, notamment la fuite des animaux les plus sensibles (Scheidat et al. 2004). En mer Méditerranée, des observations sont réalisées depuis la terre dans le cadre de projets de construction, comme celui de la plateforme Atlas, la nouvelle structure d'accueil de Méga-yachts, au port de la Ciotat, mais celles-ci permettent avant tout de vérifier l'absence de cétacés dans la zone de perturbation, et ne constitue pas un point d'observation pour la recherche. Des points d'observation depuis la terre existent pour la recherche, tels que les historiques « vigies » à Madère, anciennement utilisées pour les activités de pêche au cachalot. Ces points d'observation nécessitent une topographie adaptée, comme celle des îles volcaniques par exemple. Il n'existe pas de tel point d'observation depuis la terre sur le littoral méditerranéen français. Cependant le respect des guides de bonne conduite permettrait d'éviter le biais de dérangement par les bateaux de recherche (Martín-Montalvo et al. 2021, Lusseau 2003). L'association MIRACETI dispose d'un drone pour collecter des données depuis les airs, ce qui à ce jour constitue le moyen le moins dérangent pour les animaux. Cette méthode nécessite néanmoins un pilote aguerri et une certaine autonomie de l'appareil, (Ramos et al. 2018).

Une autre difficulté pour la mise en place de méthodes d'évaluation du dérangement en mer méditerranée est que, contrairement à certaines régions du monde, le littoral méditerranéen français ne dispose pas de population de cétacé résidente dans une zone très localisée, comme c'est le cas par exemple avec la population résidente de dauphin à long bec sur la côte ouest de l'île de la Réunion, (Martín-Montalvo et al. 2021).

Utiliser des modélisations

Les modélisations sont très peu utilisées en mer Méditerranée, ils constituent pourtant une piste intéressante de méthode d'évaluation de l'impact du dérangement à long terme sur un individu (Individual Based Model (IBM), Lusseau 2006) ou à l'échelle des populations.

Dans cette dernière étude, Lusseau recommande l'incorporation de variables comme les longueurs des interactions bateau-animal, les effets du comportement des bateaux durant l'interaction, l'influence de la structure sociale, l'immunité, la gestion des stocks énergétiques et de l'homéostasie des cétacés.

L'étude des schémas de résidence en fonction du trafic maritime est utilisée par Lusseau en 2005 sur les Tursiops de Nouvelle-Zélande, (Lusseau 2005). L'utilisation de régressions linéaire dans cette étude permet de constater que les dauphins préféreraient délaisser leur habitat qu'être confrontés au trafic maritime.

Quantifier l'exposition

L'utilisation d'un seuil critique d'exposition par Ribaric, Clarkson (2021b) récemment est également une piste d'élargissement de l'évaluation du dérangement à l'échelle des populations, et rejoint le principe des indicateurs de pression et des indicateurs de risque en cours d'élaboration par l'association MIRACETI.

Utiliser les sollicitations d'experts

Dans une étude de Booth, Thomas (2021), la sollicitation d'experts est utilisée afin d'établir une courbe dose-réponse pour la perturbation « variation de salinité de l'eau » chez le Grand Dauphin. Il s'agit d'un exemple d'utilisation de la sollicitation d'expert pour passer de l'échelle individuelle à celle des populations.

Associer les sons aux comportements

Certaines études se sont également intéressées à l'association des sons produits par les animaux à leur comportement, en fonction de la présence ou non de bateaux, (May-Collado et Quiñones-Lebrón 2014). Ce type de méthode pourrait permettre de caractériser et de reconnaître les signaux d'alerte ou de défense, émis par les animaux lors d'un dérangement, et donc de mieux interpréter leurs réactions. Par exemple, les sons émis par les grands dauphins en présence de bateaux de whale watching pendant les activités de socialisation ou de voyage ne diffèrent pas des sons émis en la seule présence du bateau de recherche. Cependant, ces sons diffèrent lorsque les animaux étaient en activité d'alimentation. Il s'agirait alors d'apprendre à reconnaître les activités

de ces animaux, et respecter celles qui sont les plus à même d'engendrer un dérangement en cas d'interruption.

c- Etat des lieux des connaissances sur le dérangement des cétacés en mer Méditerranée

Les observations de cachalots en méditerranée restent rares (Chazot, Charrier, Leseignoux 2020a) : dans le rapport final du programme de recherche Pelagos sur les impacts du label HQWW, seulement 2 cachalots ont été observés. Il est donc difficile d'en étudier le dérangement. Le dauphin bleu et blanc étant très abondant, il reste plus facile de l'étudier. Le grand dauphin est quant à lui l'objet d'étude du programme TURSMEDE en cours, qui permettra de renseigner des données de distribution, de comportement, d'acoustique, et également de physiologie grâce à des écouvillons de peau, et ainsi de renseigner les domaines utiles à l'étude du dérangement de l'espèce. Le rorqual commun est assez étudié en mer Méditerranée notamment en termes de suivi génétique (Legavre et al. 2012) mais le dérangement est une fois de plus un domaine lacunaire. Le dauphin de Risso et le globicéphale noir sont des espèces dont le dérangement n'est pas spécifiquement étudié en mer méditerranée.

Le dérangement est généralement étudié à partir de la source de dérangement considéré (en particulier le trafic maritime, le whale-watching, (Mayol, Beaubrun 2005, Arcangeli et al. 2012), mais peu voire aucune étude spécifique permettant de considérer les différentes sensibilités d'espèce n'a à ce jour été conduite en mer méditerranée française.

Ainsi, dans la figure 30, la source du dérangement peut être bien renseignée à partir de la situation locale, et les connaissances en matière de dérangement à l'échelle individuelle peuvent être plutôt récupérées dans la bibliographie étrangère, pour chaque espèce. Un passage à l'échelle des populations, notamment pour le Grand dauphin, nécessite de poursuivre les études de terrain actuelles pour étoffer nos connaissances démographiques, et envisager des méthodes telles que les modélisations, ou la sollicitation d'experts.

Les études actuelles menées par MIRACETI comprenant la collecte d'échantillons biologiques (biopsies, fèces...) servent plutôt à renseigner la physiologie générale de l'individu, et sont analysés dans des laboratoires de Brest, ou encore à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes. Mais aucune étude ne porte sur le dosage du cortisol pour le moment.

4- Discussion

Une telle définition du dérangement et la multitude de facteurs en cause rend ce dérangement omniprésent, en effet, il est très difficile d'avoir une population contrôle, dont les membres seraient encore naïf d'un dérangement donné. Aussi, lors d'une étude de dérangement, se posent les questions suivantes : si l'animal ne répond pas au dérangement dans notre étude, est-ce parce qu'il y est déjà habitué ? Et si c'est le cas, y a-t-il réagi un jour, est-ce que les animaux ont développé des stratégies pour s'y adapter ? Si de telles stratégies ont été mises en place, impliquent-elles des coûts énergétiques ou reproductifs supérieurs au comportement normal ? (Erbe et al. 2019).

Une autre difficulté des études d'impact de dérangement de la faune sauvage est la taille de l'échantillon, celui-ci est souvent limité, pour des raisons logistiques et économiques. Ensuite vient le problème de la différenciation du dérangement. Les études dont le groupe « contrôle » est étudié via des observations menées depuis un bateau à moteur par exemple, engendrent un biais dans le comportement observé, pris référence. De plus, un animal qui réagit à la présence d'un bateau a généralement entendu celui-ci arriver. Les modifications de comportement initiales induites par le dérangement sonores ne sont donc pas observées. Ce problème peut être résolu par des observations depuis la terre ou les airs. En mer méditerranée française, seule la voie alternative par les airs peut être envisagée, en utilisant un drone.

Les parts respectives du dérangement de celles des autres menaces, naturelles ou anthropiques restent difficiles à différencier de manière quantitative. Dans le cadre de son plan de gestion du rorqual commun de l'Atlantique, le Canada a réalisé un tableau récapitulatif des menaces qui pèsent sur ces cétacés, et différents paramètres comme leur fréquence, la certitude causale des effets, leur gravité, le niveau de préoccupation, (tableau 12). Ce type de tableau permet de prendre du recul sur le dérangement en re-contextualisant celui-ci à l'échelle des autres menaces qui pèsent sur les cétacés.

Il serait intéressant de réaliser un tableau similaire, qui associerait les menaces pesant sur chaque espèce en mer méditerranée française, et leur importance relative.

Menace		Etendue	Occurrence	Fréquence	Certitude causale	Gravité	Potentiel d'atténuation	Niveau de préoccupation
Bruit d'origine anthropique	Navigation	Généralisée	Courante	Continue	Faible	Modérée	Elevée	Elevée
	Exploration sismique et sonar militaire	Localisée	Courante	Récurrente	Faible	Modérée	Elevée	Elevée
	Développement côtier et extracôtier	Localisée	Courante	Récurrente	Faible	Modérée	Elevée	Moyen
Changement de la quantité, disponibilité et qualité des proies		Généralisée	Anticipée	Continue	Faible	Inconnue	Moyen	Moyen
Collisions avec les navires		Généralisée	Courante	Continue	Moyenne	Modérée	Elevée	Moyen
Empêchement dans les engins de pêche		Localisée	Courante	Continue	Faible	Faible à modérée	Elevée	Faible
Activités d'observations en mer		Localisée	Courante	Saisonnnière	Faible	Faible	Elevée	Faible
Efflorescence d'algues		Localisée	Anticipée	Récurrente	Faible	Faible	Faible	Faible

Tableau 12 : Tableau d'évaluation des menaces réalisé dans le cadre d'un plan de gestion du rorqual commun du Canada. (Extrait du plan de gestion : voir (Canada 2017))

Partie 4 : Utilisation du WATWC : évaluation du dérangement du grand dauphin de méditerranée et extension des résultats à l'échelle de la population

1- Objectifs de l'étude

Cette enquête a pour objectif principal d'évaluer la pertinence de l'utilisation de l'outil WATWC dans l'évaluation dématérialisée du dérangement des cétacés de méditerranée, ainsi que de son extension à l'échelle populationnelle.

Les objectifs secondaires de l'étude sont :

- Prédire l'intensité des impacts, comme modification comportementale et perturbation démographique, d'un dérangement. Ici, il s'agira du trafic et de l'activité de whale watching, appliqué sur un individu appartenant à l'espèce du grand dauphin (*Tursiops truncatus*), et sur la population en mer méditerranée, selon deux approches (une approche labélisée HQWW et une approche non respectueuse des guidelines impliquées), comme dans l'étude MARKER à venir.
- Elaborer un socle de prévision sur un court terme (anticipation des résultats de terrain de l'étude MARKER) et sur le long terme (extrapolation des résultats à l'échelle populationnelle, via le « Domaine 6 » de la grille Excel).
- A terme, avoir un élément de comparaison avec l'étude de terrain MARKER, afin d'objectiver la pertinence de l'outil WATWC.

2- Hypothèses

Si cette méthodologie s'avérait pertinente, on pourrait envisager de comparer, à posteriori, les impacts estimés dans les réponses à la grille Excel, aux résultats futurs du terrain.

On s'attend ici à une différence significative des impacts sur les FDM entre l'approche labélisée et non labélisée, en faveur de l'approche labellisée.

3- Matériel et méthode

Le travail proposé, expliqué dans un « Guide des experts », (Annexe 2), consistait à prendre connaissance de la documentation supplémentaire fournie (Annexe 3) dans un premier temps, composée d'une dizaine de pages d'informations sous format PDF, plus ou moins utiles selon le degré d'expertise des volontaires en matière de cétacés méditerranéens. Un soin particulier est apporté à cette documentation afin de cibler les documents apportant des informations pertinentes sur la biologie, le comportement de ce dauphin, notamment en présence de navires, et sur le contexte général, tout en évitant des revues subjectives, suggérant un anthropomorphisme prononcé sur la souffrance et le bien-être.

Dans un second temps, il s'agissait de prendre connaissance des deux scénarios fictifs proposés, (Annexe 4). Ceux-ci mettent en scène des groupes de cétacés de l'espèce du grand dauphin (*Tursiops truncatus*), en mer méditerranée, soumis au dérangement par les activités de whale watching, à deux niveaux de pression différents. Cette mise en scène se veut être la plus réaliste possible et s'inspire donc de récits d'observations de terrain, recueillis auprès de professionnels de l'association MIRACETI. Ensuite, les experts remplissent le premier feuillet du dossier Excel « WATWC Feuille de scoring », (Annexe 5). Cette grille, constituée de 20 questions, est largement inspirée de l'étude de Christine Nicol et al. (2020) sur le WATWC, et a par ailleurs été récupérée auprès des auteurs de l'article. Elle a ensuite été traduite en français, et nous y avons ajouté un domaine de réflexion supplémentaire (Domaine 6), considérant l'impact estimé à l'échelle populationnelle. Ce nouveau domaine de réflexion considère l'impact à moyen-long terme du dérangement donné dans les scénarios sur le taux de survie de l'espèce, la survie des nouveau-nés ou des juvéniles, l'apparition d'un effet maximal du dérangement sur le jeune, la fertilité et la fécondité des femelles, les effectifs de la population et son occupation de l'espace.

Chaque domaine à considérer est explicité dans le deuxième feuillet du dossier Excel. Le domaine 1 concerne l'impact sur l'alimentation, le domaine 2 sur l'environnement, le domaine 3 concerne la santé, le 4 concerne le comportement et le domaine 5 tient compte de l'expérience affective de l'animal. Enfin, il était demandé aux experts de répondre au questionnaire (Annexe 6) sur l'utilisation de cet outil comme méthode d'évaluation du dérangement des cétacés de méditerranée française, à l'échelle individuelle et populationnelle, (Formulaire : Evaluation de l'outil WATWC comme indicateur du dérangement engendré par le whale-watching sur des cétacés de méditerranée).

Les réponses à la grille ont été traitées sous formes de graphiques, afin de visualiser les estimations moyennes du dérangement et ses impacts, et la distribution de ces estimations. L'homogénéité ou l'hétérogénéité des réponses peuvent être interprétées comme signant de la pertinence et de la facilité ou non d'usage de la méthode WATWC appliquée à notre contexte d'étude.

A travers les réponses au questionnaire, parallèlement à celles de la grille, nous évaluons la pertinence des scénarios choisis et de l'utilisation de la méthode WATWC dans notre cadre d'étude.

Choix de l'espèce

Tursops truncatus (Le grand dauphin) : Le choix de cette espèce a été motivé par son mode de vie côtier (littoral du Golfe du Lion et de la Provence, jusqu'à l'isobathe des 200 m), qui l'expose particulièrement aux activités de whale watching, facteur de dérangement évalué ici, et par son écologie, plutôt bien étudiée et connue en Méditerranée.

Choix des experts

Il s'agit de professionnel(le)s recommandé(e)s par mes deux maîtres de thèse, Hélène Labach et Annabelle Meynadier. Les participants ont des connaissances dans les domaines de l'écologie, l'éthologie, la médecine vétérinaire, la faune sauvage, l'épidémiologie, ou les cétacés en général.

Choix des scénarios

Les scénarios (annexe 4) ont été revus par des membres de l'association MIRACETI, afin de se rapprocher des situations que l'on aurait dû suivre sur le terrain l'année précédente dans le cadre de l'étude MARKER, (Etude de terrain reportée à cause de la crise sanitaire).

4- Résultats

Près de 30 experts ont été sollicités, 20 ont donné leur accord pour participer à l'étude, mais seulement 4 d'entre eux ont effectivement répondu à l'ensemble des documents proposés.

a. Scoring des Domaines 1 à 6 et leurs confiances

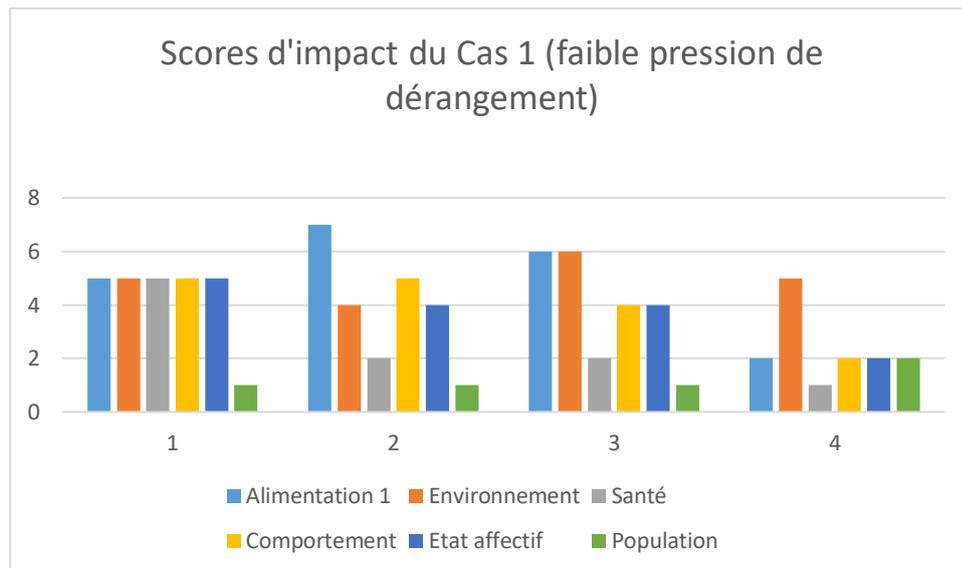


Figure 31a : Scores d'impact du dérangement du scénario 1, sur les différents domaines considérés, issus des réponses des experts à la grille d'évaluation en Annexe 5.

Niveau de confiance en leurs propres scoring :

Expert 1 : Low

Expert 2 : Médium

Expert 3 : Médium

Expert 4 : High

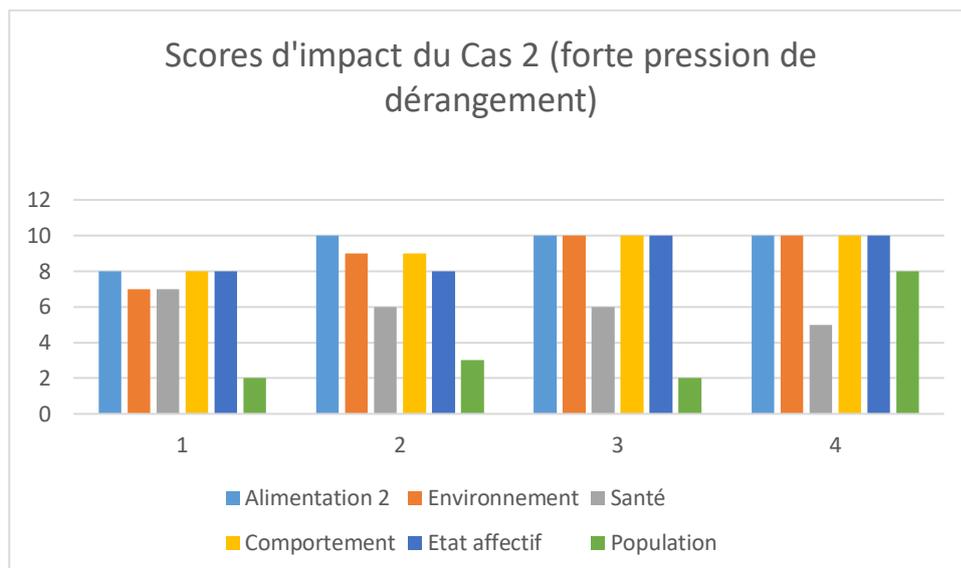


Figure 31b : Scores d'impact du dérangement du scénario 2, sur les différents domaines considérés, issus des réponses des experts à la grille d'évaluation en Annexe 5.

Niveau de confiance en leurs propres scoring :

Expert 1 : Low

Expert 2 : Médium sauf pour population : Low

Expert 3 : Médium

Expert 4 : High

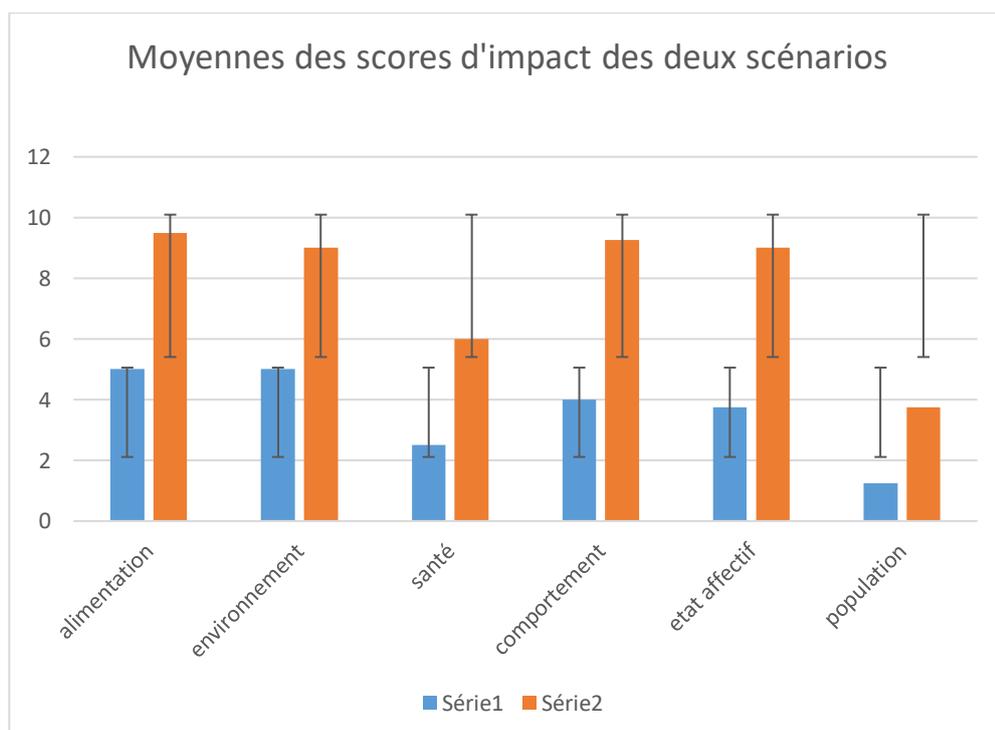


Figure 32 : Moyennes des scores d'impact du dérangement des deux scénarios proposés, pour chaque domaine considéré.

L'impact du dérangement sur le domaine de l'alimentation est estimé en moyenne avec un scoring de 4,5 points de plus lors d'une approche non respectueuse que lors d'une approche plus douce.

L'impact du dérangement sur le domaine de l'environnement est estimé en moyenne avec un scoring de 4 points de plus lors d'une approche non respectueuse que lors d'une approche plus douce.

L'impact du dérangement sur le domaine de la santé est estimé en moyenne avec un scoring de 3,25 points de plus lors d'une approche non respectueuse que lors d'une approche plus douce.

L'impact du dérangement sur le comportement est estimé en moyenne avec un scoring de 5,25 points de plus lors d'une approche non respectueuse que lors d'une approche plus douce.

L'impact du dérangement sur le domaine de l'état affectif est estimé en moyenne avec un scoring de 5,25 points de plus lors d'une approche non respectueuse que lors d'une approche plus douce.

Enfin, l'impact populationnel du dérangement est estimé en moyenne avec un scoring de 2,5 points de plus lors d'une approche non respectueuse que lors d'une approche plus douce.

b. Persistance, incidence et fréquence du dérangement

Persistance de l'impact

Après que l'évènement dérangeant ait cessé, 3 experts sur 4 estiment que ses impacts perdurent sur plusieurs jours pour le scénario 1, et sur plusieurs semaines pour le scénario 2.

1 expert sur 4 estime que les impacts se font ressentir durant encore plusieurs heures dans le cas 1, et durant plusieurs jours pour le cas 2.

Incidence du dérangement

2 experts sur 4 considèrent qu'un tel dérangement aura lieu plus d'une fois par jour dans les conditions du cas 1, et plus d'une fois par semaine dans les conditions du cas 2, au cours de la vie d'un animal.

Dans les conditions du cas 1, 1 expert sur 4 considère qu'un tel dérangement aura lieu plus d'une fois par semaine, et 1 expert sur 4 considère qu'un tel dérangement aura lieu plus d'une fois par mois.

Dans les conditions du scénario 2, 1 expert sur 4 considère qu'un tel dérangement aura lieu plus d'une fois par mois, et 1 expert sur 4 plus d'une fois par an.

Nuisances légères (Scores 2-4 du domaine 5)

Cas 1 : En moyenne, les experts considèrent qu'un individu sera soumis à de telles nuisances durant 14% de son temps de vie.

Cas 2 : En moyenne, les experts considèrent qu'un individu sera soumis à de telles nuisances durant 11% de son temps de vie.

Nuisances modérées (Scores 5-7 du domaine 5)

Cas 1 : En moyenne, les experts considèrent qu'un individu sera soumis à de telles nuisances durant 8% de son temps de vie.

Cas 2 : En moyenne, les experts considèrent qu'un individu sera soumis à de telles nuisances durant 12% de son temps de vie.

Nuisances sévères (Scores 8-10 du domaine 5)

Cas 1 : En moyenne, les experts considèrent qu'un individu sera soumis à de telles nuisances durant 3% de son temps de vie.

Cas 2: En moyenne, les experts considèrent qu'un individu sera soumis à de telles nuisances durant 8% de son temps de vie.

Pas de nuisances

Cas 1 : En moyenne, les experts considèrent qu'un individu ne sera pas soumis à de telles nuisances durant 75% de son temps de vie.

Cas 2 : En moyenne, les experts considèrent qu'un individu ne sera pas soumis à de telles nuisances durant 69% de son temps de vie.

c. Scoring des taux populationnels

Pour les scorings des taux populationnels, 1 expert sur 4 accordait une confiance trop faible en ses propres scoring et a donc choisi de ne pas répondre.

Diminution du taux de survie des jeunes (3 premières années)

Cas 1 : Les experts ayant répondu considèrent qu'en moyenne, il suffirait de 133 ± 112 jours par an d'exposition à ce niveau de dérangement pour que le taux de survie des jeunes soit impacté.

Cas 2 : Les experts ayant répondu considèrent qu'en moyenne, il suffirait de 21 ± 10 jours par an d'exposition à ce niveau de dérangement pour que le taux de survie des jeunes soit impacté.

Diminution des taux de reproduction

Cas 1 : Les experts ayant répondu considèrent qu'en moyenne, il suffirait de 82 ± 64 jours par an d'exposition à ce niveau de dérangement pour que les taux de fertilité et de fécondité des femelles soient impactés.

Cas 2 : Les experts ayant répondu considèrent qu'en moyenne, il suffirait de 18 ± 7 jours par an d'exposition à ce niveau de dérangement pour que les taux de fertilité et de fécondité des femelles en soient impactés.

Estimation de la proportion des individus confrontés à ces niveaux de dérangement

Cas 1 : Les experts considèrent que 35% des individus résidents des côtes méditerranéennes françaises sont susceptibles d'être soumis à de tels niveaux de dérangement.

Cas 2 : Les experts considèrent que 20% des individus résidents des côtes méditerranéennes françaises sont susceptibles d'être soumis à de tels niveaux de dérangement.

d. Formulaire d'évaluation de l'outil WATWC comme indicateur du dérangement engendré par le whale-watching sur des cétacés de méditerranée

Le formulaire (Annexe 6) a pour objectif d'évaluer les différents éléments constituant l'outil WATWC. Pour cela, les experts ont répondu à des questions grâce à une échelle d'appréciation de 1 (« pas du tout ») à 5 (« Tout à fait »).

Pour les experts ayant participé, **les scénarios** ont globalement paru réalistes et adaptés à une évaluation du dérangement à l'échelle individuelle, moins à l'échelle populationnelle. La

réalisation de nombreux scénarios de ce type, considérant chacun de nombreux individus différents (mâles, femelles, jeunes, matures...) permettraient une évaluation du whale-watching comme facteur de dérangement à l'échelle populationnelle (réponses gradées à 3/5 et 4/5), avec comme impératif de connaître le pourcentage de la population réellement exposée à la pression du whale-watching.

La grille n'était pas considérée simple à remplir par tous les experts (la plupart des réponses à 4/5 mais une à 1/5). Mais les questions mises en évidence par la grille ont été jugées pertinentes pour l'évaluation du whale-watching comme dérangement à l'échelle individuelle, (réponses à 4/5). A l'échelle populationnelle, les avis sont disparates avec la moitié à 2/5 et l'autre à 4/5.

La majorité des questions ont été considérées un peu trop subjectives par un expert. Celui-ci a également soulevé la possibilité de demander une évaluation par « sous-domaine », par exemple, dans le domaine 1 (l'alimentation), une séparation de la recherche de nourriture et de la digestion serait intéressant pour préciser les impacts de dérangement.

Un expert a également fait remarquer l'absence de l'issue « ne se prononce pas » pour l'évaluation de la variabilité annuelle des taux de survie des individus non soumis à un tel dérangement.

La documentation supplémentaire a globalement été jugée utile, pertinente et suffisante pour remplir la grille d'évaluation. L'évaluation de la population globale du grand dauphin aurait pu être mieux renseignée aujourd'hui, avec entre temps, la sortie du rapport finale du SAMM Med 2 (Distribution et abondance de la mégafaune marine lors des campagnes SAMM cycle I et II en Méditerranée), (Laran et al. 2021).

Le dire d'expert paraît globalement approprié pour évaluer le dérangement à l'échelle individuelle, mais moyennement approprié pour l'échelle populationnelle.

Enfin, la moitié des experts ne se sont pas sentis légitimes dans le domaine du dérangement des grands dauphins de Méditerranée par le whale-watching.

5- Discussion

Les scoring des experts présentent des différences significatives entre les niveaux d'impact du dérangement des deux scénarios, et les estimations individuelles sont plutôt homogènes dans l'ensemble. Globalement, l'ensemble des experts a estimé qu'une approche non respectueuse des bateaux de whale-watching avait davantage d'impact sur les différents domaines de bien-être animal considérés (l'alimentation, l'environnement, la santé, le comportement, l'état affectif), par rapport à une approche plus douce de ceux-ci. Ils ont également estimé qu'il y avait une différence significative de l'impact de ce dérangement au niveau populationnel entre les deux approches.

Certains résultats sont néanmoins très disparates, notamment au niveau de l'estimation des périodes d'expositions au cours de la vie de l'animal (les réponses allant parfois de 10% à 50%...), ou encore des taux de survie et de reproduction (écarts-types très importants). Il est donc difficile de conclure à ce sujet.

Les retours sur l'utilisation de la méthode du WATWC dans notre cadre de l'étude du dérangement sur une population méditerranéenne ont été plutôt positifs. Cependant, le nombre de réponses à la grille et au questionnaire ont été très insuffisants. En effet, sur les 30 sollicitations envoyées initialement après accord de participation, seulement 4 grilles et questionnaires sont revenus dûment complétés. Une dizaine d'experts n'a finalement pas eu le temps de remplir la grille, 3 se sont estimés non qualifiés pour répondre (niveau de confiance trop bas en leur propre scoring), et 2 experts ont estimé qu'il était impossible de répondre à ces questions.

6- Conclusion

D'après cette sollicitation d'experts, il paraît évident que le respect du code de bonne conduite par les opérateurs de whale-watching peut diminuer l'impact du dérangement, tous domaines confondus, sur le grand dauphin de méditerranée.

L'utilisation de la méthode du WATWC est intéressante pour évaluer l'impact du dérangement à l'échelle individuelle. Si elle donne une idée de l'impact à l'échelle des populations, nous ne pouvons conclure de sa pertinence avec certitude à notre stade. En effet, notre étude a clairement été limitée par le faible nombre de retour des experts. Il s'agirait de solliciter davantage d'experts afin d'exploiter davantage de données de scoring.

Conclusion

La mer Méditerranée est un espace riche de biodiversité, soumis à une pression anthropique croissante. Les cétacés qu'elle abrite suscitent la fascination et un engouement certain pour une activité en plein essor : le whale watching. Malgré un cadre législatif vaste et des acteurs investis, l'application des réglementations concernant la régulation de telles activités, et la protection de ces mammifères marins, reste difficile à contrôler. La protection de ces animaux est basée sur l'étude de leur mode de vie, mais de nombreux domaines de connaissances sur les cétacés de Méditerranée restent lacunaires à ce jour.

Le dérangement est défini comme une interaction humain-animal non létale, directe ou indirecte entraînant une modification du comportement de la faune. Il s'agit dans notre cadre d'étude du dérangement sonore (activités militaires, trafic maritime, travaux côtiers...) et du dérangement présentiel (trafic maritime, whale-watching). De nombreuses études témoignent de l'impact comportemental à court terme de ce dérangement sur un individu, tandis que de plus rares études enregistrent des variations physiologiques liées au stress engendré, sur du moyen-long terme. Il faut garder à l'esprit que l'assimilation du dérangement à un stress est modulée par les processus d'habituation, de sensibilisation, et les seuils de tolérance des animaux. A ce jour, les difficultés liées à la taille du terrain d'étude que constitue la Méditerranée -et la mer en général-, ainsi que le suivi de tels animaux sauvages, donnent lieu à une connaissance quasi-nulle de ces phénomènes chez les cétacés.

Les méthodes d'évaluation du dérangement des cétacés passent par la collecte de données et l'évaluation des paramètres comportementaux et physiologiques. Le passage à l'échelle des populations est à ce jour principalement basé sur des hypothèses. Des indicateurs, comme des taux d'exposition, sont à ce jour en phase de test. Quelques tentatives de modélisations existent mais nécessitent davantage de données pour que leurs estimations soient précises.

La sollicitation d'expert, à travers l'outil WATWC, pourrait être intéressante pour estimer ces impacts à l'échelle individuelle ou des populations et ainsi orienter les réglementations de conservation des espèces. Cependant, l'échantillon de notre étude est à ce jour trop faible pour conclure sur la réelle pertinence de cette méthode.

Il est nécessaire d'identifier les zones régulièrement occupées et leur importance pour les populations (aires de reproduction et de mises-bas, zones d'alimentations, couloirs de migrations...). Les plans de gestion doivent considérer au mieux les aires de superpositions d'une

fréquentation maritime humaine intense avec les zones vitales pour les cétacés. En l'état actuel de non évaluation des impacts d'origine anthropiques sur les populations de cétacés de la mer méditerranée, le principe de précaution prévaut.

Notons que le vote actuel de la loi contre la maltraitance animale, qui prévoit la fermeture des delphinariums d'ici 5 ans, soulève de nouveaux débats. En effet, on peut considérer que la connaissance de la faune sauvage et sa présentation au grand public vont en faveur de sa conservation. L'objectif de sensibilisation du grand public est d'ailleurs revendiqué par l'activité de whale watching. Si cette loi est une avancée dans le domaine du bien-être animal, on peut imaginer qu'une mer semi-fermée comme la mer méditerranée pourrait présenter un regain d'attrait pour les mordus de cétacés sauvages, et cette loi pourrait aller dans le sens de l'augmentation de l'intensité de l'activité de whale watching. Il nous incombe de veiller à ce que la mer Méditerranée ne deviennent pas un delphinarium à ciel ouvert, et à ce que les espèces qui la peuplent bénéficient de sanctuaires favorables à leur développement naturel.

Références

ACCOBAMS, 2019. *REVUE DES TAUX DE CAPTURES ACCIDENTELLES DE CETACES EN MEDITERRANEE ET EN MER NOIRE* [en ligne]. 2019. [Consulté le 14 octobre 2021]. Disponible à l'adresse : https://accobams.org/wp-content/uploads/2019/04/MOP7.Doc29_Revue-taux-captures-accidentelles.pdf

ACCOBAMS, Sanctuaire Pelagos, 2010. Code de Bonne Conduite pour l'observation des cétacés en Méditerranée. [en ligne]. 2010. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.sanctuaire-pelagos.org/en/tous-les-telechargements/documentation-partenaires/1230-code-de-bonne-conduite-pelagos-accobams/file>

AKKAYA BAS, Aylin, CHRISTIANSEN, Fredrik, AMAHA ÖZTÜRK, Ayaka, ÖZTÜRK, Bayram et MCINTOSH, Caley, 2017. The effects of marine traffic on the behaviour of Black Sea harbour porpoises (*Phocoena phocoena relicta*) within the Istanbul Strait, Turkey. LI, Songhai (éd.), *PLOS ONE* [en ligne]. 15 mars 2017. Vol. 12, n° 3, pp. e0172970. [Consulté le 29 juin 2021]. DOI 10.1371/journal.pone.0172970. Disponible à l'adresse : <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0172970>

ANICETO, Ana, CARROLL, JoLynn, TETLEY, MichaelJ. et OOSTERHOUT, Cockvan, 2016. Position, swimming direction and group size of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the presence of a fast-ferry in the Bay of Biscay | Elsevier Enhanced Reader. [en ligne]. 2016. [Consulté le 19 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0078323416000099?token=A626FEFEF99D3C7837063C837DE46D2A5706F34D314A9723E0F22F2D53CB874EF9DFB2A5378ECD7712F665A5294FC5E9&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210919115958>

ANSES, 2018. *ANSES (2018) Bien-être animal : contexte, définition, évaluation ; Rapport 2016-SA_0288 ; Maisons-Alfort*. 2018.

ARCANGELI, Antonella, COMINELLI, Simone, DAVID, Lea, ROSSO, Massimiliano, TEPSICH, Paola, MARINI, Luca, DIMEGLIO, Nathalie, MOULIN, Aurelie et MAYOL, Pascal, 2012. *MONITORING FERRY: SUIVI SAISONNIER DES POPULATIONS DE CETACES ET VALIDATION DE L'INTERET DE REPCET EN TERMES DE MONITORING*.

ASSOCIATION CEDTM, 2021. La réglementation. *Observer les mammifères marins et les tortues marines à La Réunion* [en ligne]. 2021. [Consulté le 19 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://cedtm-asso.org/quietude/la-reglementation/>

ATKINSON, S, CROCKER, Daniel E., HOUSER, D et MASHBURN, K, 2015. Atkinson S, Crocker D, Houser D, Mashburn K. Stress physiology in marine mammals: how well do they fit the terrestrial model? *J Comp Physiol B*. 2015 Jul;185(5):463-86. doi: 10.1007/s00360-015-0901-0. Epub 2015 Apr 26. PMID: 25913694. . 2015.

ATKINSON, S et DIERAUF, L.A, 2018. ATKINSON S., DIERAUF L.A. (2018) Stress and marine mammals. In CRC handbook of marine mammal medicine, 3rd ed. Boca Raton, Etats-Unis d'Amérique, RoyaumeUni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, pp 153-168. In : .

BARCELO, Alain, JARIN, Marie, JAUBERT, Raynald, MARTIN, Gilles, ODY, Denis, PEIRACHE, Marion et RANDON, Nadine, 2014. La nage avec les cétacés : une activité perturbante pour les mammifères marins et dangereuse pour les pratiquants au sein du Sanctuaire Pelagos (Méditerranée nord-occidentale). . 2014. pp. 16.

BEJDER, L, SAMUELS, A, WHITEHEAD, H, FINN, H et ALLEN, S, 2009a. Impact assessment research: use and misuse of habituation, sensitisation and tolerance in describing wildlife responses to anthropogenic stimuli. *Marine Ecology Progress Series* [en ligne]. 3 décembre 2009. Vol. 395, pp. 177-185. [Consulté le 4 mai 2020]. DOI 10.3354/meps07979. Disponible à l'adresse : <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v395/p177-185/>

BEJDER, L, SAMUELS, A, WHITEHEAD, H, FINN, H et ALLEN, S, 2009b. Impact assessment research: use and misuse of habituation, sensitisation and tolerance in describing wildlife responses to anthropogenic stimuli. *Marine Ecology Progress Series* [en ligne]. 3 décembre 2009. Vol. 395, pp. 177-185. [Consulté le 6 janvier 2021]. DOI 10.3354/meps07979. Disponible à l'adresse : <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v395/p177-185/>

BEJDER, L, SAMUELS, A, WHITEHEAD, H, FINN, H et ALLEN, S, 2009c. Impact assessment research: use and misuse of habituation, sensitisation and tolerance in describing wildlife responses to anthropogenic stimuli. *Marine Ecology Progress Series* [en ligne]. 3 décembre 2009. Vol. 395, pp. 177-185. [Consulté le 4 mai 2020]. DOI 10.3354/meps07979. Disponible à l'adresse : <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v395/p177-185/>

BERNALDO DE QUIRÓS, Y., FERNANDEZ, A., BAIRD, R. W., BROWNELL, R. L., AGUILAR DE SOTO, N., ALLEN, D., ARBELO, M., ARREGUI, M., COSTIDIS, A., FAHLMAN, A., FRANTZIS, A., GULLAND, F. M. D., INÍGUEZ, M., JOHNSON, M., KOMNENOU, A., KOOPMAN, H., PABST, D. A., ROE, W. D., SIERRA, E., TEJEDOR, M. et SCHORR, G.,

2019. Advances in research on the impacts of anti-submarine sonar on beaked whales. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [en ligne]. 30 janvier 2019. Vol. 286, n° 1895, pp. 20182533. [Consulté le 19 novembre 2021]. DOI 10.1098/rspb.2018.2533. Disponible à l'adresse : <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2018.2533>

BO MERCERA, Karl Roger, 2019. *LE DOSAGE DU CORTISOL FÉCAL : FAISABILITÉ, INTÉRÊTS ET LIMITES DANS L'ÉTUDE DU BIENÊTRE DU GRAND DAUPHIN (Tursiops truncatus)*. 2019.

BONNET, Jeanne-Marie, 2011. Physiologie de la peur. In : *La peur*. Solal. pp. 55-61. Zoopsychiatrie.

BOOTH, Cormac, 2020. Interim Population Consequences of Disturbance. *SMRU Consulting* [en ligne]. 2020. [Consulté le 16 août 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.smruc consulting.com/products-tools/pcod/ipcod/>

BOOTH, Cormac G., SINCLAIR, Rachael R. et HARWOOD, John, 2020. Methods for Monitoring for the Population Consequences of Disturbance in Marine Mammals: A Review. *Frontiers in Marine Science* [en ligne]. 28 février 2020. Vol. 7, pp. 115. [Consulté le 1 juillet 2021]. DOI 10.3389/fmars.2020.00115. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2020.00115/full>

BOOTH, Cormac et THOMAS, Len, 2021. An Expert Elicitation of the Effects of Low Salinity Water Exposure on Bottlenose Dolphins. *Oceans* [en ligne]. 14 février 2021. Vol. 2, n° 1, pp. 179-192. [Consulté le 8 juillet 2021]. DOI 10.3390/oceans2010011. Disponible à l'adresse : <https://www.mdpi.com/2673-1924/2/1/11>

BOURRET, Vincent, 2016. *Intérêts scientifiques de la réadaptation aux conditions de vie naturelles de dauphins recueillis en parc zoologique ou à la côte*. 22 avril 2016.

BRADFORD, Amanda L., WELLER, David W., PUNT, André E., IVASHCHENKO, Yulia V., BURDIN, Alexander M., VANBLARICOM, Glenn R. et BROWNELL, Robert L., 2012. Leaner leviathans: body condition variation in a critically endangered whale population. *Journal of Mammalogy* [en ligne]. 16 février 2012. Vol. 93, n° 1, pp. 251-266. [Consulté le 16 août 2021]. DOI 10.1644/11-MAMM-A-091.1. Disponible à l'adresse : <https://academic.oup.com/jmammal/article-lookup/doi/10.1644/11-MAMM-A-091.1>

CANADA, Environnement et Changement climatique, 2017. Rorqual commun (Balaenoptera physalus), Atlantic population : plan de gestion. [en ligne]. 25 janvier 2017. [Consulté le 19 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-public-especes-peril/plans-gestion/rorqual-commun-atlantic-population.html>

CHAMPAGNE, Cory D., KELLAR, Nicholas M., CROCKER, Daniel E., WASSER, Samuel K., BOOTH, Rebecca K., TREGO, Marisa L. et HOUSER, Dorian S., 2017. Blubber cortisol qualitatively reflects circulating cortisol concentrations in bottlenose dolphins. *Marine Mammal Science* [en ligne]. janvier 2017. Vol. 33, n° 1, pp. 134-153. [Consulté le 6 juillet 2021]. DOI 10.1111/mms.12352. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1111/mms.12352>

CHAZOT, Joséphine, CHARRIER, Edith et LESEIGNOUX, Loïc, 2020a. Contrat n° :18-028-83400 PC : « High-QualityWhale-Watching® » en Méditerranée française Etude de l'impact de l'activité de whale_watching, de l'effet de la marque « High QualityWhale-watching® » et de la perception de cette marque.

CHAZOT, Joséphine, CHARRIER, Edith et LESEIGNOUX, Loïc, 2020b. Etude de l'impact de l'activité de whale_watching, de l'effet de la marque « High QualityWhale-watching® » et de la perception de cette marque. 18 mai 2020.

CHENEY, B., WELLS, R. S., BARTON, T. R. et THOMPSON, P. M., 2018. Laser photogrammetry reveals variation in growth and early survival in free-ranging bottlenose dolphins. *Animal Conservation* [en ligne]. juin 2018. Vol. 21, n° 3, pp. 252-261. [Consulté le 16 août 2021]. DOI 10.1111/acv.12384. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/acv.12384>

CHRISTIANSEN, Fredrik et LUSSEAU, David, 2013. Understanding the ecological effects of whale-watching on cetaceans. In : *Whale-Watching: Sustainable Tourism and Ecological Management*. pp. 177-192.

CHRISTINE NICOL, LARS BEJDER, LAURA GREEN, CRAIG JOHNSON, LINDA KEELING, et DAWN NOREN, 2020. Frontiers | Anthropogenic Threats to Wild Cetacean Welfare and a Tool to Inform Policy in This Area | Veterinary Science. [en ligne]. 2020. [Consulté le 6 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2020.00057/full>

CLARK, L. S., COWAN, D. F. et PFEIFFER, D. C., 2006. Morphological Changes in the Atlantic Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*) Adrenal Gland Associated with Chronic Stress. *Journal of Comparative Pathology* [en ligne]. 1 novembre 2006. Vol. 135, n° 4, pp. 208-216. [Consulté le 9 mai 2021]. DOI 10.1016/j.jcpa.2006.07.005. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021997506000703>

CLARKSON, J, CHRISTIANSEN, F, AWBERY, T, ABBISS, L, NIKPALJEVIC, N et AKKAYA, A, 2020. Non-targeted tourism affects the behavioural budgets of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the South Adriatic (Montenegro). *Marine Ecology Progress Series* [en ligne]. 19 mars 2020. Vol. 638, pp. 165-176. [Consulté le 30 juin 2021]. DOI 10.3354/meps13257. Disponible à l'adresse : <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v638/p165-176/>

CLAUDET, Joachim, LOISEAU, Charles, SOSTRES, Marta et ZUPAN, Mirta, 2020. Underprotected Marine Protected Areas in a Global Biodiversity Hotspot. *One Earth* [en ligne]. avril 2020. Vol. 2, n° 4, pp. 380-384. [Consulté le 31 août 2021]. DOI 10.1016/j.oneear.2020.03.008. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2590332220301500>

COLIN, M Christophe, ELLIOT, Mme Mary, EYNAUD, Mme Frédérique, LEZINE, Mme Anne-Marie et BASSINOT, M Franck, 2016. Thèse présentée et soutenue à Gif-sur-Yvette, le 30 Septembre 2016 : . 2016. pp. 235.

COLLIER, Melissa Ann, ALI, Sania, MANN, Janet et BANSAL, Shweta, 2020. *Impacts of human disturbance in marine mammals: Do behavioral changes translate to disease consequences? Full methods and Analysis* [en ligne]. preprint. EcoEvoRxiv. [Consulté le 23 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://osf.io/9pr8g>

COMMITTEE ON LOW-FREQUENCY SOUND AND MARINE MAMMALS, NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1994. *Low-Frequency Sound and Marine Mammals: Current Knowledge and Research Needs*. [en ligne]. National Academies Press. [Consulté le 2 juillet 2021]. ISBN 9781280195662. Disponible à l'adresse : <http://www.myilibrary.com?id=19566>

CONSEIL MARITIME DE FAÇADE (CMF), DIRM, 2016. Fascicule opérationnel : L'État sur le littoral et en mer Méditerranée. [en ligne]. septembre 2016. [Consulté le 3 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.dirm.mediterranee.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Fascicule_operationnel_CMF-2.pdf

CONSTANTINE, Rochelle, BRUNTON, Dianne H et DENNIS, Todd, 2004. Dolphin-watching tour boats change bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) behaviour. *Biological Conservation* [en ligne]. mai 2004. Vol. 117, n° 3, pp. 299-307. [Consulté le 1 juillet 2021]. DOI 10.1016/j.biocon.2003.12.009. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006320703004907>

CONVENTION DES NATIONS UNIES SUR LE DROIT DE LA MER, 1994. *United Nations Convention on the Law of the Sea (with annexes, final act and procès-verbaux of rectification of the final act dated 3 March 1986 and 26 July 1993). Concluded at Montego Bay on 10 December 1982*. 16 novembre 1994. Vol. 1834, 1-31363.

COOK, Nigel J., 2012. Review: Minimally invasive sampling media and the measurement of corticosteroids as biomarkers of stress in animals. *Canadian Journal of Animal Science* [en ligne]. septembre 2012. Vol. 92, n° 3, pp. 227-259. [Consulté le 6 juillet 2021]. DOI 10.4141/cjas2012-045. Disponible à l'adresse : <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.4141/cjas2012-045>

CORKERON, Peter J et VAN PARIJS, Sofie M, 2001. Vocalizations of eastern Australian Risso's dolphins, *Grampus griseus*. *Canadian Journal of Zoology* [en ligne]. 1 janvier 2001. Vol. 79, n° 1, pp. 160-164. [Consulté le 14 août 2021]. DOI 10.1139/z00-180. Disponible à l'adresse : <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/z00-180>

COSENTINO, A. Mel, 2016. Effects of Whale-Watching Vessels on Adult Male Sperm Whales Off Andenes, Norway. *Tourism in Marine Environments* [en ligne]. 14 juillet 2016. Vol. 11, n° 4, pp. 215-227. [Consulté le 30 juin 2021]. DOI 10.3727/154427316X14580612748560. Disponible à l'adresse : <http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=1544-273X&volume=11&issue=4&spage=215>

COSQUER, LE CORRE, MICHEL-GUILLOU, DAVIAU, DÉROGIS, GICQUEL et TACHOIRES, 2015. SENSIBILISATION DES PRATIQUANTS DE SPORTS ET LOISIRS DE NATURE AU DERANGEMENT DE LA FAUNE SAUVAGE Les apports de la psychologie environnementale. [en ligne]. 2015. [Consulté le 19 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www-ium.univ-brest.fr/pops/attachments/844>

DAVID, Léa, 2002. *Rorqual commun et transport maritime : Quel enjeu ? Quelles solutions ?*

DE ROOS, A.M, GALIC, N et HEESTERBEEK, H, 2009. How resource competition shapes individual life history for nonplastic growth: Ungulates in seasonal food environments. [en ligne]. 2009. DOI <https://doi.org/10.1890/07-1153.1>. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1890/07-1153.1>

DE MELLO, Daniela Magalhães Drummond et DE OLIVEIRA, Cláudio Alvarenga, 2016. Biological matrices for sampling free-ranging cetaceans and the implications of their use for reproductive endocrine monitoring: Cetacean endocrine measurements. *Mammal Review* [en ligne]. avril 2016. Vol. 46, n° 2, pp. 77-91. [Consulté le 6 juillet 2021]. DOI 10.1111/mam.12055. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1111/mam.12055>

DERUITER, Stacy L., BOYD, Ian L., CLARIDGE, Diane E., CLARK, Christopher W., GAGNON, Chuck, SOUTHALL, Brandon L. et TYACK, Peter L., 2013. Delphinid whistle production and call matching during playback of simulated military

sonar. *Marine Mammal Science* [en ligne]. avril 2013. Vol. 29, n° 2, pp. E46-E59. [Consulté le 2 juillet 2021]. DOI 10.1111/j.1748-7692.2012.00587.x. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1748-7692.2012.00587.x>

DHERMAIN F., GECEM, 2005. *Suivi hivernal du Grand Dauphin en Corse.pdf*. novembre 2005.

DI CLEMENTE, Jacopo, CHRISTIANSEN, Fredrik, PIROTTA, Enrico, STECKLER, Dave, WAHLBERG, Magnus et PEARSON, Heidi Christine, 2018. Effects of whale watching on the activity budgets of humpback whales, *Megaptera novaeangliae* (Borowski, 1781), on a feeding ground. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* [en ligne]. août 2018. Vol. 28, n° 4, pp. 810-820. [Consulté le 1 juillet 2021]. DOI 10.1002/aqc.2909. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1002/aqc.2909>

DIEDERICH, Claire, 2011. La peur, une émotion adaptative. In : *La peur*. Solal. pp. 63-67. Zoopsychiatrie.

DIERAUF, Leslie A. et GULLAND, Frances M. D. (éd.), 2001. *CRC handbook of marine mammal medicine*. 2nd ed. Boca Raton, FL : CRC Press. ISBN 978-0-8493-0839-0. SF997.5.M35 C73 2001

DUNKIN, Robin C., MCLELLAN, William A., BLUM, James E. et PABST, D. Ann, 2010. The buoyancy of the integument of Atlantic bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*): Effects of growth, reproduction, and nutritional state. *Marine Mammal Science* [en ligne]. janvier 2010. [Consulté le 6 juillet 2021]. DOI 10.1111/j.1748-7692.2009.00353.x. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1748-7692.2009.00353.x>

DUPARC, Antoine, AMBLARD, Thibaut, GAREL, Mathieu, MARCHAND, Pascal, PERRIN-MALTERRE, Clémence, DUBRAY, Dominique, MAILLARD, Daniel et LOISON, Anne, 2017. Réponse comportementale face au dérangement dans un espace fortement fréquenté par les randonneurs Le cas d'une population de chamois dans le massif des Bauges. . 2017. pp. 6.

DURBAN, John W., MOORE, Michael J., CHIANG, Gustavo, HICKMOTT, Leigh S., BOCCONCELLI, Alessandro, HOWES, Gloria, BAHAMONDE, Paulina A., PERRYMAN, Wayne L. et LEROI, Donald J., 2016. Photogrammetry of blue whales with an unmanned hexacopter. *Marine Mammal Science* [en ligne]. octobre 2016. Vol. 32, n° 4, pp. 1510-1515. [Consulté le 6 juillet 2021]. DOI 10.1111/mms.12328. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/mms.12328>

DUROYON, Céline, 2009. *PROBLEMATIQUE DE LA CONSTITUTION D'UN REPERTOIRE COMPORTEMENTAL CHEZ UNE ESPECE DE MAMMIFERES MARINS, LE DAUPHIN SOUFFLEUR (Tursiops truncatus)*.

ERBE, Christine, MARLEY, Sarah A., SCHOEMAN, Renée P., SMITH, Joshua N., TRIGG, Leah E. et EMBLING, Clare Beth, 2019. The Effects of Ship Noise on Marine Mammals—A Review. *Frontiers in Marine Science* [en ligne]. 11 octobre 2019. Vol. 6, pp. 606. [Consulté le 25 février 2021]. DOI 10.3389/fmars.2019.00606. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2019.00606/full>

FERNÁNDEZ AJÓ, Alejandro A., HUNT, Kathleen E., GIESE, A. Carolina, SIRONI, Mariano, UHART, Marcela, ROWNTREE, Victoria J., MARÓN, Carina F., DILLON, Danielle, DIMARTINO, Matias et BUCK, C. Loren, 2020. Retrospective analysis of the lifetime endocrine response of southern right whale calves to gull wounding and harassment: A baleen hormone approach. *General and Comparative Endocrinology* [en ligne]. 15 septembre 2020. Vol. 296, pp. 113536. [Consulté le 9 mai 2021]. DOI 10.1016/j.ygcn.2020.113536. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016648020302896>

FICHE D'IDENTIFICATION DU GRAND DAUPHIN OU TURSIOPS, SITE INTERNET DU GROUPE DE RECHERCHE SUR LES CÉTACÉS, 2009. Grand dauphin ou Tursiops // Bottlenose dolphin. *GREC* [en ligne]. 24 juillet 2009. [Consulté le 4 août 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.cetaces.org/fiches/grand-dauphin/>

FORD, Michael J., HEMPELMANN, Jennifer, HANSON, M. Bradley, AYRES, Katherine L., BAIRD, Robin W., EMMONS, Candice K., LUNDIN, Jessica I., SCHORR, Gregory S., WASSER, Samuel K. et PARK, Linda K., 2016. Estimation of a Killer Whale (*Orcinus orca*) Population's Diet Using Sequencing Analysis of DNA from Feces. CROCKER, Daniel E (éd.), *PLOS ONE* [en ligne]. 6 janvier 2016. Vol. 11, n° 1, pp. e0144956. [Consulté le 16 août 2021]. DOI 10.1371/journal.pone.0144956. Disponible à l'adresse : <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0144956>

FRANKEL, Adam S. et CLARK, Christopher W., 1994. A review of the effects of sound on cetaceans. *The Journal of the Acoustical Society of America* [en ligne]. novembre 1994. Vol. 96, n° 5, pp. 3250-3250. [Consulté le 2 juillet 2021]. DOI 10.1121/1.411054. Disponible à l'adresse : <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.411054>

FRANKEL, As et GABRIELE, Cm, 2017. Predicting the acoustic exposure of humpback whales from cruise and tour vessel noise in Glacier Bay, Alaska, under different management strategies. *Endangered Species Research* [en ligne]. 30 novembre 2017. Vol. 34, pp. 397-415. [Consulté le 30 juin 2021]. DOI 10.3354/esr00857. Disponible à l'adresse : <http://www.int-res.com/abstracts/esr/v34/p397-415/>

FRID, Alejandro et DILL, Larry, 2001. Human-Caused Disturbance Stimuli as a Form of Predation Risk. *Conservation Ecology*. 30 novembre 2001. Vol. 6. DOI 10.5751/ES-00404-060111.

GANNIER, Alexandre, 2008. *Monographie du Dauphin bleu et blanc (Stenella coeruleoalba)*. 2008.

GANNIER, Dr Alexandre, 2013. L'impact des nuisances acoustiques sur les cétacés du Sanctuaire et de la Méditerranée nord-occidentale. . 2013. pp. 182.

GNONE, Guido, BELLINGERI, Michela, DHERMAIN, Frank, DUPRAZ, Franck, NUTI, Silvio, BEDOCCHI, Davide, MOULINS, Aurelie, ROSSO, Massimiliano, ALESSI, Jessica, MCCREA, Rachel S., AZZELLINO, Arianna, AIROLDI, Sabina, PORTUNATO, Nicola, LARAN, Sophie, DAVID, Lea, DI MEGLIO, Nathalie, BONELLI, Patrizia, MONTESI, Gionata, TRUCCHI, Roberta, FOSSA, Fulvio et WURTZ, Maurizio, 2011. Distribution, abundance, and movements of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Pelagos Sanctuary MPA (north-west Mediterranean Sea): THE BOTTLENOSE DOLPHIN IN THE PELAGOS SANCTUARY MPA. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* [en ligne]. juin 2011. Vol. 21, n° 4, pp. 372-388. [Consulté le 26 décembre 2020]. DOI 10.1002/aqc.1191. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1002/aqc.1191>

GRAHAM, Katherine M, BURGESS, Elizabeth A et ROLLAND, Rosalind M, 2021. Stress and reproductive events detected in North Atlantic right whale blubber using a simplified hormone extraction protocol. COOKE, Steven (éd.), *Conservation Physiology* [en ligne]. 1 janvier 2021. Vol. 9, n° 1, pp. coaa133. [Consulté le 6 juillet 2021]. DOI 10.1093/conphys/coaa133. Disponible à l'adresse : <https://academic.oup.com/conphys/article/doi/10.1093/conphys/coaa133/6082836>

GRECH, A. et MARSH, H., 2008. Rapid Assessment of Risks to a Mobile Marine Mammal in an Ecosystem-Scale Marine Protected Area. *Conservation Biology* [en ligne]. juin 2008. Vol. 22, n° 3, pp. 711-720. [Consulté le 29 juin 2021]. DOI 10.1111/j.1523-1739.2008.00923.x. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1523-1739.2008.00923.x>

GRYZBEK, Mary Kathleen, 2013. A VISUAL BODY CONDITION INDEX FOR BOTTLENOSE DOLPHINS (*TURSIOPS TRUNCATUS*). . 2013. pp. 87.

HARTMAN, Karin L., WITTICH, Anja, CAI, Juan Juan, VAN DER MEULEN, Frank H. et AZEVEDO, José M. N., 2016. Estimating the age of Risso's dolphins (*Grampus griseus*) based on skin appearance. *Journal of Mammalogy* [en ligne]. 23 mars 2016. Vol. 97, n° 2, pp. 490-502. [Consulté le 10 novembre 2021]. DOI 10.1093/jmammal/gyv193. Disponible à l'adresse : <https://academic.oup.com/jmammal/article/97/2/490/2459638>

HERMAN, James P, MCKLVEEN, Jessica M, GHOSAL, Sriparna, KOPP, Brittany, WULSIN, Aynara, MAKINSON, Ryan, SCHEIMANN, Jessie et MYERS, Brent, 2016. James P. Herman, Jessica M. McKlveen, Sriparna Ghosal, Brittany Kopp, Aynara Wulsin, Ryan Makinson, Jessie Scheimann, and Brent Myers Department of Psychiatry and Behavioral Neuroscience, University of Cincinnati, Cincinnati, OH 45237-0506. In : .

HIN, Vincent, HARWOOD, John et ROOS, André M., 2019. Bio-energetic modeling of medium-sized cetaceans shows high sensitivity to disturbance in seasons of low resource supply. *Ecological Applications* [en ligne]. juillet 2019. Vol. 29, n° 5. [Consulté le 6 juillet 2021]. DOI 10.1002/eap.1903. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eap.1903>

HOYT, Erich, 2007. *Schéma de développement des sites d'observation de baleines et de dauphins*. 2007.

HUNT, K. E., MOORE, M. J., ROLLAND, R. M., KELLAR, N. M., HALL, A. J., KERSHAW, J., RAVERTY, S. A., DAVIS, C. E., YEATES, L. C., FAUQUIER, D. A., ROWLES, T. K. et KRAUS, S. D., 2013. Overcoming the challenges of studying conservation physiology in large whales: a review of available methods. *Conservation Physiology* [en ligne]. 15 mai 2013. Vol. 1, n° 1, pp. cot006-cot006. [Consulté le 16 août 2021]. DOI 10.1093/conphys/cot006. Disponible à l'adresse : <https://academic.oup.com/conphys/article-lookup/doi/10.1093/conphys/cot006>

HUNT, Kathleen E, LYSIAK, Nadine S J, MATTHEWS, Cory J D, LOWE, Carley, FERNÁNDEZ AJÓ, Alejandro, DILLON, Danielle, WILLING, Cornelia, HEIDE-JØRGENSEN, Mads Peter, FERGUSON, Steven H, MOORE, Michael J et BUCK, C Loren, 2018. Multi-year patterns in testosterone, cortisol and corticosterone in baleen from adult males of three whale species. *Conservation Physiology* [en ligne]. 1 janvier 2018. Vol. 6, n° 1. [Consulté le 16 août 2021]. DOI 10.1093/conphys/coy049. Disponible à l'adresse : <https://academic.oup.com/conphys/article/doi/10.1093/conphys/coy049/5105709>

HUNT, Kathleen E., LYSIAK, Nadine S., MOORE, Michael et ROLLAND, Rosalind M., 2017. Multi-year longitudinal profiles of cortisol and corticosterone recovered from baleen of North Atlantic right whales (*Eubalaena glacialis*). *General and Comparative Endocrinology* [en ligne]. 1 décembre 2017. Vol. 254, pp. 50-59. [Consulté le 9 mai 2021]. DOI 10.1016/j.ygcn.2017.09.009. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016648017300552>

IUCN MÉDITERRANÉE, 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. *IUCN Red List of Threatened Species* [en ligne]. 2020. [Consulté le 22 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.iucnredlist.org/en>

JACQUES BILLANT, 2020. Arrêté Prefectoral de la Réunion n°2479. [en ligne]. 2020. [Consulté le 2 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : <http://www.reunion.gouv.fr/IMG/pdf/2020-2479.pdf>

KASSAMALI-FOX, Ayshah, CHRISTIANSEN, Fredrik, MAY-COLLADO, Laura J., RAMOS, Eric A. et KAPLIN, Beth A., 2020. Tour boats affect the activity patterns of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Bocas del Toro, Panama. *PeerJ* [en ligne]. 30 mars 2020. Vol. 8, pp. e8804. [Consulté le 4 mai 2020]. DOI 10.7717/peerj.8804. Disponible à l'adresse : <https://peerj.com/articles/8804>

KELLAR, NM, CATELANI, KN, ROBBINS, MN, TREGO, ML, ALLEN, CD et DANIL, K, 2015. Kellar NM, Catelani KN, Robbins MN, Trego ML, Allen CD, Danil K, et al. (2015) Blubber Cortisol: A Potential Tool for Assessing Stress Response in Free-Ranging Dolphins without Effects due to Sampling. *PLoS ONE* 10(2): e0115257. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115257>. . 2015. DOI 10.1371/journal.pone.0115257.

KING, Stephanie L., SCHICK, Robert S., DONOVAN, Carl, BOOTH, Cormac G., BURGMAN, Mark, THOMAS, Len et HARWOOD, John, 2015. An interim framework for assessing the population consequences of disturbance. *Methods in Ecology and Evolution* [en ligne]. 2015. Vol. 6, n° 10, pp. 1150-1158. [Consulté le 12 décembre 2020]. DOI <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12411>. Disponible à l'adresse : <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/2041-210X.12411>

KYROU, I et TSIGOS, C, 2009. Kyrou I, Tsigos C. Stress hormones: physiological stress and regulation of metabolism. *Curr Opin Pharmacol*. 2009 Dec;9(6):787-93. doi: 10.1016/j.coph.2009.08.007. Epub 2009 Sep 14. PMID: 19758844. . 2009.

LABACH, Hélène, 2021. *Stratégie de conservation du Grand Dauphin (Tursiops truncatus) en Méditerranée française*. UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER.

LABACH, Hélène, DAVID, Léa, DI-MÉGLIO, Nathalie, COUVAT, Jérôme, BOMPAR, Jean-Michel et DHERMAIN, Frank, 2012. *Etude de la population de Dauphins de Risso en Méditerranée nord-occidentale. (2010-2012)*.pdf. octobre 2012.

LABACH, Hélène, GIMENEZ, Olivier et BARBIER, Maxime, 2016. *Etude de la population et de la conservation du Grand Dauphin en Méditerranée française Projet GDEGeM Grand Dauphin Etude et Gestion en Méditerranée 2013-2015*. 2016.

LANDELLE, Philippe et SUAS, Charlie, 2016. De la caractérisation au relevé d'infraction de la perturbation intentionnelle des espèces protégées. . 2016. pp. 64.

LARAN, Sophie, DELACOURTIE, Fabienne, FULVIO, Tiziana DI, DAVID, Léa, DI-MEGLIO, Nathalie et MONESTIEZ, Pascal, 2012. Synthèse sur la distribution des cétacés dans le Sanctuaire PELAGOS et les eaux adjacentes, mise en relation avec leur environnement. . 2012. pp. 30.

LARAN, Sophie, NIVIÈRE, Manon, DORÉMUS, Ghislain, SERRE, Sandrine, SPITZ, Jérôme et AUTHIER, Matthieu, 2021. Distribution et abondance de la mégafaune marine lors des campagnes SAMM cycle I et II en Méditerranée. . 2021. pp. 78.

LARRAT, Sylvain, 2014. *Indices de condition corporelle chez le béluga du Saint-Laurent : utilisation rétrospective de données morphologiques recueillies lors de nécropsies*.

LEGAVRE, Thierry, ODY, Denis, RIVALLAN, Ronan, EYNAUDI, Amandine, TASCIOTTI, Aurélie, DELACOURTIE, Fabienne et RISTERUCCI, Ange-Marie, 2012. Etude génétique de la structure de la population de Rorquals communs présente en mer Ligure entre 2006 et 2010. . 2012. pp. 4.

LOMAC-MACNAIR, Kate et SMULTEA, Mari, 2017. Assessing 'observer effects' from an aircraft on behavior of three Delphinidae species (*Grampus griseus*, *Delphinus delphis*, and *Orcinus orca*). *Wildlife Biology in Practice* [en ligne]. 14 mars 2017. Vol. 12, n° 2, pp. 388. [Consulté le 19 septembre 2021]. DOI 10.2461/wbp.2016.12.8. Disponible à l'adresse : <http://socpvs.org/journals/index.php/wbp/article/view/10.2461-wbp.2016.12.8>

LUSSEAU, D, 2003. Male and female bottlenose dolphins *Tursiops* spp. have different strategies to avoid interactions with tour boats in Doubtful Sound, New Zealand. *Marine Ecology Progress Series* [en ligne]. 2003. Vol. 257, pp. 267-274. [Consulté le 30 juin 2021]. DOI 10.3354/meps257267. Disponible à l'adresse : <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v257/p267-274/>

LUSSEAU, D, 2005. Residency pattern of bottlenose dolphins *Tursiops* spp. in Milford Sound, New Zealand, is related to boat traffic. *Marine Ecology Progress Series* [en ligne]. 2005. Vol. 295, pp. 265-272. [Consulté le 30 juin 2021]. DOI 10.3354/meps295265. Disponible à l'adresse : <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v295/p265-272/>

LUSSEAU, David, 2006. An individual-based model to infer the impact of whalewatching on cetacean population dynamics. . 2006. pp. 20.

LUSSEAU, David, 2006. An individual-based model to infer the impact of whalewatching on cetacean population dynamics. . 2006. pp. 20.

LUSSEAU, David et BEJDER, Lars, 2006. The Long-term Consequences of Short-term Responses to Disturbance Experiences from Whalewatching Impact Assessment. . 2006. pp. 11.

LUSSEAU, David et BEJDER, Lars, 2007. The Long-term Consequences of Short-term Responses to Disturbance Experiences from Whalewatching Impact Assessment. . 2007. pp. 10.

MAGALHÃES, Sara, PRIETO, Rui, SILVA, Mónica A, GONÇALVES, João, AFONSO-DIAS, Manuel et SANTOS, Ricardo S, 2002a. Short-term reactions of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) to whale-watching vessels in the Azores. . 2002. pp. 8.

MAGALHÃES, Sara, PRIETO, Rui, SILVA, Mónica A, GONÇALVES, João, AFONSO-DIAS, Manuel et SANTOS, Ricardo S, 2002b. Short-term reactions of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) to whale-watching vessels in the Azores. . 2002. pp. 8.

MANN, Janet, 1999. BEHAVIORAL SAMPLING METHODS FOR CETACEANS: A REVIEW AND CRITIQUE. *Marine Mammal Science* [en ligne]. janvier 1999. Vol. 15, n° 1, pp. 102-122. [Consulté le 1 juillet 2021]. DOI 10.1111/j.1748-7692.1999.tb00784.x. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1748-7692.1999.tb00784.x>

MARLEY, Sarah A., SALGADO KENT, Chandra P., ERBE, Christine et PARNUM, Iain M., 2017. Effects of vessel traffic and underwater noise on the movement, behaviour and vocalisations of bottlenose dolphins in an urbanised estuary. *Scientific Reports* [en ligne]. décembre 2017. Vol. 7, n° 1, pp. 13437. [Consulté le 15 août 2021]. DOI 10.1038/s41598-017-13252-z. Disponible à l'adresse : <http://www.nature.com/articles/s41598-017-13252-z>

MARTÍN-MONTALVO, Belén Quintana, HOARAU, Ludovic, DEFFES, Ophélie, DELASPRES, Sylvain, DELFOUR, Fabienne et LANDES, Anne-Emmanuelle, 2021. Dolphin Watching and Compliance to Guidelines Affect Spinner Dolphins' (*Stenella longirostris*) Behaviour in Reunion Island. . 2021.

MATTHEWS, J N, STEINER, L et GORDON, J, 2001. Mark-recapture analysis of sperm whale (*Physeter macrocephalus*) photo-id data from the Azores (1987-1995). . 2001. pp. 8.

MAY-COLLADO, Laura J. et QUIÑONES-LEBRÓN, Shakira G., 2014. Dolphin changes in whistle structure with watercraft activity depends on their behavioral state. *The Journal of the Acoustical Society of America* [en ligne]. avril 2014. Vol. 135, n° 4, pp. EL193-EL198. [Consulté le 30 juin 2021]. DOI 10.1121/1.4869255. Disponible à l'adresse : <http://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.4869255>

MAYOL, Pascal et BEAUBRUN, Pierre, 2005. Le Whale Watching en Méditerranée française : Etat des lieux et perspectives. [en ligne]. 2005. [Consulté le 5 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : http://www.souffleursdecume.com/docs/Whale_Watching_Medit_francaise.pdf

MAYOL, Pascal, DI-MEGLIO, Nathalie, DAVID, Léa, COUVAT, Jérôme, LABACH, Hélène et RATEL, Morgane, 2014. Le whale-watching en Méditerranée française : état des lieux et recommandations. . 2014. pp. 14.

MCCLINTOCK, B.T, RUSSELL, D.J.F, MATTHIOPOULOS, J. et KING, R., 2013. McClintock, B.T., Russell, D.J.F., Matthiopoulos, J. and King, R. (2013), Combining individual animal movement and ancillary biotelemetry data to investigate population-level activity budgets. *Ecology*, 94: 838-849. <https://doi.org/10.1890/12-0954.1>. . 2013. DOI <https://doi.org/10.1890/12-0954.1>.

MERCERA, Karl, PILOT-STORCK, Fanny, MERCERA, Birgitta, GILBERT, Caroline et DELFOUR, Fabienne, 2021. Exploration of Fecal Glucocorticoid Metabolites in the Bottlenose Dolphin (*Tursiops truncatus*) Under Human Care by Enzyme Immunoassay. . 2021.

MERLOT, E, QUESNEL, H et PRUNIER, A, 2015. Conséquences du stress maternel pendant la gestation sur l'immunité et la santé des nouveau-nés en élevage. . 2015. pp. 12.

MIDDEL, Heleen et VERONES, Francesca, 2017. Making Marine Noise Pollution Impacts Heard: The Case of Cetaceans in the North Sea within Life Cycle Impact Assessment. *Sustainability* [en ligne]. 28 juin 2017. Vol. 9, n° 7, pp. 1138. [Consulté le 8 juillet 2021]. DOI 10.3390/su9071138. Disponible à l'adresse : <http://www.mdpi.com/2071-1050/9/7/1138>

MILLER, Patrick, NARAZAKI, Tomoko, ISOJUNNO, Saana, AOKI, Kagari, SMOUT, Sophie et SATO, Katsufumi, 2016. Body density and diving gas volume of the northern bottlenose whale (*Hyperoodon ampullatus*). *Journal of Experimental Biology* [en ligne]. 1 janvier 2016. pp. jeb.137349. [Consulté le 16 août 2021]. DOI 10.1242/jeb.137349. Disponible à l'adresse : <https://journals.biologists.com/jeb/article/doi/10.1242/jeb.137349/262237/Body-density-and-diving-gas-volume-of-the-northern>

MILLER, P.J.O, FEDAK, M., LOVELL, P, CROCKER, D.E et ADACHI, I, 2019. Miller, P. J. O., Fedak, M., Lovell, P., Crocker, D. E., and Adachi, I. (2019). "On-board calculation and telemetry of the body condition of individual marine mammals", in *Marine Mammal & Biology Program Review, Book of Abstracts 23-26 April 2019* (Arlington, VA: Office of Naval Research). *Marine Mammal & Biology Program Review, Book of Abstracts 23-26*. 2019.

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE, Commissariat général au développement durable, 2019. *Les aires marines protégées en 2019* [en ligne]. [Consulté le 13 août 2021]. Disponible à l'adresse : <https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/milieux-et-territoires-a-enjeux/mer-et-littoral/biodiversite/article/les-aires-marines-protgees-en-2019>

MORETE, Maria E, BISI, Tatiana L et ROSSO, Sergio, 2007. Mother and calf humpback whale responses to vessels around the Abrolhos Archipelago, Bahia, Brazil. . 2007. pp. 9.

MORVAN, Gaël, 2012. ÉTAT PHYSIQUE ET CHIMIQUE Caractéristiques physiques. . 2012. pp. 8.

MOUNIER, Luc, DE BOYER DES ROCHES, Alice et VEISSIER, Isabelle, 2010. Evaluation du bien-être selon la méthode Welfare Quality®. . 1 janvier 2010.

NABE-NIELSEN, Jacob, SIBLY, Richard M., TOUGAARD, Jakob, TEILMANN, Jonas et SVEEGAARD, Signe, 2014. Effects of noise and by-catch on a Danish harbour porpoise population. *Ecological Modelling* [en ligne]. janvier 2014. Vol. 272, pp. 242-251. [Consulté le 11 août 2021]. DOI 10.1016/j.ecolmodel.2013.09.025. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304380013004675>

NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY, 2019. Ce grand cachalot a passé trois ans la queue empêtrée dans du matériel de pêche. *National Geographic* [en ligne]. 3 janvier 2019. [Consulté le 10 novembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/ce-grand-cachalot-passe-trois-ans-la-queue-empetree-dans-du-materiel-de-peche>

NEW, Leslie F., HARWOOD, John, THOMAS, Len, DONOVAN, Carl, CLARK, James S., HASTIE, Gordon, THOMPSON, Paul M., CHENEY, Barbara, SCOTT-HAYWARD, Lindesay et LUSSEAU, David, 2013. Modelling the biological significance of behavioural change in coastal bottlenose dolphins in response to disturbance. *Functional Ecology* [en ligne]. 2013. Vol. 27, n° 2, pp. 314-322. [Consulté le 28 janvier 2021]. DOI <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12052>. Disponible à l'adresse : <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1365-2435.12052>

NG, Sai Leung et LEUNG, Sze, 2003. Behavioral response of Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*) to vessel traffic. *Marine Environmental Research* [en ligne]. décembre 2003. Vol. 56, n° 5, pp. 555-567. [Consulté le 30 juin 2021]. DOI 10.1016/S0141-1136(03)00041-2. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141113603000412>

NISBET, I.C.T., 2000. Disturbance, habituation, and management of waterbird colonies. *Waterbirds*. 1 janvier 2000. Vol. 23, pp. 312-332.

NOWACEK, Douglas P., CHRISTIANSEN, Fredrik, BEJDER, Lars, GOLDBOGEN, Jeremy A. et FRIEDLAENDER, Ari S., 2016. Studying cetacean behaviour: new technological approaches and conservation applications. *Animal Behaviour* [en ligne]. 1 octobre 2016. Vol. 120, pp. 235-244. [Consulté le 11 février 2021]. DOI 10.1016/j.anbehav.2016.07.019. Disponible à l'adresse : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003347216301452>

CONNOR, S, CAMPBELL, R, CORTEZ, H et KNOWLES, T, 2009. *Whale Watching Worldwide: tourism numbers, expenditures and expanding economic benefits, a special report from the International Fund for Animal Welfare, Yarmouth MA, USA, prepared by Economists at Large.*

OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ, 2021. Office français de la biodiversité. [en ligne]. 2021. [Consulté le 13 août 2021]. Disponible à l'adresse : <https://ofb.gouv.fr/>

OIE, 1965. À propos du bien-être animal: OIE - World Organisation for Animal Health. [en ligne]. 1965. [Consulté le 6 octobre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.oie.int/fr/bien-etre-animal/le-bien-etre-animal-dun-coup-doeil/>

ONU ENVIRONNEMENT/PAM ATHÈNES, 2017. *Plan d'action pour la conservation des cétacés en mer Méditerranée. ONU Environnement/PAM Athènes* [en ligne]. Athènes, Grèce. [Consulté le 17 août 2021]. Disponible à l'adresse : https://rac-spa.org/sites/default/files/action_plans/ap_cetaceans_fr.pdf

PAWLUSKI, Jodi, JEGO, Patrick, HENRY, Séverine, BRUCHET, Anaëlle, PALME, Rupert, COSTE, Caroline et HAUSBERGER, Martine, 2017. Low plasma cortisol and fecal cortisol metabolite measures as indicators of compromised welfare in domestic horses (*Equus caballus*). VAN DEN BOS, Ruud (éd.), *PLOS ONE* [en ligne]. 8 septembre 2017. Vol. 12, n° 9, pp. e0182257. [Consulté le 8 juillet 2021]. DOI 10.1371/journal.pone.0182257. Disponible à l'adresse : <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0182257>

PELAGIS, 2021. Les pressions – PELAGIS. [en ligne]. 2021. [Consulté le 10 novembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.observatoire-pelagis.cnrs.fr/les-pressions/>

PETERS, Katharina J., PARRA, Guido J., SKUZA, Pawel P. et MÖLLER, Luciana M., 2012. First insights into the effects of swim-with-dolphin tourism on the behavior, response, and group structure of southern Australian bottlenose dolphins. *Marine*

Mammal Science [en ligne]. novembre 2012. pp. n/a-n/a. [Consulté le 11 février 2021]. DOI 10.1111/mms.12003. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1111/mms.12003>

PIROTTA, Enrico, BOOTH, Cormac G., COSTA, Daniel P., FLEISHMAN, Erica, KRAUS, Scott D., LUSSEAU, David, MORETTI, David, NEW, Leslie F., SCHICK, Robert S., SCHWARZ, Lisa K., SIMMONS, Samantha E., THOMAS, Len, TYACK, Peter L., WEISE, Michael J., WELLS, Randall S. et HARWOOD, John, 2018. Understanding the population consequences of disturbance. *Ecology and Evolution* [en ligne]. octobre 2018. Vol. 8, n° 19, pp. 9934-9946. [Consulté le 9 juillet 2021]. DOI 10.1002/ece3.4458. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.4458>

PODCAST « L'EFFET PANDA », 2020. Episode 3 du podcast l'Effet Panda : innovations et océans | WWF France. *wwf.fr* [en ligne]. 2020. [Consulté le 17 août 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.wwf.fr/podcast/effet-panda/episode-3>

PROIE, Shelby, 2013. *Systematic Review of Mean Cortisol Levels in Wild and Captive Atlantic Bottlenose Dolphins (Tursiops truncatus), Killer Whales (Orcinus orca), and Beluga Whales (Delphinapterus Leucas)*.

PROUTEAU, Laurence, MÉRIGOT, Bastien et FEY, Laurent, 2010. Globicephala melas | DORIS. [en ligne]. 2010. [Consulté le 18 mars 2021]. Disponible à l'adresse : [https://doris.ffessm.fr/Especies/Globicephala-melas-Globicephale-noir-1095/\(rOffset\)/0](https://doris.ffessm.fr/Especies/Globicephala-melas-Globicephale-noir-1095/(rOffset)/0)

PUSZKA, Helena, SHIMETA, Jeff et ROBB, Kate, 2021. Assessment on the effectiveness of vessel-approach regulations to protect cetaceans in Australia: A review on behavioral impacts with case study on the threatened Burrunan dolphin (*Tursiops australis*). *PLoS One*. 2021. Vol. 16, n° 1, pp. e0243353. DOI 10.1371/journal.pone.0243353.

RAMOS, Eric A, MALONEY, Brigid, MARTÍNEZ, Nataly Castelblanco, KERR, Iain, ROGAN, Andy, AUDLEY, Katherina, MAGNASCO, Marcelo O et REISS, Diana, 2018. Behavioral Reactions of Marine Mammals to Drones. . 2018. pp. 1.

RIBARIC, Darja et CLARKSON, Jack, 2021a. Nautical tourism affects common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus* M.) foraging success in a NATURA 2000 site, North-Eastern Adriatic Sea. *Mediterranean Marine Science* [en ligne]. 1 mars 2021. [Consulté le 1 juin 2021]. DOI 10.12681/mms.24475. Disponible à l'adresse : <https://ejournals.publishing.ekt.gr/index.php/hcmr-med-mar-sc/article/view/24475>

RIBARIC, Darja et CLARKSON, Jack, 2021b. Nautical tourism affects common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus* M.) foraging success in a NATURA 2000 site, North-Eastern Adriatic Sea. *Mediterranean Marine Science* [en ligne]. 1 mars 2021. [Consulté le 15 août 2021]. DOI 10.12681/mms.24475. Disponible à l'adresse : <https://ejournals.publishing.ekt.gr/index.php/hcmr-med-mar-sc/article/view/24475>

ROLLAND, RM, SCHICK, RS, PETTIS, HM, KNOWLTON, AR, HAMILTON, PK, CLARK, JS et KRAUS, SD, 2016. *Rolland RM, Schick RS, Pettis HM, Knowlton AR, Hamilton PK, Clark JS, Kraus SD (2016) Health of North Atlantic right whales Eubalaena glacialis over three decades: from individual health to demographic and population health trends. Mar Ecol Prog Ser 542:265-282. https://doi.org/10.3354/meps11547. 2016.*

ROLLAND, Rosalind M., PARKS, Susan E., HUNT, Kathleen E., CASTELLOTE, Manuel, CORKERON, Peter J., NOWACEK, Douglas P., WASSER, Samuel K. et KRAUS, Scott D., 2012. Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [en ligne]. 22 juin 2012. Vol. 279, n° 1737, pp. 2363-2368. [Consulté le 8 juillet 2021]. DOI 10.1098/rspb.2011.2429. Disponible à l'adresse : <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2011.2429>

ROSEN, David, KOOPMAN, Heather et REICHMUTH, 2014. Recommandations relatives aux normes de soins des mammifères marins en captivité en Ontario. . 2014. pp. 100.

SAPOLSKY, RM, ROMERO, LM et MUNCK, AU, 2000. Sapolsky RM, Romero LM, Munck AU. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocr Rev*. 2000 Feb;21(1):55-89. doi: 10.1210/edrv.21.1.0389. PMID: 10696570. . 2000.

SCHEER, Michael, 2010. Review of self-initiated behaviors of free-ranging cetaceans directed towards human swimmers and waders during open water encounters. *Interaction Studies. Social Behaviour and Communication in Biological and Artificial Systems* [en ligne]. 18 novembre 2010. Vol. 11, n° 3, pp. 442-466. [Consulté le 29 juin 2021]. DOI 10.1075/is.11.3.07sch. Disponible à l'adresse : <http://www.jbe-platform.com/content/journals/10.1075/is.11.3.07sch>

SCHEIDAT, Meike, CASTRO, Cristina, GONZALEZ, Janira et WILLIAMS, Rob, 2004. Behavioural responses of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to whalewatching boats near Isla de la Plata, Machalilla National Park, Ecuador. . 2004. pp. 6.

SCHULER, Alicia R., PIWETZ, Sarah, DI CLEMENTE, Jacopo, STECKLER, David, MUETER, Franz et PEARSON, Heidi C., 2019. Humpback Whale Movements and Behavior in Response to Whale-Watching Vessels in Juneau, AK. *Frontiers in Marine Science* [en ligne]. 20 novembre 2019. Vol. 6, pp. 710. [Consulté le 30 juin 2021]. DOI 10.3389/fmars.2019.00710. Disponible à l'adresse : <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2019.00710/full>

SERVAIS, Véronique, 2010. Servais Véronique, « Chapitre 2 - Une pragmatique de la souffrance animale », dans : Jean-Luc Guichet éd., *Douleur animale, douleur humaine*. Données scientifiques, perspectives anthropologiques, questions éthiques. Versailles, Éditions Quæ, « Update Sciences & Technologies », 2010, p. 91-105. DOI : 10.3917/quæ.guich.2010.01.0013. URL : <https://www.cairn.info/douleur-animale-douleur-humaine--9782759206148-page-91.htm>. In : *Douleur animale, douleur humaine*.

SERVAIS, Véronique, 2018. Agir sur soi pour agir sur autrui: Le travail affectif dans les relations entre dauphins et soigneurs. *TSANTSA – Journal of the Swiss Anthropological Association* [en ligne]. 1 mai 2018. Vol. 23, pp. 53-62. [Consulté le 7 février 2021]. DOI 10.36950/tsantsa.2018.18.7294. Disponible à l'adresse : <https://bop.unibe.ch/Tsantsa/article/view/7294>

SHANE, Susan H, 1995. Behavior patterns of pilot whales and Risso's dolphins off Santa Catalina Island, California. . 1995. pp. 4.

SILVERTHORN, D.U., OBER, W.C et JOHNSON, B.R, 2007. SILVERTHORN D.U., OBER W.C., GARRISON C.W., SILVERTHORN A.C., JOHNSON B.R. (2007a) Contrôle endocrinien de la croissance et métabolisme. In *Physiologie humaine : une approche intégrée*, 4e ed. Paris, France, Pearson. In : *Physiologie humaine : une approche intégrée*.

SITE DE L'INVENTAIRE NATIONAL DU PATRIMOINE NATUREL, 2017. Tursiops truncatus (Montagu, 1821) - Grand dauphin commun, Grand Dauphin. *Inventaire National du Patrimoine Naturel* [en ligne]. 2017. [Consulté le 18 décembre 2020]. Disponible à l'adresse : https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/60927

SITE DU GREC, 2021. Cétacés de Méditerranée. *Cétologie - Baleines et dauphins, le magazine en ligne* [en ligne]. 2021. [Consulté le 18 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.cetaces.org/cetaces/mediterranee/>

SITE DU MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, MINISTÈRE DÉLÉGUÉ AUX TRANSPORTS, À LA MER ET À LA PÊCHE, 2013. Protection et valorisation de l'environnement marin, Fiche n°2. [en ligne]. février 2013. [Consulté le 3 novembre 2020]. Disponible à l'adresse : http://www.dirm.mediterranee.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/fiche_no_2_Environnement.pdf

SITE DU SANCTUAIRE PELAGOS, [sans date]. Dauphin de Risso. [en ligne]. [Consulté le 18 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.sanctuaire-pelagos.org/fr/especes/dauphin-de-risso>

SITE INTERNET DE LA LPO AUVERGNE, 2020. Sorties en nature et dérangement de la faune : la LPO AuRA appelle à la vigilance | La Ligue pour la Protection des Oiseaux Auvergne. [en ligne]. 2020. [Consulté le 19 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <http://www.lpo-auvergne.org/actu/sorties-en-nature-et-derangement-de-la-faune-la-lpo-aura-appelle-la-vigilance>

SITE INTERNET DE L'AGGLOMÉRATION DU PAYS DE GEX, 2020. Pays de Gex agglo - Les zones de quiétude de la faune sauvage. [en ligne]. 2020. [Consulté le 19 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.paysdegexagglo.fr/les-zones-de-quietude-de-la-faune-sauvage/>

SITE INTERNET DU PARC NATIONAL DES ECRINS, 2019. Limiter le dérangement de la faune sauvage en hiver. *Parc national des Ecrins* [en ligne]. 4 février 2019. [Consulté le 19 mars 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.ecrins-parcnational.fr/breve/limiter-derangement-faune-sauvage-hiver>

SPA-RAC, 2021. La Liste des ASPIM, les aires marines protégées. *Plateforme Collaborative ASPIM* [en ligne]. 2021. [Consulté le 13 août 2021]. Disponible à l'adresse : <http://spami.medchm.net/fr/liste-des-aspim/map>

SPROGIS, Kate R, VIDESEN, Simone et MADSEN, Peter T, 2020. Vessel noise levels drive behavioural responses of humpback whales with implications for whale-watching. RUTZ, Christian, GLOAG, Rosalyn et MILLER, Patrick (éd.), *eLife* [en ligne]. 16 juin 2020. Vol. 9, pp. e56760. [Consulté le 12 décembre 2020]. DOI 10.7554/eLife.56760. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.7554/eLife.56760>

ST AUBIN, DJ, 2001. ST. AUBIN D.J. (2001) Endocrinology. In *CRC handbook of marine mammal medicine*, 2nd ed. Boca Raton, Etats-Unis d'Amérique, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Dierauf L. A., Gulland F. M., pp 169-182. In : *CRC handbook of marine mammal medicine*.

SYLVESTRE, Jean-Pierre, 2014. *Cétacés du monde Systématique, éthologie, biologie, écologie, statut*. Quæ. ISBN 978-2-7592-2185-1.

TARDY, Céline, DI-MEGLIO, Nathalie, ROUL, Marine, DAVID, Léa, ODY, Denis, JACOB, Théa, GIMENEZ, Olivier et LABACH, Hélène, 2016a. Eléments de structure et dynamique des populations de Cachalot et Globicéphale noir fréquentant le bassin de Méditerranée nord-occidentale. . 2016. pp. 95.

TARDY, Céline, DI-MEGLIO, Nathalie, ROUL, Marine, DAVID, Léa, ODY, Denis, JACOB, Théa, GIMENEZ, Olivier et LABACH, Hélène, 2016b. *CARACTERISATION DE LA POPULATION DE RORQUALS COMMUNS FREQUENTANT LE BASSIN DE MEDITERRANEE NORD_OCCIDENTALE*. 2016.

TENAN, Simone, HERNÁNDEZ, Noelia, FEARNBACH, Holly, STEPHANIS, Renaud de, VERBORGH, Philippe et ORO, Daniel, 2020. Impact of maritime traffic and whale-watching on apparent survival of bottlenose dolphins in the Strait of Gibraltar. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* [en ligne]. 2020. Vol. 30, n° 5, pp. 949-958. [Consulté le 28 janvier 2021]. DOI <https://doi.org/10.1002/aqc.3292>. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aqc.3292>

TENNESSEN, Jennifer B et PARKS, Susan E, 2016. Acoustic propagation modeling indicates vocal compensation in noise improves communication range for North Atlantic right whales. . 2016. pp. 13.

TERJUNG, Ronald (éd.), 2011. *Comprehensive Physiology* [en ligne]. 1. Wiley. [Consulté le 8 juillet 2021]. ISBN 978-0-470-65071-4. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/cphy>

THOMPSON, Paul M., GRAHAM, Isla M., CHENEY, Barbara, BARTON, Tim R., FARCAS, Adrian et MERCHANT, Nathan D., 2020. Balancing risks of injury and disturbance to marine mammals when pile driving at offshore windfarms. *Ecological Solutions and Evidence* [en ligne]. décembre 2020. Vol. 1, n° 2. [Consulté le 12 mars 2021]. DOI 10.1002/2688-8319.12034. Disponible à l'adresse : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2688-8319.12034>

TREGO, Marisa L., KELLAR, Nicholas M. et DANIL, Kerri, 2013. Validation of Blubber Progesterone Concentrations for Pregnancy Determination in Three Dolphin Species and a Porpoise. WICKER-THOMAS, Claude (éd.), *PLoS ONE* [en ligne]. 30 juillet 2013. Vol. 8, n° 7, pp. e69709. [Consulté le 16 août 2021]. DOI 10.1371/journal.pone.0069709. Disponible à l'adresse : <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0069709>

TRIPLET, Patrick et SCHRICKE, Vincent, 1998. Les facteurs de dérangements des oiseaux d'eau: synthèse bibliographique des études abordant ce thème en France. *Bulletin mensuel Office National de la Chasse*. 1 janvier 1998. Vol. 235, pp. 20-27.

TRUMBLE, S. J., ROBINSON, E. M., BERMAN-KOWALEWSKI, M., POTTER, C. W. et USENKO, S., 2013. Blue whale earplug reveals lifetime contaminant exposure and hormone profiles. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [en ligne]. 15 octobre 2013. Vol. 110, n° 42, pp. 16922-16926. [Consulté le 6 juillet 2021]. DOI 10.1073/pnas.1311418110. Disponible à l'adresse : <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1311418110>

TUOMAINEN, Ulla et CANDOLIN, Ulrika, 2011. Behavioural responses to human-induced environmental change. *Biological Reviews* [en ligne]. août 2011. Vol. 86, n° 3, pp. 640-657. [Consulté le 16 mai 2021]. DOI 10.1111/j.1469-185X.2010.00164.x. Disponible à l'adresse : <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1469-185X.2010.00164.x>

UICN COMITÉ FRANÇAIS, 2017. *tableau-liste-rouge-mammiferes-de-france-metropolitaine.pdf*. [en ligne]. novembre 2017. [Consulté le 17 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2017/11/tableau-liste-rouge-mammiferes-de-france-metropolitaine.pdf>

UICN MONDIAL, 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. *IUCN Red List of Threatened Species* [en ligne]. 2020. [Consulté le 17 septembre 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.iucnredlist.org/en>

UNION INTERNATIONALE POUR LA CONSERVATION DE LA NATURE, COMITÉ FRANÇAIS, 2018. Liste rouge : le rorqual commun et le gorille des montagnes en voie de récupération. *UICN France* [en ligne]. 15 novembre 2018. [Consulté le 6 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <https://uicn.fr/liste-rouge-mondiale-le-rorqual-commun-et-le-gorille-des-montagnes-en-voie-de-recuperation/>

VAN PARIJS, Sm, CLARK, Cw, SOUSA-LIMA, Rs, PARKS, Se, RANKIN, S, RISCH, D et VAN OPZEELAND, Ic, 2009. Management and research applications of real-time and archival passive acoustic sensors over varying temporal and spatial scales. *Marine Ecology Progress Series* [en ligne]. 3 décembre 2009. Vol. 395, pp. 21-36. [Consulté le 2 juillet 2021]. DOI 10.3354/meps08123. Disponible à l'adresse : <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v395/p21-36/>

VEISSIER, Isabelle et MIELE, Mara, 2015. Petite histoire de l'étude du bien-être animal: comment cet objet sociétal est devenu un objet scientifique transdisciplinaire. . 2015. pp. 12.

VERBOOM, Willem, 2002. *Noise criteria for marine mammals*.

VISSER, Fleur, CURÉ, Charlotte, KVADSHEIM, Petter H., LAM, Frans-Peter A., TYACK, Peter L. et MILLER, Patrick J. O., 2016. Disturbance-specific social responses in long-finned pilot whales, *Globicephala melas*. *Scientific Reports* [en ligne]. septembre 2016. Vol. 6, n° 1, pp. 28641. [Consulté le 19 septembre 2021]. DOI 10.1038/srep28641. Disponible à l'adresse : <http://www.nature.com/articles/srep28641>

WADE, Paul R., REEVES, Randall R. et MESNICK, Sarah L., 2012. Social and Behavioural Factors in Cetacean Responses to Overexploitation: Are Odontocetes Less “Resilient” Than Mysticetes? *Journal of Marine Biology* [en ligne]. 2012. Vol. 2012, pp. 1-15. [Consulté le 14 septembre 2021]. DOI 10.1155/2012/567276. Disponible à l'adresse : <http://www.hindawi.com/journals/jmb/2012/567276/>

WIIG, Ø, HEIDE-JØRGENSEN, Mp, LINDQVIST, C, LAIDRE, KI, POSTMA, Ld, DUECK, L, PALSBOÛLL, Pj et BACHMANN, L, 2011. Recaptures of genotyped bowhead whales *Balaena mysticetus* in eastern Canada and West Greenland. *Endangered Species Research* [en ligne]. 23 septembre 2011. Vol. 14, n° 3, pp. 235-242. [Consulté le 16 août 2021]. DOI 10.3354/esr00365. Disponible à l'adresse : <http://www.int-res.com/abstracts/esr/v14/n3/p235-242/>

WILLIAMS, Rob, LUSSEAU, David et HAMMOND, Philip S., 2006. Estimating relative energetic costs of human disturbance to killer whales (*Orcinus orca*). *Biological Conservation* [en ligne]. décembre 2006. Vol. 133, n° 3, pp. 301-311. [Consulté le 30 juin 2021]. DOI 10.1016/j.biocon.2006.06.010. Disponible à l'adresse : <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006320706002874>

WISNIEWSKA, Danuta Maria, JOHNSON, Mark, TEILMANN, Jonas, SIEBERT, Ursula, GALATIUS, Anders, DIETZ, Rune et MADSEN, Peter Teglberg, 2018. High rates of vessel noise disrupt foraging in wild harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [en ligne]. 14 février 2018. Vol. 285, n° 1872, pp. 20172314. [Consulté le 16 mai 2021]. DOI 10.1098/rspb.2017.2314. Disponible à l'adresse : <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2017.2314>

WWF FRANCE, 2020. Triste nouvelle pour la baleine Fluker | WWF France. [en ligne]. 24 juillet 2020. [Consulté le 10 novembre 2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.wwf.fr/vous-informer/actualites/dans-le-sanctuaire-pelagos-en-mediterranee-une-baleine-blessee-par-lhomme-est-a-lagonie-depuis-des>

Annexes

Annexe 1 : Résultat de la sollicitation d'expert sur l'évaluation de différentes méthodes de collectes d'informations sur la santé individuelle des individus de chaque espèce. Source : (Booth, Sinclair, Harwood 2020). La faisabilité (axe des abscisses) indique quelles méthodes sont les plus pratiques à mettre en place dans l'espèce considérée. L'utilité relative (axe des ordonnées) indique le nombre pondéré de variables qui doivent être mesurées pour utiliser la technique considérée. Les méthodes ayant les meilleurs scores se situent dans la partie en haut à droite des graphiques.

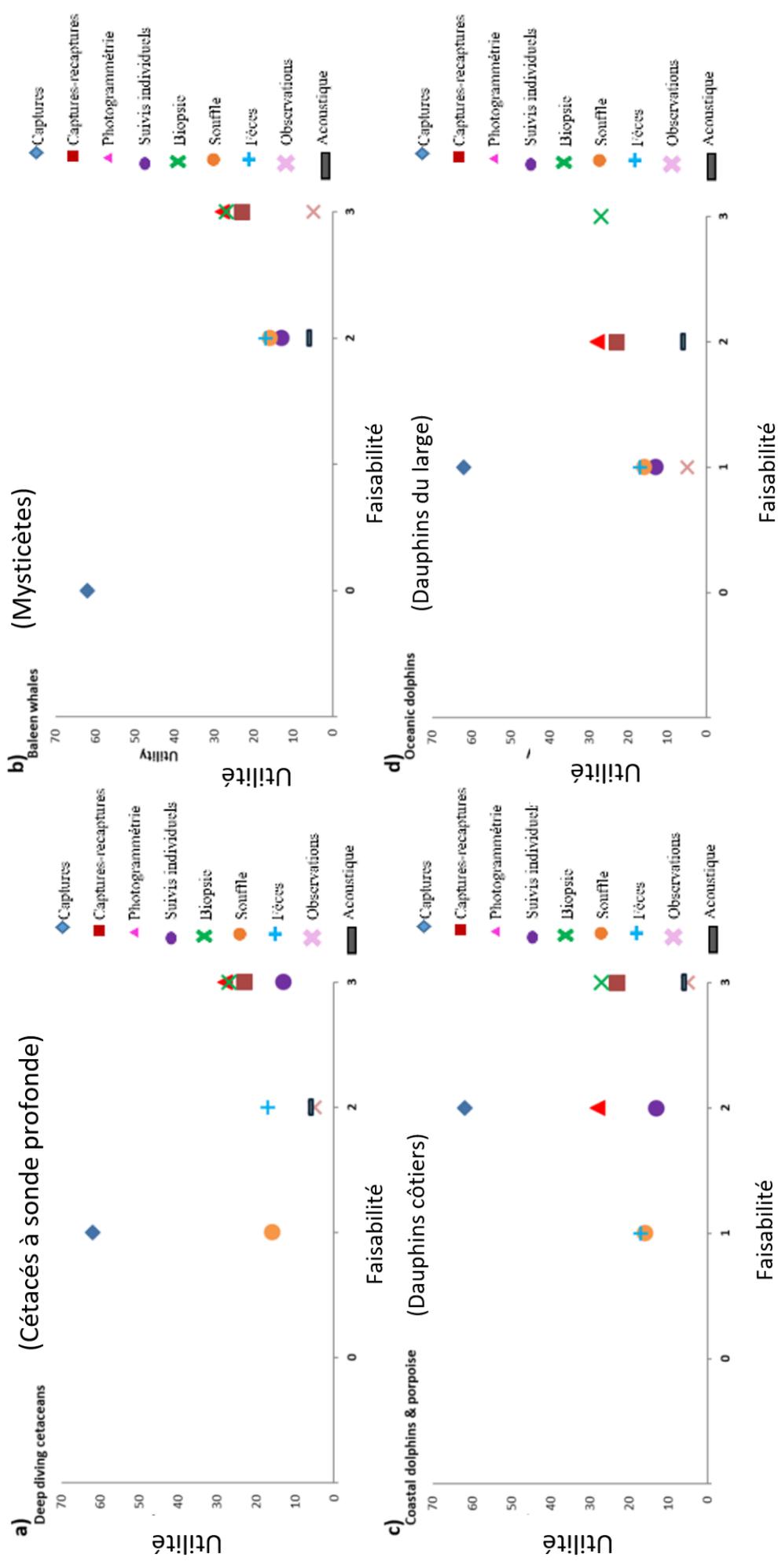
Annexe 2 : Document « Guide des experts »

Annexe 3 : Documentation supplémentaire fournie aux experts à propos du grand dauphin de Méditerranée

Annexe 4 : Scénarios fictifs utilisés pour la sollicitation d'experts

Annexe 5 : Grille Excel de scoring, recueil des réponses des experts

Annexe 6 : Formulaire : Evaluation de l'outil WATWC comme indicateur du dérangement engendré par le whale-watching sur des cétacés de méditerranée



Annexe 1 : Résultat de la sollicitation d'expert sur l'évaluation de différentes méthodes de collectes d'informations sur la santé individuelle des individus de chaque espèce. Source : (Booth et al. 2020). La faisabilité (axe des abscisses) indique quelles méthodes sont les plus pratiques à mettre en place dans l'espèce considérée. L'utilité relative (axe des ordonnées) indique le nombre pondéré de variables qui doivent être mesurées pour utiliser la technique considérée. Les méthodes ayant les meilleurs scores se situent dans la partie en haut à droite des graphiques.

Annexe 2 :

Document explicatif : Guide des participants à la sollicitation d'experts

1- Remerciements

Madame, Monsieur, bonjour et merci d'avoir accepté de faire partie du groupe d'experts sollicités pour répondre à ce questionnaire !

Celui-ci s'intègre dans mon travail de thèse de Doctorat en médecine vétérinaire sur la caractérisation et l'évaluation du dérangement des cétacés en mer Méditerranée.

2- Présentation de la thèse et ses objectifs généraux

Les cétacés de méditerranée sont soumis à diverses activités anthropiques susceptibles d'être une source de dérangement, et d'engendrer à ce titre des modifications comportementales et physiologiques individuelles, dans un premier temps, à même d'avoir des répercussions à l'échelle de la population dans un second temps.

De façon générale, la récolte de données sur la faune sauvage marine est longue et fastidieuse. En effet, de par le milieu peu accessible dans lequel ils évoluent, et leurs caractéristiques biologiques de grands mammifères (longévité élevée, taux de reproduction faible), les effets sur le long terme du dérangement sont difficiles à mesurer et analyser, et donc à limiter avec des mesures de gestion adaptées. Cette problématique rend donc les méthodes d'évaluation du dérangement dématérialisées intéressantes, incluant les dires d'experts et les modélisateurs. Ces modélisateurs permettent d'estimer, à partir de micro-observations à l'échelle individus-groupe d'individus, l'impact du dérangement à l'échelle des populations de cétacés sur du court, moyen et long terme. Cependant, les modélisateurs nécessitent généralement des quantités de données importantes, dont nous disposons peu ou pas dans le domaine d'étude des cétacés en milieu sauvage.

Dans une étude récente (Christine Nicol et al. 2020), le bien-être des cétacés dans leur milieu sauvage est évalué via le *dire d'experts*. L'outil ainsi développé, nommé WATWC (welfare assessment tool for wild cetaceans) vise à mettre en évidence les domaines dans lesquels les données sont lacunaires et à guider les décisions de gestion des interactions humains-cétacés. Afin de tester la dernière version du WATWC, les chercheurs ont utilisé des scénarios mettant en jeu l'impact du trafic maritime sur les orques résidentes du Sud. (Christine Nicol et al. 2020).

Le sujet de cette thèse bibliographique a été établi en parallèle d'une étude conduite par MIRACETI. Il s'agit d'une étude pilote visant à fournir des outils d'évaluation du dérangement des cétacés lié à l'activité de whale watching d'une part, et de l'efficacité écologique et économique d'un label sur ces pressions d'autre part.

La présente thèse s'ancre dans la problématique de caractérisation et d'évaluation du dérangement des cétacés, et de l'extension des observations de l'échelle individuelle à l'échelle populationnelle.

Notre stratégie consiste donc à répondre à trois objectifs : caractériser le dérangement des cétacés, synthétiser les méthodes de son évaluation à travers le monde aux échelles individuelles et populationnelles, et réfléchir à l'application de ces méthodes à notre contexte méditerranéen français. Nous tenterons de répondre à cette problématique à l'aide d'une méta-analyse bibliographique, ainsi que d'une réflexion aidée d'un *dire d'experts* sur l'utilisation de l'outil WATWC cité précédemment, dans notre contexte méditerranéen.

3- L’outil WATWC comme méthode d’évaluation du dérangement d’un individu ou d’un groupe d’individus

L’outil WATWC, pour Welfare Assessment Tool for Wild Cetaceans (Outil d’évaluation du bien-être des cétacés sauvages), est basé sur la sollicitation et l’avis d’experts. Ces experts évaluent, à l’aide de leurs connaissances et de documents d’information spécifiques à la situation donnée, le dérangement subi par un cétacé dans un scénario donné, à l’aide de grilles et de systèmes de scoring. Il est également demandé à ces experts d’évaluer leur confiance en leurs propres scoring.

Cet outil repose sur le principe des 5 libertés fondamentales considérées pour les animaux terrestres par l’OIE : 1. L’absence de faim, de soif et de malnutrition, 2. L’absence de peur et de détresse, 3. L’absence de stress physique ou thermique, 4. L’absence de douleur, de lésions, de maladie, et 5. La possibilité pour l’animal d’exprimer les comportements normaux de son espèce. (OIE 1965).

La considération du bien-être animal et de son évaluation est revue et mise à jour régulièrement. Les réflexions scientifiques à ce sujet sont regroupées, depuis 25 ans, sous le nom de *Five Domains Model for animal welfare assessment*. L’étude de Mellor et al. résume l’évolution de ce FDM, (Mellor et al. 2020), et présente les actuels « domaines » le constituant : Nutrition, Environnement, Santé, Comportement. Un 5eme domaine, plus subjectif, est désormais considéré : l’état affectif, remplaçant la liberté 2 citée par l’OIE.

Ces différents domaines à considérer ont été revus lors d’un atelier de réflexion, organisé par la IWC (International Whale Commission) au Kruger Park en 2016, (Butterworth, 2017) et les 4 domaines ont été caractérisés de façon à être adaptés au contexte du bien-être animal appliqué aux cétacés. (Deuxième feuillet du dossier Excel « **WATWC Feuille de scoring** »).

Cet outil a été testé et amélioré à travers différents regroupements d’experts (Au Parc national du Kruger, en Afrique du Sud en mai 2016 (Butterworth, 2017), puis à Londres en 2018 (Christine Nicol et al. 2020)) traitant du bien-être animal et son évaluation. Une étude pilote du WATWC a été réalisée, sur les baleines à bec de cuvier ainsi que sur le grand dauphin (Christine Nicol et al. 2020), puis cet outil a été revu dernièrement dans une seconde étude de cas, considérant des orques résidentes du sud (Bled, Slovenia, April 2018).

4- Utilisation du WATWC dans le contexte de la thèse et extension des résultats aux populations

a. Objectifs de cette enquête

Cette enquête a pour objectif **d’évaluer la pertinence de l’utilisation de l’outil WATWC dans l’évaluation dématérialisée du dérangement des cétacés de méditerranée, ainsi que de son extension à l’échelle populationnelle.**

Le travail proposé consiste à prendre connaissance de la **documentation supplémentaire** fournie dans un premier temps, composée d’une dizaine de pages d’informations sous format PDF, qui vous seront plus ou moins utiles selon votre degré d’expertise en matière de cétacés méditerranéens.

Dans un second temps, il s’agit de prendre connaissance des **deux scénarios fictifs** proposés. Ceux-ci mettent en scène des groupes de cétacés de l’espèce Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*), en mer méditerranée, soumis au dérangement par les activités de whale watching, à deux niveaux de pression

différents. Cette mise en scène se veut être la plus réaliste possible et s'inspire donc de récits d'observations de terrain, recueillis auprès de professionnels de l'association MIRACETI.

Ensuite, vous pourrez remplir le **premier feuillet du dossier Excel** « [WATWC Feuille de scoring](#) ». Cette grille, constituée de 20 questions, est largement inspirée de l'étude de Christine Nicol et al. (2020) sur le WATWC, et a d'ailleurs été récupérée auprès des auteurs de l'article. Elle a ensuite été traduite en français, et nous y avons ajouté un Domaine de réflexion supplémentaire (domaine 6), considérant l'impact estimé à l'échelle populationnelle. Les différents *Domaines* à considérer sont explicités dans le **deuxième feuillet du dossier Excel**.

Enfin, vous pourrez répondre au **questionnaire** sur l'utilisation de cet outil comme méthode d'évaluation du dérangement des cétacés de méditerranée française, à l'échelle individuelle et populationnelle. ([Formulaire : Evaluation de l'outil WATWC comme indicateur du dérangement engendré par le whale-watching sur des cétacés de méditerranée](#))

b. Résultats attendus

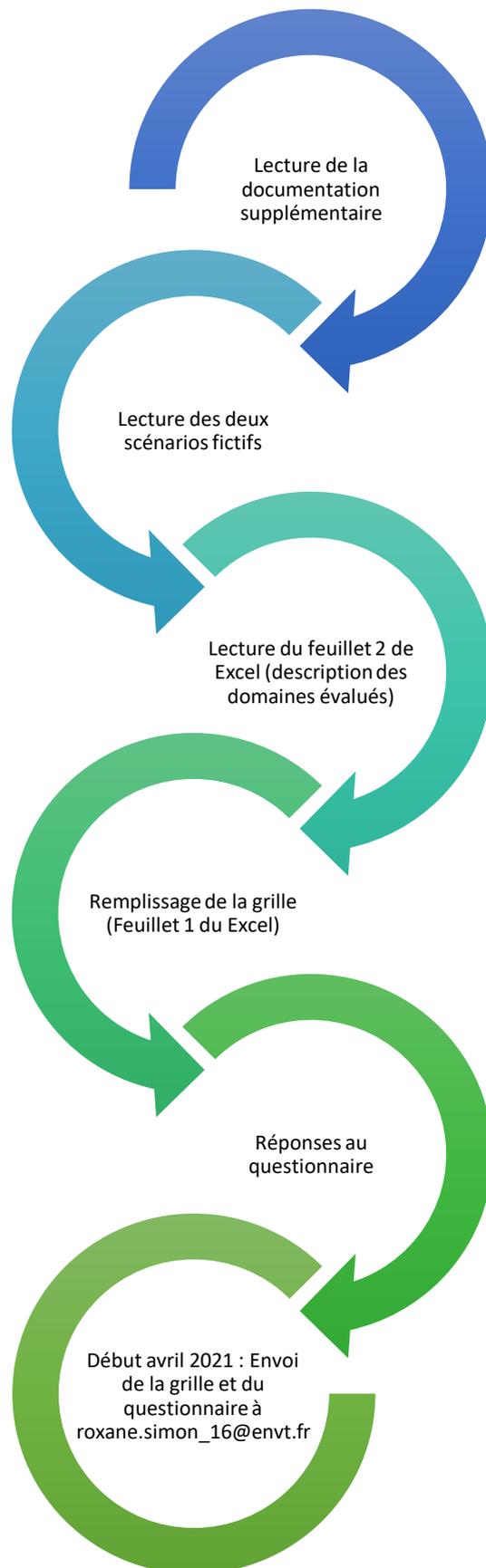
Les réponses à la grille pourront m'être retournées jusqu'à **début avril**. Ces réponses seront traitées sous formes de graphiques, afin de visualiser les estimations moyennes du dérangement et ses impacts, et la distribution de ces estimations. L'homogénéité ou l'hétérogénéité des réponses pourront être interprétées comme signant de la pertinence et de la facilité ou non d'usage de la méthode WATWC appliquée à notre contexte d'étude.

A travers vos réponses au questionnaire, parallèlement à celles de la grille, nous évaluerons la pertinence des scénarios choisis et de l'utilisation de la méthode WATWC dans notre cadre d'étude.

Si cette méthodologie s'avérait pertinente, on pourrait envisager de comparer, à posteriori, les impacts estimés dans vos réponses à la grille Excel, aux résultats futurs du terrain.

Pour terminer, tout commentaire ou informations de votre part en lien avec notre sujet d'étude seront les bienvenus.

c. Synthèse des étapes



Documentation supplémentaire

Tursiops truncatus



Figure 1 : Tursiops truncatus - Grand Dauphin ou Tursiops - Tursiope - Bottlenose dolphin. Illustration © M. Würtz. Musée océanographique de Monaco, Fondation Albert I^{er}

Le grand dauphin (*Tursiops truncatus*), est un odontocète (cétacé à dents) qui peut atteindre 3 à 4 mètres de long, peser jusqu'à 300kg et dont la longévité varie de 30 à 50 ans. C'est un dauphin très répandu mondialement, il est donc très étudié et assez connu, par rapport à la moyenne de nos connaissances sur les cétacés à l'état sauvage en général. Il vit en groupe de moins d'une douzaine d'individus la plupart du temps, dans lesquels se trouvent généralement 1 ou 2 juvéniles, et se regroupent parfois jusqu'à 50 voire 100 individus. (Fiche d'identification du Grand Dauphin ou Tursiops, site internet du Groupe de REcherche sur les Cétacés 2009). Son rostre est court et épais, distinct du melon (photo ci-dessus). Sa répartition mondiale est très large, on le rencontre près des côtes (sous-populations côtières), au large (sous-populations pélagiques), plutôt dans des eaux tempérées ou tropicales, toute l'année. (Fiche d'identification du Grand Dauphin ou Tursiops, site internet du Groupe de REcherche sur les Cétacés 2009).

Si les Mysticètes voient le plus souvent leurs aires de reproduction et d'alimentation séparées dans le temps et l'espace par de grandes migrations saisonnières, les Odontocètes ont généralement des habitats beaucoup plus restreints, et se nourrissent et se reproduisent aux mêmes endroits. (Christiansen, Lusseau 2013)

La structure sociale du Grand Dauphin est caractérisée de « fission-fusion », c'est-à-dire qu'il existe une forte variabilité spatio-temporelle, dans la taille, et dans la composition des groupes. (Projet GDEGeM, Hélène Labach, Olivier Gimenez et Maxime Barbier 2016)

Tursiops de Méditerranée française

En mer Méditerranée, on le retrouve partout, de Gibraltar jusque dans la mer Noire. Dans le bassin occidental, il occupe principalement le littoral continental et celui des grandes îles. Contrairement à d'autres régions du monde, aucun groupe strictement pélagique n'a été rapporté en mer Méditerranée. Il est présent principalement sur le plateau continental sur des fonds inférieurs à 200m. Son habitat proche des côtes le soumet donc à de nombreuses pressions anthropiques. (Gnone et al. 2011)

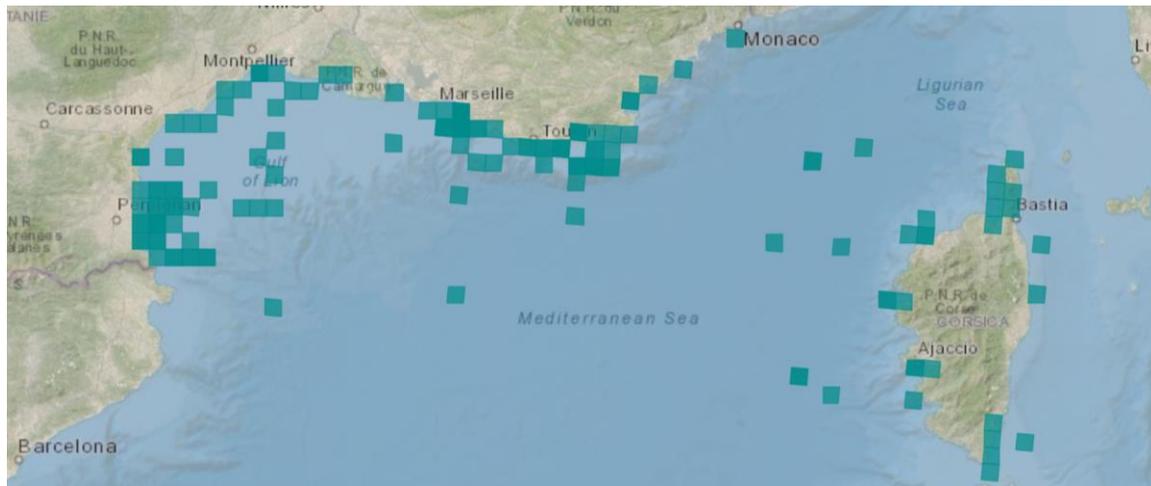


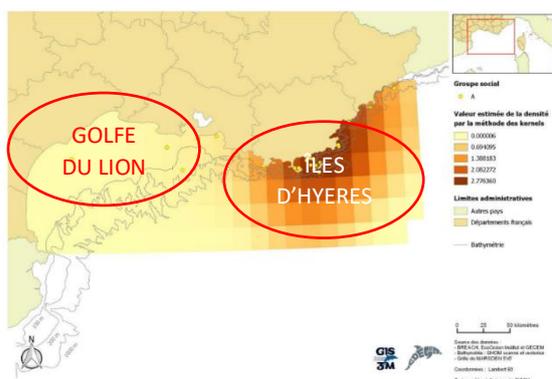
Figure 2 : Répartition des populations de grand dauphin sur les côtes méditerranéennes françaises, d'après l'INPN (Site de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel 2017)

C'est une espèce adaptable et opportuniste, capable de résider dans un habitat en permanence, et de l'exploiter en toutes saisons. Quelques déplacements de grands dauphins sur plusieurs centaines de km, entre la Corse et la Provence, sont toutefois à noter. (Fiche d'identification du Grand Dauphin ou Tursiops, site internet du Groupe de REcherche sur les Cétacés 2009)

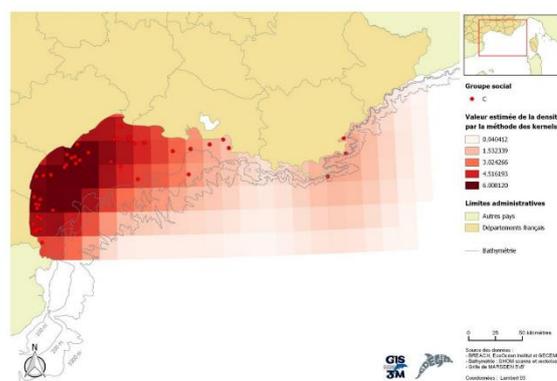
Population : chiffres et tendances

Le GECEM (Groupement d'Etude des Cétacés de Méditerranée), aujourd'hui fusionné avec d'autres associations sous le nom de MIRACETI, a constitué un catalogue de photo-identification du grand dauphin qui compte aujourd'hui près de 500 individus identifiés en régions Provence-Camargue, et 300 en Corse.

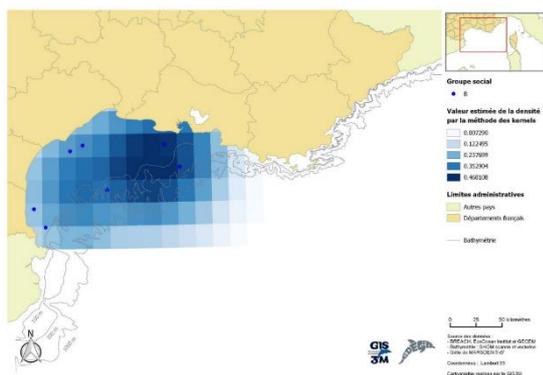
Plusieurs groupes sociaux d'individus résidents ont été mis en évidence en mer Méditerranée française, dont un fréquente préférentiellement la Provence, trois fréquentent le Golfe du Lion et au moins un fréquente la Corse. (Projet GDEGeM entre 2013 et 2015, (Projet GDEGeM, Hélène Labach, Olivier Gimenez et Maxime Barbier 2016)



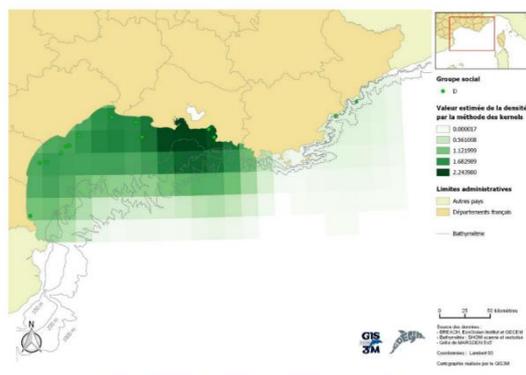
Carte 6. Représentation du domaine d'utilisation du groupe A estimé par noyau



Carte 8. Représentation du domaine d'utilisation du groupe C estimé par noyau



Carte 7. Représentation du domaine d'utilisation du groupe B estimé par noyau



Carte 9. Représentation du domaine d'utilisation du groupe D estimé par noyau

Figures 3 à 6 : Source : PROJET GDEGeM, Gis3M, 2016

Une étude réalisée au Nord-Ouest de la Corse décrit les habitats favorables au Grand Dauphin comme incluant : un talus continental large, une profondeur d'eau moyenne de 50mètres, et la proximité de canyons. Cette même étude rapporte que, en hiver, l'abondance des grands dauphins est la même qu'en été. Cependant, les groupes diffèrent en hiver par l'absence de nouveaux nés, et leur proximité des côtes, plus importante qu'en saison estivale.

La dynamique de population, la localisation des zones vitales, et la nature des menaces et leurs impacts pour les populations restent des domaines dont les connaissances sont lacunaires à ce jour. (Projet GDEGeM, Hélène Labach, Olivier Gimenez et Maxime Barbier 2016)

Alimentation, chasse, compétition avec les pêcheurs

Son régime alimentaire est constitué de poissons (merlu, muges, mullets), crevette, seiches, calmars. En captivité, il mange 5 à 8 kg de maquereaux et harengs par jour. C'est donc un concurrent direct pour les pêcheurs. Les menaces principales pour le grand dauphin sont la surpêche de ses proies, les captures accidentelles dans les engins de pêche, et la compétition avec les pêcheurs qui leur attire les foudres de ces derniers.

Reeves & Notarbartolo di Sciara (2006) estime qu'une baisse d'au moins 30% de l'effectif des Grands Dauphins dans l'ensemble de la Méditerranée a eu lieu au cours des 60 dernières années du fait de la dégradation, de la perte et de la fragmentation de l'habitat, ainsi que de la mortalité intentionnelle ou accidentelle due aux pêcheries. (Projet GDEGeM, Hélène Labach, Olivier Gimenez et Maxime Barbier 2016)

Ces menaces ont conduit l'UICN à classer la sous population de Grand Dauphin de méditerranée comme espèce vulnérable, qui pourrait donc passer dans la catégorie « en danger » dans un avenir proche si les facteurs de menace qui pèse sur elle persistent.

Reproduction

La gestation dure environ 12mois, avec des accouplements au printemps, et une femelle donne naissance à un petit tous les 2 à 6 ans. L'allaitement dure plus d'un an, entre 12 et 18 mois. Les jeunes restent avec leur mère plusieurs années.

La maturité sexuelle est atteinte entre 5 et 10 ans pour les femelles, entre 10 et 13 ans pour les mâles.

Pollution

Situé en haut de la chaîne alimentaire et vivant près des côtes, le Grand Dauphin est également soumis à la menace de la pollution, véhiculée par les eaux venant de zones urbanisées et industrialisées. Il est de ce fait exposé à une accumulation de fortes doses de contaminants, comme les organochlorés et les métaux lourds (Tanabe et al., 1983).

Effets du bruit

Le son se propage 4 fois plus vite dans l'eau que dans l'air.

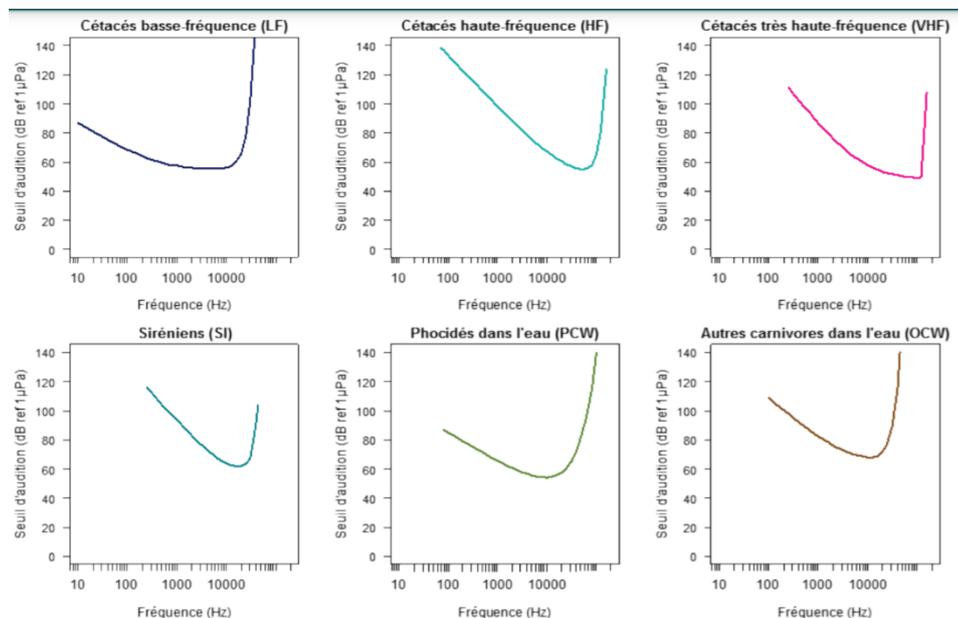


Figure 7 : source : guide de préconisations élaboré par le ministère de la transition écologique et solidaire en 2020

Figure 22 : Audiogrammes médians pour les Cétacés basse fréquence, les Cétacés haute fréquence, les Cétacés très haute fréquence, les Siréniens, les Pinnipèdes dans l'eau et les autres Carnivores dans l'eau (d'après [136] et [168]).

On estime que 30% du cortex des cétacés est voué à l'acoustique, contre 5% chez l'Homme. Les Odontocètes, dont font partie les grands dauphins, émettent et perçoivent de préférence des sons de haute fréquence. Le grand dauphin utilise principalement des sifflements de 1 à 4 kHz qui ont une propagation diffuse, et des vocalisations, pour communiquer, ainsi que des clics de haute fréquence (110 à 130 kHz), au nombre de 30 à 800 par seconde (ultrasons) pour l'écholocation (Tyack & Clark, 2000). Les sons sont produits par des sacs aériens situés à la base de l'évent. Ils vibrent et produisent des clics ou des sifflements, selon l'ouverture et le débit. Les ondes acoustiques ainsi produites traversent l'os frontal et pénètrent dans un organe composé de sacs de graisse contrôlés par des muscles qui peuvent étirer ou comprimer ces sacs et ainsi modifier leur conformation : le melon. Cet organe est totalement déformable, comparable à une lentille acoustique permettant d'orienter les sons émis. Puis, les signaux sonores sont reçus par les os des mandibules dont les articulations sont en contact avec l'oreille interne qui les transmet au cortex auditif où ils sont analysés.

Le ministère de la transition écologique et solidaire a élaboré, l'année passée, un guide de préconisations pour limiter les impacts des émissions acoustiques en mer. (Ministère de la transition écologique et solidaire, 2020). Les capacités auditives de différents groupes de cétacés y sont répertoriées, chacune caractérisée par une plage d'audition (en Hz) et un seuil minimum d'audition (en dB re 1 µPa). Notons que, d'une manière générale, les grands dauphins perçoivent les sons sous-marins compris entre 10 Hz et 100 kHz, avec des seuils de sensibilité minimum proches de 60 dB re 1 µPa en moyenne.

Le bruit engendré par les activités humaines, comme les activités militaires ou le trafic maritime, constitue une nuisance sonore non négligeable chez une espèce qui utilise l'écholocation pour « voir » l'environnement autour d'elle, chasser, et communiquer. En effet, cette nuisance pourrait entraîner des

dommages physiques aux organes impliqués, masquer des sons importants pour la survie de l'animal, entraîner des changements comportementaux, et être source d'une augmentation de la mortalité. (Expert workshop on underwater noise, London 2014). Cette dépendance vitale vis-à-vis de l'information acoustique font des cétacés en général le bio indicateur le mieux indiqué des effets de la pollution sonore marine.

Type of vessel	Frequency (kHz)	Source level (dB re 1µPa)	Reference
650cc Jetski	0.8-50.0	75-125	Evans and Nice 1996
Rigid inflatable	6.3	152	Malme <i>et al.</i> 1989
7m outboard motor boat	0.63	156	Malme <i>et al.</i> 1989
Fishing boat	0.25-1.0	151	Greene 1985
Fishing trawler	0.1	158	Malme <i>et al.</i> 1989
Tug pulling empty barge	0.037	166	Buck and Chalfant 1972;
	1.0	164	Miles <i>et al.</i> 1989
	5.0	145	
Tug pulling loaded barge	1.0	170	Miles <i>et al.</i> 1989
	5.0	161	
34m (twin diesel engine) workboat	0.63	159	Malme <i>et al.</i> 1989
Tanker (135m)	0.43	169	Buck and Chalfant 1972;
Tanker (179m)	0.06	180	Ross 1976;
Supertanker (266m)	0.008	187	Thiele and Ødengaard
Supertanker (340m)	0.007	190	1983
Supertanker (337m)	0.007	185	
Containership (219m)	0.033	181	Buck and Chalfant 1972;
Containership (274m)	0.008	181	Ross 1976;
Freighter (135m)	0.041	172	Thiele and Ødengaard
			1983

Figure 8 : Tableau de fréquences produites par différents bateaux et leurs niveaux sonores.

Source : Rapport final de LIFELINDA, Mesures de pollution sonore sous-marines, 2003-2007

Impact du trafic maritime : Impacts sur les comportements et sur les dépenses énergétiques

Le trafic maritime en mer Méditerranée a connu une augmentation drastique de 4,5% par an entre 1998 et 2002. (Rabaute 2004). Les gros navires (tankers, porte-conteneurs, cargos...) sont globalement en

diminution de fréquentation, alors que les navires types Rouliers, et Passagers, en accord avec l'essor touristique, augmentent. Le trafic global de Méditerranée est marqué par une forte saisonnalité :

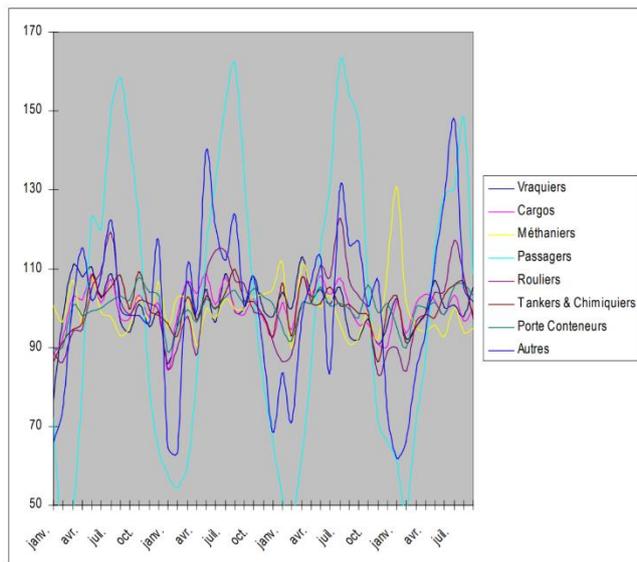


Figure 2. Saisonnalité du trafic suivant la catégorie de navire (en indice-Base 100 = moyenne mensuelle de chaque année pour chaque catégorie)

Figure 9 : Source : Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer

Direction des Affaires Maritimes et des Gens de Mer, rapport de 2004

Le trafic maritime en général (plaisance, pêche, écotourisme associé au whale-whatching), en plein essor, sont des activités qui exposent le Grand dauphin à de nombreuses perturbations, comme des collisions, ou encore simplement du dérangement, qui peut entraîner le déplacement des populations dans des

zones plus tranquilles, mais moins favorables en matière de reproduction, d'alimentation, de repos. Ce dérangement peut altérer leur comportement, modifier les interactions sociales au sein des groupes, augmenter les dépenses énergétiques...

Etudes d'impacts spécifiques de l'activité de whale watching

Le dérangement anthropique est définie par Frid et Dill (2001) comme toute modification comportementale de la part de l'animal, par rapport à un pattern comportemental ayant lieu en l'absence de toute influence humaine. (Frid, Dill 2001). Dans le cadre de cette thèse, nous nous plaçons d'un point de vue écologique, avec un regard le plus neutre possible, en considérant le dérangement comme une perturbation d'origine anthropique, qu'elle soit négative ou positive. On peut donc définir le dérangement comme une interaction humain-animal entraînant une **modification du comportement** de la faune, en particulier sur ses comportements essentiels (nourrissage, migration, reproduction, mise-bas, élevage des petits, hibernation, recherche de partenaires sexuels...).

Dans l'activité de whale-watching, on peut imaginer que les sources de dérangement reposent à la fois dans le niveau de bruit engendré par les bateaux, ainsi que dans la simple présence de ceux-ci, qui peuvent être perçu par les animaux comme des prédateurs. (Frid, Dill 2001). Les animaux prennent alors des décisions, en fonction du risque perçu (prédateur) et non pas du risque réel (bateau de whale watching inoffensif). Ce phénomène de perception de prédation est repris par Christiansen et Lusseau (2013). Notamment, ils expliquent que les cétacés dérangés par l'activité de whale-watching répondent par l'interruption de leur activité et par un évitement vertical des bateaux (augmentation des profondeurs et des durées de sondes), ou horizontal (augmentation de la vitesse de nage, augmentation de la fréquence de changements brusques de direction) (Christiansen, Lusseau 2013).

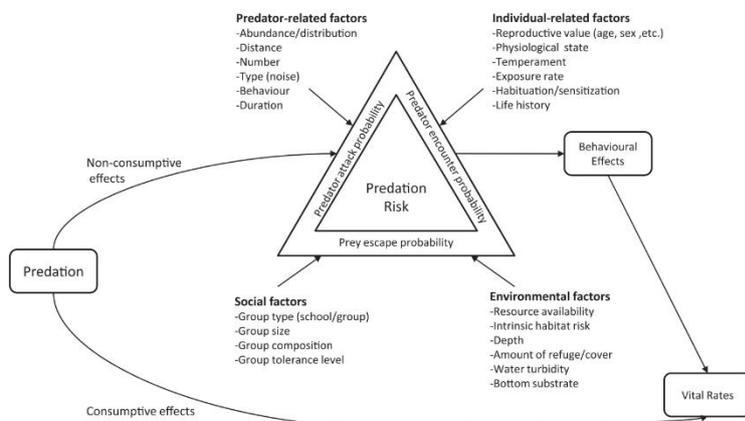


Figure 10 ci-contre : Les effets directs et indirects de la prédation sur les cétacés. Le risque de prédation perçu par les animaux est influencé par de nombreux facteurs. Ce risque de prédation est construit sur 3 aspects : la probabilité de rencontre avec un prédateur, la probabilité qu'une fois le prédateur rencontré, celui-ci attaque, et la probabilité que l'individu puisse fuir le prédateur en cas d'attaque. **Source** : (Christiansen, Lusseau 2013)

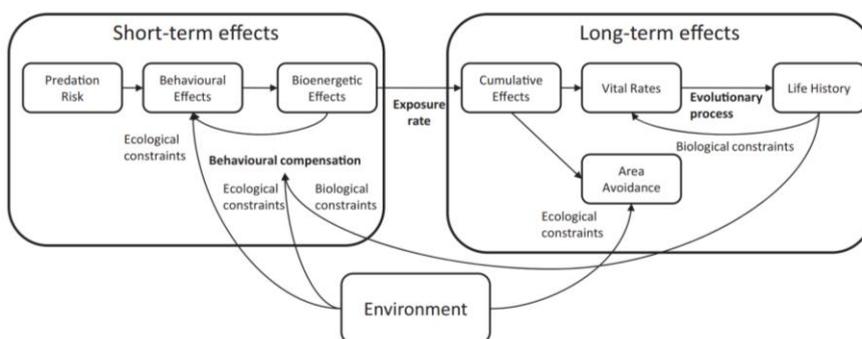


Figure 11 : Diagramme liant les effets du whale-watching à court terme à ceux à long terme. Ces effets ainsi que la possibilité de les compenser, sont fonction de l'histoire de l'espèce et de l'environnement dans lequel l'individu évolue. **Source** : "Understanding the ecological effects of whale-watching on cetaceans" (Christiansen, Lusseau 2013)

De nombreuses études rapportent ainsi des modifications comportementales en présence de navires d'observations (Lusseau 2003). Certaines d'entre elles rapportent des diminutions voir une absence des budgets-temps consacrés à la socialisation ou à la chasse, qui pourraient, sur le long terme, affecter les apports énergétiques des animaux et donc leurs conditions corporelles, (Clarkson et al. 2020) et finalement impacter les dynamiques de population à travers la diminution de leurs taux de survie et de reproduction (Manlik et al. 2016). En effet, d'après (King et al. 2015), les indicateurs populationnels les plus sensibles aux changements de disponibilité des ressources sont la survie des jeunes et la fertilité des femelles matures. Une étude intéressante sur l'impact du risque de prédation a été effectuée sur des élans du Parc du Yellowstone en 2007. Celle-ci a montré que la présence d'un prédateur (le loup) et les comportements anti-prédation ainsi générés par les élans, étaient corrélés à une baisse de progestéronémie chez les femelles élans ainsi qu'à une baisse des naissances l'année suivante. Les comportements anti-prédations pourraient ainsi affecter la physiologie de la reproduction des mammifères, et ainsi la démographie de l'espèce. (Creel et al. 2007)

Mayol et Beaubrun dressent, en 2005, un état des lieux et des perspectives du whale watching en Méditerranée, et soulignent l'augmentation exponentielle du nombre d'opérateurs dans ce domaine.

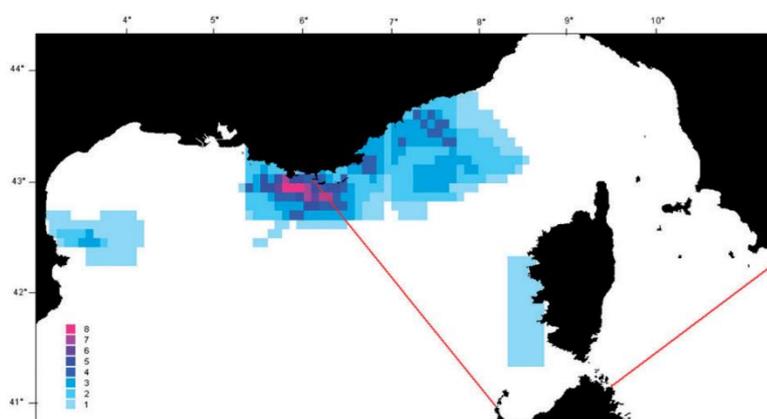


Figure 12 : Source : Le whale-watching en Méditerranée française : état des lieux et recommandations, (P. Mayol 2005)

Figure 2. Zones d'activité des opérateurs de *whale-watching* en Méditerranée française. Les couleurs vont du bleu au rouge dans le sens croissant du nombre d'opérateurs (de 1 à 8) qui exercent dans chaque quadrilatère de 5' de latitude sur 5' de longitude.

Ils rapportent également l'exemple de plusieurs études sur le grand dauphin, comme celle de Bunbury (Ouest australien) (Arcangeli, Crosti 2009). Dans cette étude, un changement d'activité de la part des animaux est observé dans 80% des cas, dans les minutes qui suivent l'arrivée d'un bateau de whale watching. Il est également noté une diminution des fréquences d'alimentation et de repos, et une augmentation de l'activité de voyage. La reprise de leur activité initiale n'est pas systématique, après le départ du bateau. D'autres études au contraire, comme celle de New et al en 2013 rapporte l'absence de corrélation entre les modifications comportementales engendrées par le dérangement et l'état de santé du Grand Dauphin des côtes écossaises (New et al. 2013). Egalement, dans une étude récente réalisée dans le détroit de Gibraltar, (Tenan et al. 2020) une corrélation négative modérée entre l'abondance du trafic maritime et la survie annuelle d'une population de *Tursiops truncatus* a été détectée, tandis que l'effet des bateaux de whale watching sur cette survie était faible. Enfin, Scarpaci & al. (2000) (cité par (P. Mayol 2005)) observent une modification du comportement acoustique par augmentation de leurs vocalisations à l'approche de bateaux, susceptible de signer une perturbation dans la cohésion sociale du groupe.

Un code de bonne conduite a été mis en place pour tenter de contrôler ces perturbations et limiter le dérangement des animaux, avec une limitation des temps d'observation, des distances et des vitesses d'approche. (ACCOBAMS, 2010)

Annexe 4 :

Deux cas considérant des niveaux différents d'exposition à l'activité de whale watching pour des individus appartenant à un groupe de Grands Dauphins (*Tursiops truncatus*) en mer Méditerranée française :

Cas 1 : Un dauphin femelle de 18 ans est accompagnée de son delphineau de 2 ans, au sein d'un groupe de 10 autres individus. La majorité du temps, ils fréquentent les eaux continentales du secteur des îles d'Hyères. Nous sommes début août, cette femelle nage avec 6 de ses congénères et son petit. Un sous-groupe du reste de la bande (4 individus) nage à moins de 1km de là, dans la même direction. C'est le matin, et le groupe est accompagné en permanence par 1 bateau d'opérateurs de whale watching, avec des pics à 2 bateaux durant 1h dans la matinée et 1h dans l'après midi. La moitié des navires sont motorisés, et tous restent à plus de 50m du groupe. Ils avancent à une vitesse de 5 nœuds maximum, et sont positionnés parallèlement à la trajectoire des cétacés. Aux pics d'observations, le bruit ambiant est de 100dB re 1 uPa @ 1m RMS (niveau moyen en décibels qui a pour référence 10⁻⁶ Pascal, mesuré à 1m de la source). La femelle n'a pas présenté de comportement actif en surface particulier envers les navires, mais sa nage a été plus erratique durant la journée, et on estime qu'elle a dépensé 2% d'énergie en plus par heure dans les périodes durant lesquelles les navires sont présents que quand les navires sont absents. Elle est restée avec le petit groupe de 6 individus tout le jour, et les deux parties du groupe initial se sont réunies à la nuit tombée.

Cas 2 : Un dauphin femelle de 18 ans est accompagnée de son delphineau de 2 ans, au sein d'un groupe de 10 autres individus. La majorité du temps, ils fréquentent les eaux continentales du secteur des îles d'Hyères. Nous sommes début août, cette femelle nage avec 6 de ses compagnons et son petit. Un sous-groupe du reste de la bande (4 individus) nage à moins de 1km de là, dans la même direction. C'est le matin, et le groupe est accompagné en permanence par environ 3 bateaux d'opérateurs de whale watching avec des pics à 5 bateaux durant 1h dans la matinée et 1h dans l'après-midi. Les trois-quarts des navires sont motorisés. La majorité reste à environ 10 mètres du groupe, mais 20% d'entre eux s'approchent à moins de 10m et s'arrêtent au milieu du passage des dauphins pour avoir une vue plus proche. Aux pics d'observations, le bruit ambiant est de 140dB re 1 uPa @ 1m RMS (niveau moyen en décibels qui a pour référence 10⁻⁶ Pascal, mesuré à 1m de la source). Le sous-groupe de 6 individus s'est séparé en 2 sous-groupes de 2*3 individus et la femelle a été brièvement séparée de son petit à une occasion, quand ils devaient changer de direction pour éviter un bateau qui arrivait frontalement. Aux pics d'observation, la femelle accompagnée de son petit a présenté un comportement de fuite, avec des sondes plus fréquentes et plus longues, et s'est éloignée du reste du groupe. On estime que la femelle a dépensé 5% d'énergie en plus par heure durant le temps de présence de bateaux par rapport à quand les bateaux sont absents. Elle est restée avec le sous-groupe de 6 individus la majorité de la journée, et les deux parties du groupe initial se sont réunies à la nuit tombée.

Annexe 5 : Grille de scoring fournie aux experts et description des domaines d'impacts associée.

<p>Domaine 1 : Alimentation</p> <p>Considération d'un impact potentiel du scénario sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> Recherche de nourriture Ingestion Digestion Disponibilité, qualité et variété des proies Besoins énergétiques 	<p style="text-align: right;">Facteurs relatifs à la survie (potentiellement observables, mesurables)</p> <p>Domaine 2 : Environnement</p> <p>Considération d'un impact potentiel du scénario sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> Toxiques dans l'eau Bruit Perturbation spatiale Température Evènements imprévisibles Menace de prédation <p>Autre dérangement qui empêche l'utilisation optimale de l'habitat</p>
<p>Experience affective (non observables, suggérés par les domaines 1 à 4)</p>	
<p>Domaine 5 : Votre jugement concernant l'expérience pour l'animal d'un état affectif négatif associés aux domaines 1 à 4, Considérant :</p> <ul style="list-style-type: none"> La douleur, d'origine interne ou externe La faim Le malaise L'angoisse, l'anxiété, la peur, la panique L'inconfort La fatigue, la léthargie Perte sociale, deuil Confusion Colère, irritation Nausée, maladie Souffle court, désorientation Autres états mental spécifiques aux cétacés, associés notamment à une flottabilité compromise... 	
<p>Domaine 3 : Santé</p> <p>Considération d'un impact potentiel du scénario sur l'apparition de :</p> <ul style="list-style-type: none"> Maladie Blessure interne Blessure externe Déficience fonctionnelle (navigation...) Parasitisme Respiration compromise <p>Déshydratation</p> <p>Perte d'état, affaiblissement</p> <p>Perte de la fonction sensorielle</p>	<p style="text-align: right;">Facteurs relatifs à la situation (potentiellement observables, mesurables)</p> <p>Domaine 4 : Comportement</p> <p>Considération d'un impact potentiel du scénario sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> Perte d'un partenaire social clef (mère-petit...) Séparation des congénères Limitation de la communication ou des interactions avec les congénères Apprentissage compromis Sommeil/repos perturbé Réponse aversive à une situation Altération des budgets temps (variations des temps réservés aux activités sociales ou d'alimentation, de jeux, d'exploration, de soins aux jeunes...)
<p>Domaine 6 : Population</p> <p>Considération d'un impact potentiel à moyen-long terme du scénario sur l'apparition de :</p> <ul style="list-style-type: none"> Diminution du taux de survie de l'espèce Diminution de la survie des nouveau-nés ou des juvéniles Apparition d'un effet maximal du dérangement sur le jeune Diminution de la fertilité/fécondité d'une femelle Diminution des effectifs Modification de la distribution (occupation de l'espace) 	

		Domaine 1 : Alimentation	Domaine 2 : Environnement	Domaine 3 : Santé	Domaine 4 : Comportement	Domaine 5 : État affectif
20 QUESTIONS		Scorer l'impact maximum de cet évènement (sur 10)	Scorer l'impact maximum de cet évènement (sur 10)	Scorer l'impact maximum de cet évènement (sur 10)	Scorer l'impact maximum de cet évènement (sur 10)	Scorer l'impact maximum de cet évènement (sur 10)
T. truncatus résidents						
<i>Exemple</i>		5	5	5	5	5
Cas 1	Dérangement lié au ww					
Case 2	Dérangement lié au ww					

Domaine 6 : Echelle populationnelle	Votre confiance en vos scoring des domaines 1 à 4 ?	Votre confiance en votre scoring du domaine 5 ?	Votre confiance en votre scoring du domaine 6 ?	Durée de l'incidence de cet évènement	Durée de l'incidence de cet évènement
Scorer l'impact maximum de cet évènement (sur 10)	Low, Medium, High	Low, Medium, High	Low, Medium, High	Combien de temps ce niveau de nuisance du Domaine 5 persiste t-il après l'évènement ?	Pour combien de temps persiste t-il un quelconque impact (Domaines 1 à 5) après cet évènement ?
	5 <i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>medium</i>	<i>weeks</i>	<i>more than 5 years</i>

Fréquence de cet évènement	Durée de confrontation à un léger impact	Durée de confrontation à impact modéré	Durée de confrontation à impact sévère
A quelle fréquence de tels évènements ont lieu au cours des XX années de vie de l'animal ? On suppose que dans le cas 1, l'animal ne sera exposé qu'au cas 1 dans sa vie et celui du cas 2, qu'aux circonstances du cas 2.	Pendant quel pourcentage de sa vie l'animal subit-il des nuisances légères, dues aux perturbations de trafic (Scores 2-4 du Domaine 5) La somme de P+Q+R+S doit être de 100%	Pendant quel pourcentage de sa vie l'animal subit-il des nuisances modérées, dues aux perturbations de trafic (Scores 5-7 du Domaine 5) La somme de P+Q+R+S doit être de 100%	Pendant quel pourcentage de sa vie l'animal subit-il des nuisances sévères, dues aux perturbations de trafic (Scores 8-10 du Domaine 5) La somme de P+Q+R+S doit être de 100%
<i>never</i>	33	40	10

Durée de confrontation : sans impact	Survie des jeunes	Fertilité des femelles	Taux de survie	Représentabilité
<i>Pendant quel pourcentage de sa vie l'animal n'est pas soumis à ces nuisances ? La somme de P+Q+R+S doit être de 100%</i>	Combien de jours d'exposition à ce dérangement faut-il, par an, pour voir apparaître une diminution du taux de survie des jeunes (3 premières années) ?	Combien de jours d'exposition à ce dérangement faut-il, par an, pour voir apparaître une diminution des taux de fertilité/fécondité des femelles matures ?	Quel serait la variabilité annuelle des taux de survie d'individus "témoins", non exposés à un dérangement ?	Quelle est la proportion d'individus confrontés au whale watching et à chacun de ces niveaux de dérangement, parmi la population méditerranéenne française totale ?
17	100	100	±50	<i>Exemple : Sur les 100% de la population globale, 70% sont concernés par ce type de dérangement, dont 40% à une intensité similaire au cas 1 et 30% à une intensité similaire au cas 2 (écrire 40% et 30% dans les lignes</i>
100			±10	
100			±10	

Evaluation de l'outil WATWC comme indicateur du dérangement engendré par le whale-watching sur des cétacés de méditerranée

Le présent formulaire vient compléter la démarche d'évaluation de la méthodologie WATWC, dans le cadre de ma thèse sur la caractérisation et l'évaluation du dérangement des cétacés en mer Méditerranée.

Les scénarios choisis

Pertinence des choix d'espèce, de facteur de dérangement, de mises en situation...

Les scénarios vous ont-ils semblé réalistes et en accord avec la situation en mer Méditerranée ?

1	2	3	4	5		
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Les scénarios vous ont-ils semblé adaptés à une évaluation du whale-watching comme facteur de dérangement à l'échelle individuelle ? *

1	2	3	4	5		
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Les scénarios vous ont-ils semblé adaptés à une évaluation du whale watching comme facteur de dérangement à l'échelle populationnelle ? *

1	2	3	4	5		
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Si non, pensez-vous que la réalisation de nombreux scénarios de ce type, considérant chacun de nombreux individus différents (mâles, femelles, jeunes, matures...) permettraient une évaluation du whale watching comme facteur de dérangement à l'échelle populationnelle ? *

1	2	3	4	5		
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Remarques et conseils éventuels sur les scénarios

La grille Excel

Pertinence des domaines considérés, facilité d'utilisation, pertinence des questions

La grille d'évaluation des impacts du facteur de dérangement choisi était-elle facile à remplir ? *

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Les questions vous ont-elles parues pertinentes pour l'évaluation du whale watching comme facteur de dérangement à l'échelle individuelle

? *

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Les questions vous ont-elles parues pertinentes pour l'évaluation du whale watching comme facteur de dérangement à l'échelle populationnelle ? *

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Remarques et conseils éventuels sur la grille Excel

La documentation supplémentaire

Utilité, qualité et pertinence des informations fournies

La documentation supplémentaire fournie vous a-t-elle été utile ? *

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Cette documentation a-t-elle été suffisante pour vous permettre de remplir la grille ? *

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Cette documentation vous a-t-elle semblé pertinente ? *

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Remarques et conseils éventuels sur la documentation supplémentaire fournie

Remarques générales

Impression globale de la méthodologie WATWC et de son éventuelle application à l'évaluation du dérangement des cétacés de méditerranée

Le dire d'expert vous semble-t-il approprié pour évaluer le dérangement des cétacés de méditerranée à l'échelle individuelle ? *

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Le dire d'expert vous semble-t-il approprié pour évaluer le dérangement des cétacés de méditerranée à l'échelle populationnelle ? *

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Remarques générales

AGREMENT SCIENTIFIQUE

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

Je soussignée, Annabelle MEYNADIER, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directrice de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **SIMON-OUVRARD Roxane** intitulée « **CARACTERISATION DU DERANGEMENT DES CETACES EN MER MEDITERRANEE FRANCAISE ET METHODES D'EVALUATION DE CE DERANGEMENT, DE L'ECHELLE INDIVIDUELLE A L'ECHELLE DES POPULATIONS** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

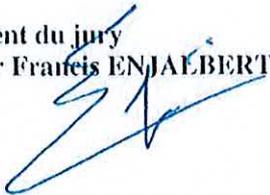
Fait à Toulouse, le 03/11/2021
Enseignant-chercheur de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Professeure Annabelle MEYNADIER



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




Vu :
Le Président du jury
Professeur François ENJALBERT



Vu et autorisation de l'impression :
Le Président de l'Université Paul
Sabatier
Monsieur Jean-Marc BROTO
Par délégation, le Doyen de la faculté de
Médecine de Toulouse-Rangueil
Monsieur Elie SERRANO



Mme SIMON-OUVRARD Roxane
a été admis(e) sur concours en : 2016
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le: 06/07/2020
a validé son année d'approfondissement le: 15/07/2021
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.



CARACTERISATION DU DERANGEMENT DES CETACES EN MER MEDITERRANEE FRANCAISE ET METHODES D'EVALUATION DE CE DERANGEMENT, DE L'ECHELLE INDIVIDUELLE A L'ECHELLE DES POPULATIONS

Les cétacés de la mer méditerranée sont soumis à de nombreuses activités anthropiques susceptibles de les déranger. Le dérangement anthropique est défini comme toute interaction humain-animal susceptible de modifier le comportement de ce dernier. Ces modifications peuvent avoir des impacts sur la physiologie des individus, par le biais d'un stress aigu à chronique. L'impact de nos activités sur les cétacés, à l'échelle populationnelle, est un sujet très discuté aujourd'hui dans la communauté scientifique. Il est en effet très difficile de monitorer ces animaux dans la nature. A l'échelle individuelle, il est possible de monitorer l'impact du dérangement grâce à des observations comportementales, ou en réalisant des échantillons afin de mesurer des facteurs de stress, ou des hormones. Pour le moment, les quelques outils proposés pour mesurer l'impact du dérangement à l'échelle populationnelle sont des modélisations. De nos jours, le manque de données concernant les espèces présentes en mer Méditerranée ne nous permettent pas de donner une estimation correcte des conséquences du dérangement à l'échelle des populations. Des indicateurs de bien-être de ces animaux et d'impact du dérangement sont en cours d'élaboration. En l'absence de résultats actuels à ce sujet, les sollicitations d'experts peuvent constituer une bonne méthode de prédiction pour orienter les choix politiques afin de protéger ces espèces au mieux. Une telle sollicitation a été effectuée au cours de cette thèse, qui ne nous permet pas de conclure à ce jour en raison d'un échantillon trop faible de réponses.

Mots-clés : Cétacés ; Méditerranée ; Stress ; Perturbations ; Whale-watching ; Ecologie ; Ethologie

CHARACTERIZATION OF HUMAN DISTURBANCES ON CETACEANS IN THE FRENCH MEDITERRANEAN SEA AND METHODS OF EVALUATION, FROM THE INDIVIDUAL'S SCALE TO THE POPULATION'S SCALE

The cetaceans of French Mediterranean Sea undergo numerous anthropic activities that can cause disturbances. Anthropic disturbance is defined as any human-animal interaction that can modify the behaviour of an animal. These modifications can have an individual impact on physiology, by causing acute and chronic stress. Many theories are currently in reflexion about the consequences of our activities on cetaceans at the population's scale. It is very difficult to monitor these animals in the wild. At an individual scale, it is possible to monitor the impact of a disturbance with a behavioural observation, or by making samples in order to measure some stress factors or hormones. For now, the only concrete methods to monitor the impact of a disturbance on a population are with mathematical models. Nowadays, the lack of data concerning the species that are present in Mediterranean Sea doesn't allow us to monitor the population consequences of disturbances. Indicators about well-being and the impact of disturbances are currently being tested. Expert solicitation might be a good way to advise political choices in order to at best protect these species. We tried to make such an elicitation in this thesis, unfortunately we currently didn't receive enough answers in order to conclude.

Key words: Cetaceans; Mediterranean Sea; Stress; Disturbances; Whale-watching; Ecology; Ethology

CARACTERISATION DU DERANGEMENT DES CETACES EN MER MEDITERRANEE FRANCAISE ET METHODES D'EVALUATION DE CE DERANGEMENT, DE L'ECHELLE INDIVIDUELLE A L'ECHELLE DES POPULATIONS

Les cétacés de la mer méditerranée sont soumis à de nombreuses activités anthropiques susceptibles de les déranger. Le dérangement anthropique est défini comme toute interaction humain-animal susceptible de modifier le comportement de ce dernier. Ces modifications peuvent avoir des impacts sur la physiologie des individus, par le biais d'un stress aigu à chronique. L'impact de nos activités sur les cétacés, à l'échelle populationnelle, est un sujet très discuté aujourd'hui dans la communauté scientifique. Il est en effet très difficile de monitorer ces animaux dans la nature. A l'échelle individuelle, il est possible de monitorer l'impact du dérangement grâce à des observations comportementales, ou en réalisant des échantillons afin de mesurer des facteurs de stress, ou des hormones. Pour le moment, les quelques outils proposés pour mesurer l'impact du dérangement à l'échelle populationnelle sont des modélisations. De nos jours, le manque de données concernant les espèces présentes en mer Méditerranée ne nous permettent pas de donner une estimation correcte des conséquences du dérangement à l'échelle des populations. Des indicateurs de bien-être de ces animaux et d'impact du dérangement sont en cours d'élaboration. En l'absence de résultats actuels à ce sujet, les sollicitations d'experts peuvent constituer une bonne méthode de prédiction pour orienter les choix politiques afin de protéger ces espèces au mieux. Une telle sollicitation a été effectuée au cours de cette thèse, qui ne nous permet pas de conclure à ce jour en raison d'un échantillon trop faible de réponses.

Mots-clés : Cétacés ; Méditerranée ; Stress ; Perturbations ; Whale-watching ; Ecologie ; Ethologie

CHARACTERIZATION OF HUMAN DISTURBANCES ON CETACEANS IN THE FRENCH MEDITERRANEAN SEA AND METHODS OF EVALUATION, FROM THE INDIVIDUAL'S SCALE TO THE POPULATION'S SCALE

The cetaceans of French Mediterranean Sea undergo numerous anthropic activities that can cause disturbances. Anthropic disturbance is defined as any human-animal interaction that can modify the behaviour of an animal. These modifications can have an individual impact on physiology, by causing acute and chronic stress. Many theories are currently in reflexion about the consequences of our activities on cetaceans at the population's scale. It is very difficult to monitor these animals in the wild. At an individual scale, it is possible to monitor the impact of a disturbance with a behavioural observation, or by making samples in order to measure some stress factors or hormones. For now, the only concrete methods to monitor the impact of a disturbance on a population are with mathematical models. Nowadays, the lack of data concerning the species that are present in Mediterranean Sea doesn't allow us to monitor the population consequences of disturbances. Indicators about well-being and the impact of disturbances are currently being tested. Expert solicitation might be a good way to advise political choices in order to at best protect these species. We tried to make such an elicitation in this thesis, unfortunately we currently didn't receive enough answers in order to conclude.

Key words: Cetaceans; Mediterranean Sea; Stress; Disturbances; Whale-watching; Ecology; Ethology