Ministère
de l'Environnement
et de la Lutte contre
les changements
climatiques
Québec

Direction de l'évaluation environnementale des projets hydriques et industriels

Le 8 janvier 2021

Madame Line Jobin
Coordonnatrice du secrétariat de la commission
Bureau d'audiences publiques sur l'environnement
140, Grande Allée Est, 6e étage, bureau 650
Québec (Québec) G1R 5N6

Objet : Audience publique : Projet de stabilisation des berges de la baie Saint-François par la Ville de Salaberry-de-Valleyfield
Demande d'information de la commission (DQ2)
(Dossier 3211-02-310)

Madame,

Veuillez trouver ci-dessous les réponses du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) pour les questions posées le 5 janvier 2021 par la commission du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement chargée de l'audience publique du projet en titre.

Question 1 – Concernant la qualité de l'eau de la baie Saint-François, l'étude d'impact indique « De façon générale, les trois stations affichent des concentrations similaires pour les différents paramètres mesurés. Les concentrations en métaux et métalloïdes sont faibles, à l'exception de l'aluminium et du mercure pour lesquels des dépassements sont observables. En effet, les concentrations en aluminium dépassent aux trois stations le critère pour la protection de la vie aquatique eau douce-exposition long terme du Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME). Pour le mercure, aux deux stations où des concentrations ont été détectées (ST1 et ST3), le critère générique de la qualité de l'eau du MDDELCC (aux fins de consommation) est dépassé. L'eau de surface de la baie Saint-François est basique et relativement pauvre en éléments nutritifs. Finalement, la turbidité est faible et conséquemment les concentrations en MES sont faibles » (PR3, p. 5-32 et 5-33).

...2

Édifice Marie-Guyart, 6e étage
675, boulevard René-Lévesque Est
Québec (Québec) G1R 5V7
Téléphone : 418 521-3933
Télécopieur : 418 644-8222
Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

• Quels seraient les impacts des concentrations d'aluminium et de mercure ainsi que la relative pauvreté de l'eau en nutriments sur la faune ichtyenne, notamment en phase d'exploitation du projet ?

Pour cette question, le MELCC vous réfère à la réponse à la question 4 que vous nous avez posée le 18 décembre dernier et pour laquelle nous vous avons répondu le 6 janvier 2021.

Cette réponse explique comment nos critères de qualité visent l'ensemble des organismes aquatiques, incluant la faune ichtyenne et pourquoi le MELCC n'appréhende aucun impact pour l'ensemble des organismes aquatiques en lien avec les concentrations d'aluminium, de mercure et de la pauvreté de l'eau.

Question 2 – L'initiateur a considéré les impacts du climat sonore uniquement en phase de construction du projet et seulement pour les récepteurs en milieu terrestre (PR3, p. 6-29 à 6-32).

• Quels seraient selon vous les impacts potentiels du climat sonore qui serait engendré par une hausse du trafic nautique sur la population de poissons présente dans la baie Saint-François ?

D'entrée de jeu, le MELCC tient à préciser qu'avec les informations qui ont été fournies jusqu'à présent par l'initiateur, il n'appréhende pas une hausse significative du trafic nautique dans la baie Saint-François à la suite de la réalisation du projet. Pour cette raison, cet élément n'a pas été considéré comme un enjeu jusqu'à maintenant. En conséquence, aucune expertise à ce sujet n'a été sollicitée par le MELCC dans l'analyse du dossier.

Nous pouvons cependant vous référer à un document de Transport Canada qui détaille la problématique des bruits sous-marins au Canada et qui explique comment ces bruits peuvent représenter une menace à la conservation des espèces marines. Vous trouverez le document en pièce jointe à la présente lettre. Peut-être que Transport Canada ou le ministère des Pêches et Océans Canada (MPO) possèdent d'autres informations pertinentes sur le sujet que nous ne connaissons pas.

Question 3 – L'initiateur indique : « La présence accrue de colonies de roseau commun sur les berges peut […] réduire la qualité de l'habitat pour la faune aquatique » (PR3, p. 6-18). Quel est le point du ministère à ce sujet ? Développez.

Selon notre connaissance, l'impact de l'envahissement des rives par le roseau commun sur la faune aquatique est très peu documenté, la littérature scientifique à ce sujet est très mince. À l'heure actuelle, il ne semble pas possible d'en tirer des conclusions claires. L'habitat du poisson n'étant pas notre expertise, il faudrait cependant valider cette réponse avec le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs ou le MPO.

Les impacts du roseau commun sur la biodiversité végétale sont mieux documentés. À cet effet nous pouvons développer davantage.

Dans les milieux humides ouverts et en rives, le roseau commun n'a pas de compétiteur. Il parvient à déloger toutes les espèces indigènes en formant des colonies monospécifiques particulièrement denses (jusqu'à 300 tiges par mètre carré) qui perdurent dans le temps. De plus, le roseau commun peut altérer la structure et la biochimie des milieux humides qui sont sévèrement envahis, entre autres, par l'accumulation de l'abondante biomasse produite par cette espèce.

Cependant, dans le cas de la Baie Saint-François, la présence de roseau commun est essentiellement en rive. Dans ces circonstances, le roseau commun ne peut s'étendre très loin dans le littoral car ce n'est pas une plante aquatique. Habituellement on ne retrouve pas de roseau commun lorsque la profondeur d'eau est au-delà d'un à deux mètres d'eau. Pour que des tiges soient présentent dans le littoral, il faut qu'elles fassent partie de colonies bien établies sur la rive. Les tiges dans le littoral sont moins vigoureuses et ont besoin pour survivre d'être approvisionnées (via les rhizomes) par le restant de la colonie.

Je vous prie de recevoir, Madame, mes meilleures salutations.

Original signé :

Guillaume Thibault
Porte-parole
Ministère de l'Environnement et de
la Lutte contre les changements climatiques

p. j.

TP 15348 F

Comprendre le bruit sous-marin anthropique

Préparé pour le
Centre de développement des transports
de
Transports Canada

Par
Véronique Nolet
Corporation de gestion Alliance verte

GREEN MARINE
ALLIANCE VERTE

Janvier 2017

TP 15348

Comprendre le bruit sous-marin anthropique

Par
Véronique Nolet
Corporation de gestion Alliance verte

GREEN MARINE
ALLIANCE VERTE

Janvier 2017

AVIS

Les opinions exprimées dans le présent rapport sont celles de l'auteure et ne reflètent pas nécessairement les opinions ou les politiques du Centre de développement des transports de Transports Canada.

Les renseignements qui figurent dans le présent rapport sont tirés de la documentation disponible au moment de la préparation du rapport en avril 2016. Certaines des données peuvent avoir changé depuis leur dernière consultation. Les renseignements qui se trouvent aux présentes visent à renseigner Transports Canada, dans un langage simple, des effets possibles des bruits sous-marins sur la vie marine. Un examen détaillé et une analyse de la vaste documentation à ce sujet vont au-delà de la portée du présent rapport. Le sommaire de renseignements demandé par Transports Canada nécessitait une approche prudente où des décisions ont dû être prises concernant les renseignements à inclure en fonction de ce principe.

La traduction a été effectuée par Transports Canada. L'Alliance verte n'est pas responsable des erreurs de traduction.

An English summary can be found before the table of contents.

Transports Canada Transport Canada

FORMULE DE DONNÉES POUR PUBLICATION

1. N° de la publication de Transports Canada	2. N° de l'étude	3. N° de catalogue	4. N° international normalisé du livre
TP 15348 F	B61T	T86-25/2017F-PDF	978-0-660-07454-2

5. Titre et sous-titre

Comprendre le bruit sous-marin anthropique

6. Date de la publication

January 2017

7. N° de document de l'organisme exécutant

--

8. Auteur(s)

Véronique Nolet

9. N° de dossier d'impression sur demande - Transports Canada

TC-1005845 F

10. Nom et adresse de l'organisme exécutant

Green Marine

25 rue du Marché-Champlain, #402

Québec (Québec) G1K 4H2

11. N° de dossier - TPSGC

--

12. N° de contrat - TPSGC ou Transports Canada

T8080-140589

13. Nom et adresse de l'organisme parrain

Centre de développement des transports (CDT)
Place de Ville, tour C
330, rue Sparks, 25e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0N5

14. Genre de publication et période visée

Finale

15. Agent de projet

M. Ross

16. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.)

Initiative en matière de transport propre

17. Résumé

Les sources de bruits sous-marins d'origine anthropique (de source humaine) n'ont cessé de croitre depuis les cinquante dernières années. Ces bruits constituent en réalité un sous-produit de l'importante augmentation des activités humaines maritimes telles que l'exploration pétrolière, l'utilisation de sonars à des fins commerciales et militaires et le transport maritime. La navigation commerciale figure parmi les principaux contributeurs de bruits anthropiques à basse fréquence, principalement générés par l'hélice et les machineries à bord des navires. Ces fréquences sonores peuvent se propager très efficacement et sur de très grandes distances dans les environnements marins. Cette augmentation substantielle a éveillé plusieurs préoccupations quant à l'impact de ce bruit sur la faune marine, qui utilise les sons pour communiquer, naviguer, s'alimenter et se reproduire. En tant qu'entité régulant le transport maritime au Canada, Transports Canada (TC) a jugé essentiel de mieux comprendre la problématique des bruits sous-marins au Canada. Ce rapport détaille l'information sur comment, basé sur les connaissances actuelles, l'industrie maritime contribue aux bruits sous-marins ambiants et permet aux néophytes de saisir en quoi les bruits peuvent représenter une menace à la conservation des espèces marines et au rétablissement des espèces en péril.

18. Mots clés	19. Diffusion
Bruit sous-marin, baleine, industrie maritime, mesure, bruit océanique, navigation commerciale, bruit anthropique, navire, exposition aux bruits des navires, pollution acoustique, mammifères marins, espèces en péril, acoustique, audition, masquage, seuils auditifs	Copie numérique

20. Classification de sécurité (de cette publication)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Déclassification (date)	23. Nombre de pages	24. Prix
Non classifiée	Non classifiée	--	xviii, 102, annexe	Port et manutention

Transport Canada / Transports Canada

PUBLICATION DATA FORM

1. Transport Canada Publication No.	2. Project No.	3. Catalogue No.	4. ISBN
TP 15348 E	B61T	T86-25/2017E-PDF	978-0-660-06947-0

5. Title and Subtitle	6. Publication Date
Understanding Anthropogenic Underwater Noise	January 2017
	7. Performing Organization Document No.: --

8. Author(s)	9. Transport Canada Print on Demand File No.
Veronique Nolet	TC-1005844 E

10. Performing Organization Name and Address	11. PWGSC File No.
Green Marine 25 rue du Marché-Champlain, #402 Québec, Québec G1K 4H2	-- 12. PWGSC or Transport Canada Contract No.: T8080-140589

13. Sponsoring Agency Name and Address	14. Type of Publication and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) Place de Ville, Tower C 330 Sparks Street, 25th Floor Ottawa, Ontario K1A 0N5	Final 15. Project Officer: M. Ross

16. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.)

Clean Transportation Initiative

17. Abstract

Sources of anthropogenic (human-caused) underwater noise have increased significantly over the past fifty years, largely as a result of increases in seismic exploration, military and commercial sonars, and maritime transportation. Commercial shipping is one of the main contributors to anthropogenic noise and is mainly generated by propeller cavitation and onboard machinery. The low-frequency sounds that ships generate propagate efficiently and travel vast distances in deep water marine environments. This has sparked concerns about the impacts of underwater noise on marine life, which use sound to communicate, navigate, feed and reproduce. As the agency responsible for regulating shipping in Canada, Transport Canada (TC) considered it essential to better understand the problem of underwater noise within Canadian waters. This report assembles some of the technical knowledge about anthropogenic underwater noise and its potential impacts in a marine environment. It details information about how, based on the current state of knowledge, the maritime industry contributes to ambient underwater noise and should facilitate understanding on how noise can pose a threat to the conservation of marine animals and to the recovery of species at risk.

18. Key Words	19. Distribution Statement
Underwater noise, whales, shipping industry, measurement, ocean noise, commercial shipping, anthropogenic noise, vessel, ships, shipping noise exposure, noise pollution, marine mammals, species at risk, acoustics, hearing, masking, threshold shifts	Digital Copy

20. Security Classification (of this publication)	21. Security Classification (of this page)	22. Declassification (date)	23. No. of Pages	24. Price
Unclassified	Unclassified	--	xviii, 84, annex	Shipping/ Handling

REMERCIEMENTS

Afin de tenir compte de la complexité du sujet et de veiller à ce que tous les renseignements figurant dans le rapport soient exacts, bien décrits et à jour, la plupart des sections ont été soumises à l'examen de la personne ou de l'organisation pertinente. Je transmets mes plus sincères remerciements aux personnes qui ont gentiment accepté d'examiner le contenu d'une ou de plusieurs parties du présent rapport : Michael Bahtiarian (Noise Control Engineering Inc.) et Tom Dakin (Ocean Networks Canada), pour leurs compétences techniques en acoustique; Michael Jasny (National Resources Defense Council), Kathy Heise (Aquarium de Vancouver) et Tola Coopper (Pêches et Océans Canada), pour leurs connaissances incroyables sur les répercussions du bruit anthropique sur la vie marine. Je suis reconnaissante envers Tom Dakin et Michael Bahtiarian pour les nombreuses heures qu'ils ont passées avec moi pour m'expliquer l'acoustique et en discuter, ainsi qu'envers Kathy Heise pour son appui constant et ses précieux conseils.

Je remercie sincèrement tout le personnel de Transports Canada et, plus précisément, les personnes suivantes : Marie-Chantal Ross, agente de recherche et développement, Centre de développement des transports – groupe des politiques, et Paul Mudroch, conseiller principal responsable des questions liées à l'air marin et à la pollution – groupe Sécurité et sûreté maritimes. Leurs commentaires, leurs conseils et leur soutien ont contribué à la rédaction réussie du présent rapport.

Je remercie toute l'équipe de l'Alliance verte, à savoir : David Bolduc, directeur général; Eleanor Kirtley, directrice du programme pour la côte ouest; Manon Lanthier, directrice des communications, Françoise Quintus, directrice du programme, et Julie Gedeon, réviseure. Je remercie également les membres du groupe de travail de l'Alliance verte sur le bruit sous-marin[1] pour les commentaires, la rétroaction et les connaissances dont ils ont fait part au cours de l'élaboration de l'indicateur de rendement sur le bruit sous-marin. Je remercie également les membres du comité consultatif Côte Ouest de l'Alliance verte.

Je souhaite également remercier un certain nombre de personnes pour le nombre incalculable d'heures consacrées aux conversations éclairantes, aux courriels, au partage de rapports, de référence dans la littérature obscure, d'hyperliens et à la transmission de noms d'autres personnes qui m'ont aidée à rédiger ce rapport avec le plus d'exhaustivité et d'objectivité possible : Hussein Alidina (WWF-Canada), Lindy Weilgart (Université Dalhousie), Brandon Southall (Southall Environmental Associates, Inc.), Jack Lawson (ministère des Pêches et des Océans Canada (MPO), Hilary Moors-Murphy (MPO), Ian McQuinn (MPO), Véronique Lesage (MPO), Yvan Simard (MPO), Corey Morris (MPO), Liisa Peramaki (MPO), Jennifer MacDonald (MPO), Chris McKesson (Université de la Colombie-Britannique), Orla Robinson et Krista Trounce (Port de Vancouver), Bruce Martin (JASCO Applied sciences), David Hannay (JASCO Applied sciences), Amy R. Scholik-Schlomer (National Oceanic and Atmospheric Administration ou NOAA), Camille Montiglio (Accord sur la conservation des cétacés de la mer Noire, de la Méditerranée et de la zone Atlantique adjacente (ACCOBAMS)), Heidrun Frisch (Accord sur la

[1] Marc Gagnon (FEDNAV), Lilia Khodjet El Khil (Canada Steamphip Lines), Hilary Miller (SMIT Marine Canada), Orla Robinson (Port de Vancouver), Jason Scherr (Administration portuaire de Prince Rupert), Paul Mudroch (Transports Canada), Stephanie Snider (Kinder Morgan), Hussein Alidina (WWF-Canada), Lance Barrett-Lennard (Aquarium de Vancouver), Kathy Heise (Aquarium de Vancouver), Tom Dakin (Ocean Networks Canada), Michael Jasny (National Resources Defense Council), Alexis B. Rudd (Hawai'i Institute of Marine Biology), Chris McKesson (Université de la Colombie-Britannique).

conservation des petits cétacés de la mer Baltique, du nord-est de l'Atlantique et des mers d'Irlande et du Nord (ASCOBANS) et Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS)), Darius Campbell (Convention OSPAR), Edward Kleverlaan (Organisation maritime internationale (OMI)), Erin Morriss (ministère des Affaires étrangères et du Commerce de la Nouvelle-Zélande), Sonia Mendes (Joint Nature Conservation Committee (JNCC)), Adi Kellermann (Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM)), Clément Chion (Université du Québec en Outaouais), Jérôme Dupras (Université du Québec en Outaouais), Lauren McWhinnie (University de Victoria), Kimberley Davies et Christopher Taggart (Université Dalhousie), Matthew Abbott (Conservation Council of New Brunswick), Donald Killorn (Eastern Charlotte Waterways Inc.), Kathleen Martin (Canadian Sea Turtle Network), Marianne Gilbert (Hemmera) et Dugald Thomson (Forces canadiennes). Je n'aurais pas pu achever ce projet sans l'aide de ces personnes. L'information, les ressources et les contacts dont elles m'ont fait part avec autant de générosité se sont avérés essentiels pour me guider jusqu'à la toute dernière page.

SOMMAIRE EXCÉCUTIF

Les sources de bruits sous-marins d'origine anthropique (de source humaine) n'ont cessé de croitre depuis les cinquante dernières années. Ces bruits constituent en réalité un sous-produit de l'importante augmentation des activités humaines maritimes.

La navigation commerciale figure parmi les principaux contributeurs de bruits anthropiques à basse fréquence, principalement générés par l'hélice et les machineries à bord des navires. Ces fréquences sonores peuvent se propager très efficacement et sur de très grandes distances dans les environnements marins. Dans l'océan Pacifique Nord, des suivis acoustiques ont démontrés que depuis les années 1960, le bruit ambiant de basse fréquence, <80 hertz (Hz), a augmenté de 10-12 décibels (dB), coïncidant avec une augmentation du double du trafic maritime mondial. Cette augmentation substantielle a éveillé plusieurs préoccupations quant à l'impact de ce bruit sur la faune marine, qui utilise les sons pour communiquer, naviguer, s'alimenter et se reproduire.

Reconnaissant que les scientifiques et la communauté internationale ont identifié que le bruit des navires pouvait avoir des conséquences négatives à court et à long termes sur les espèces marines, l'Organisation maritime internationale (OMI) a publié, en 2014, des lignes directrices volontaires traitant des impacts négatifs des bruits sur la faune marine. Ces lignes décrivent quelques méthodes pouvant être appliquées afin de réduire les émissions sonores des navires commerciaux. En tant que signataire à l'OMI et entité régulant le transport maritime au Canada, Transports Canada a jugé essentiel de mieux comprendre la problématique des bruits sous-marins au Canada. C'est dans ce contexte que le ministère a commandé la présente étude à La Corporation de gestion de l'Alliance verte pour :

- Décrire l'enjeu émergent et ses impacts sur la vie marine;
- Décrire comment la navigation commerciale contribue au bruit ambiant dans les océans;
- Expliquer les principales sources de bruit sur un navire;
- Compiler les principales initiatives internationales traitant de l'enjeu des bruits sous-marins;
- Énumérer différents ateliers de travail et conférences internationales sur le sujet dans les dernières années;
- Faire état des projets de recherche sur le bruit au Canada;
- Faire ressortir les besoins en recherche pour bien évaluer l'impact des bruits sous-marins d'origine anthropique sur la faune marine;
- Dresser une liste de recommandations en collaboration avec des partenaires de l'industrie et de l'environnement sur les actions à prendre pour aborder l'enjeu.

Évaluer la contribution de la navigation commerciale et ses impacts sur la vie marine est complexe. Ce rapport constitue un rassemblement des connaissances techniques sur les bruits sous-marins et ses impacts potentiels sur l'environnement marin. Ce rapport détaille l'information sur comment, basé sur les connaissances actuelles, l'industrie maritime contribue aux bruits sous-marins ambiants et permet aux néophytes de saisir en quoi les bruits peuvent représenter une menace à la conservation des espèces marines et au rétablissement des espèces en péril.

L'Alliance verte a entamé ses recherches au mois d'août 2014 alors que son Comité consultatif Côte Ouest lui donnait le mandat de se pencher sur cet enjeu et de développer un nouvel indicateur de rendement sur les bruits sous-marins à son programme environnemental. Un groupe de travail formel a alors été créé, permettant déjà de rassembler plusieurs experts en la matière et des gens concernés par l'enjeu autour d'une même table : la communauté scientifique (acousticien, architecte naval, chercheur universitaire), l'industrie maritime (armateur, port et terminal) et le secteur gouvernemental (Transports Canada et Pêches et Océans Canada).

Plusieurs échanges avec des scientifiques et des experts en matière de bruits sous-marins du Canada et des États-Unis ont permis de commencer à dresser une liste bibliographique sur le sujet. Finalement, afin de s'assurer que l'information contenue dans ce rapport soit exacte, tous les segments ont été validés par un ou plusieurs experts. Leur nom et organisation respective sont listés dans la section remerciements de ce rapport, mais l'Alliance verte demeure responsable des erreurs qui pourraient s'être glissées dans ce rapport.

RÉSULTATS

Le bruit dans les milieux marins provient d'un large éventail de sources, autant d'origine anthropique que naturelle. Il importe de considérer toutes ces sources de bruits dans l'équation. On parle par exemple d'activités industrielles situées à proximité ou directement dans l'eau, la présence d'activités portuaires et la fréquentation de d'autres types d'embarcations (de plaisance, de croisières aux baleines, de pêche, de recherche, etc.). Les bruits d'origine naturelle sont aussi à considérer : craquement des glaces, vent, vagues, pluie, tonnerre, tremblement de terre, bruits émis par les espèces marines et autres. Il est toutefois reconnu que les bruits d'origine anthropique ont augmentés drastiquement dans les dernières décennies et qu'il s'agit d'un enjeu mondial.

Pour évaluer correctement les impacts potentiels des bruits sous-marins sur la faune marine, il s'avère essentiel d'avoir un système d'enregistrement bien calibré efficace sur une large bande de fréquence pour mesurer les bruits ambiants dans des endroits considérés écologiquement importants. Cet item requiert une consultation extensive auprès d'experts locaux et de gens impliqués dans l'acoustique sous-marine.

Les observations comportementales des espèces marines liées à l'émission de bruits d'origine anthropique sont difficiles à interpréter, et ne sont possiblement pas les meilleurs indicateurs pour évaluer le niveau d'impact. La qualification de l'impact des bruits anthropiques sur les espèces marines est d'une grande complexité. En effet, les espèces marines sont acoustiquement uniques et se distinguent de multiples façons : l'âge, le sexe, le stade de développement, le système auditif, les seuils d'audition, la tolérance face aux sources sonores puissantes, l'historique d'expériences sonores antérieures ayant modifié le comportement ou le système auditif en lui-même, l'utilisation de l'environnement sonore dans le cadre de leurs activités biologiques essentielles, les comportements sociaux et autres.

L'identification des seuils acoustiques critiques est complexe, et le devient encore plus dans les cas de bruits chroniques et continus tels que ceux émis par les navires. Dans le cas de bruits forts et pulsés (fonçage de palplanches, explosions ou autres), les seuils acoustiques critiques peuvent généralement être prédis en fonction de la sensibilité de l'espèce à certains

seuils d'audition et à l'appareil auditif. De nombreuses études ont été réalisées à ce sujet et pour certaines espèces, les seuils acoustiques critiques sont connus. Or, pour les bruits chroniques, la situation diffère. En effet, on ne peut pas parler de blessures physiques liées aux émissions sonores d'un navire, mais plutôt de dérangement, d'interruption dans les comportements habituels, de masquage dans les communications et l'écholocation, d'augmentation des niveaux de stress et de risques accru de collision avec un navire.

Les bruits sous-marins sont une préoccupation majeure au Canada depuis plus de dix ans et sont identifiés comme une menace importante pour le rétablissement des espèces de mammifères marins en péril. De ce fait, les projets portant sur l'impact des émissions sonores des navires sur les écosystèmes marins sont nombreux. Ministères, universités, firmes d'ingénieries, ONG, tous se mobilisent pour mieux connaître et comprendre les bruits ambiants en des endroits très précis. Pour éviter qu'il n'y ait dédoublement des efforts, il importe de coordonner les initiatives et de faire le suivi de celles qui sont terminées. Il sera ainsi possible de profiter de l'expertise des autres pour faire avancer les recherches ailleurs.

EXECUTIVE SUMMARY

Sources of anthropogenic (human-caused) underwater noise have increased significantly over the past fifty years, largely as a result of increases in seismic exploration, military and commercial sonars, and maritime transportation.

Commercial shipping is one of the main contributors to anthropogenic noise and is mainly generated by propeller cavitation and onboard machinery. The low-frequency sounds that ships generate propagate efficiently and travel vast distances in deep water marine environments. In the open waters of the North Pacific Ocean, acoustic tracking indicates that low frequency noise, < 80 hertz (Hz), has increased by 10 to 12 decibels (dB) since the 1960s, which coincides with the doubling of marine traffic. This has sparked concerns about the impacts of underwater noise on marine life, which use sound to communicate, navigate, feed and reproduce.

Recognizing that scientists and the international community worldwide have identified that noise has short and long-term consequences on marine life, the International Maritime Organization (IMO) ratified voluntary guidelines in 2014 to address the adverse impacts of shipping noise. These guidelines describe steps to reduce noise emitted by commercial ships. As an IMO signatory and the agency responsible for regulating shipping in Canada, Transport Canada (TC) considered it essential to better understand the problem of underwater noise within Canadian waters. It is within this context that TC contracted the Green Marine Management Corporation to:

- Prepare a detailed summary regarding this emerging issue and its impacts on marine life;
- Describe how commercial shipping contributes to ambient noise in the ocean;
- Identify the main sources of noise produced by ships;
- Compile the main global initiatives addressing issues related to underwater noise;
- List the various workshops/conferences held internationally on the subject in recent years;
- Report on research projects being conducted across Canada on underwater noise;
- Highlight future research needs to properly evaluate the impact of anthropogenic underwater noise on marine life; and
- Develop a list of recommendations in collaboration with industry partners and non-governmental organizations (NGOs) regarding the actions required to address the issue.

Assessing commercial navigation's contribution to ambient underwater noise and its impact on marine life is complex. This report assembles some of the technical knowledge about anthropogenic underwater noise and its potential impacts in a marine environment. It details information about how, based on the current state of knowledge, the maritime industry contributes to ambient underwater noise and should facilitate understanding on how noise can pose a threat to the conservation of marine animals and to the recovery of species at risk.

The Green Marine Management Corporation initiated its research in August 2014 with the ultimate goal of adding underwater noise issue as a new performance indicator within the Green Marine environmental program. A formal working group was created, gathering a number of experts and people concerned or affected by the issue, which include Members of the scientific community (engineers, naval architects, biologists, NGOs and academics), the

maritime industry (ship owners, port authorities/administrators and terminal operators) and government agencies (TC and Fisheries and Oceans Canada).

Consultations with scientists and other experts on underwater noise in Canada and the United States helped collate documentation regarding the subject, much of which is included in the reference section. To ensure that the information contained in this report is accurate, all segments have been reviewed by one or more experts. Their names and respective organizations are listed in the Acknowledgement, although Green Marine is responsible for any errors found within this document.

FINDINGS

Underwater noise originates from a range of sources – both natural and anthropogenic. A thorough analysis of ambient noise requires consideration of all activities contributing to substantial increases in noise levels, such as industrial activities near or directly in the water, port operations and boating excursions (marina tours, whale-watching cruises, fishing expeditions, research trips, commercial shipping, pile driving, etc.). Sounds of a natural origin should also be considered: cracking ice, wind, waves, rain, thunder, earthquakes, as well as the sounds of marine life. However, it is widely recognized that anthropogenic noise has increased dramatically in recent decades, and is now recognized as a global issue.

To properly evaluate the potential impacts of anthropogenic underwater noise on marine life, it is essential to have a calibrated recording system across a broad range of frequencies to monitor ambient noise in locations considered to be ecologically important. This requires an extensive consultation process with local experts and others with an interest in underwater acoustics.

Behavioural observations of the impact of anthropogenic noise on marine animals are difficult to interpret, and likely not the best metric for impacts. Quantifying the impacts of anthropogenic noises on marine species is complex. Marine animals, regardless of the species, may differ in how they use sound, particularly animals of different age, sex and life stages, auditory systems, hearing thresholds, tolerance to strong noise sources, changes in behaviour and/or hearing resulting from past exposures, and a soundscape's integral role in the essential biological activities, social interactions and other behaviours of a species.

Identifying acoustic thresholds is difficult, especially in the case of chronic and continuous noises, such as those produced by vessels. When it comes to strong pulsating noises (pile driving, underwater dynamite and other sources), acoustic thresholds can generally be predicted in relation to the known sensitivities of a species by using monitoring auditory equipment. Numerous studies have been done in this regard, and for some species, the acoustic thresholds have been established. For chronic noise, however, the situation differs. Injuries to marine mammals from ship noise are generally indirect, and focus primarily on disturbance, sound masking (which interferes with communication and echolocation), increased stress hormones and, increased in risk of ship strikes.

Underwater noise has been recognized as a major concern for more than ten years in Canada and is identified as a major threat for marine mammals at risk. Therefore, numerous research projects are under way regarding the impacts of noise from vessels on marine ecosystems. Government agencies, universities, engineering firms and NGOs have mobilized to better

understand underwater noise, and a large number of hydrophones have been deployed through coastal waters in Canada. To avoid duplicating efforts, it is essential to coordinate initiatives and to archive results.

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE 1 LE SON : NOTIONS ÉLÉMENTAIRES ET EFFETS SUR LA VIE MARINE..... 1

1.1 Introduction 1

1.2 Notions élémentaires du son 1

1.2.1 Mesures du son 1

1.2.2 Instruments de mesure 4

1.2.3 Déploiement aux fins de mesures acoustiques..... 7

1.2.4 Paramètres recommandés pour décrire le bruit sous-marin..... 9

1.3 Effets du milieu ambiant sur la propagation du son 11

1.3.1 Température 13

1.3.2 Salinité..... 13

1.3.3 Pression 14

1.3.4 Tableau sommaire..... 14

1.4 Bruit ambiant 14

1.4.1 Recherche sur le bruit au Canada 17

1.4.2 Défis liés à la mesure du bruit sous-marin ambiant..... 17

1.5 Bruit anthropique..... 18

1.5.1 Grands navires commerciaux..... 18

1.5.2 Bruit non lié à la navigation commerciale..... 27

1.6 Mesures d'atténuation..... 29

1.6.1 Bruit impulsionnel 30

1.6.2 Bruit continu..... 31

1.7 Recherche sur le bruit lié à la navigation commerciale au Canada 35

1.7.1 Défis en lien avec les méthodes de mesure du bruit lié à la navigation commerciale..... 35

1.8 La vie marine, génératrice de bruit..... 37

1.8.1 Mammifères marins : sons générés et plage auditive 37

1.8.2 Poissons, tortues et autres espèces marine : sons générés et plage auditive..... 39

1.9 Répercussions des bruits sous-marins anthropiques sur la vie marine..... 42

1.9.1 Aperçu 42

1.9.2 Effet du bruit sur les mammifères marins..... 42

1.9.3 Effet du bruit sur les autres espèces marines 47

1.10 Conclusion..... 49

PARTIE 2 APERÇU DE LA RÉGLEMENTATION INTERNATIONALE DU BRUIT ANTHROPIQUE 50

2.1 Introduction 50
2.2 Réglementation internationale du bruit sous-marin 51
2.2.1 Politique internationale 51
2.2.2 Politique multinationale 57
2.2.3 Accords multinationaux 58
2.3 Règlementations à l'échelle nationale 64
2.3.1 Australie 64
2.3.2 Allemagne 65
2.3.3 Nouvelle-Zélande 65
2.3.4 Royaume-Uni 67
2.3.5 États-Unis 68
2.3.6 Autres pays 71
2.4 Conclusion 71
PARTIE 3 LE BRUIT ABORDÉ À TRAVERS ATELIERS, CONFÉRENCES ET PROJETS DE RECHERCHE 73
3.1 Introduction 73
3.2 Ateliers internationaux sur le bruit 73
3.3 La recherche sur le bruit au Canada 80
3.3.1 Pêches et Océans Canada 80
3.3.2 La Marine royale canadienne 86
3.3.3 MEOPAR 87
3.3.4 Autres organisations 89
PARTie 4 RECOMMANDATIONS DE RECHERCHES ET DE DÉVELOPPEMENTS FUTURS 92
4.1 Introduction 92
Recommandation 1 92
Recommandation 2 93
Recommandation 3 94
Recommandation 4 95
Recommandation 5 96
RÉFÉRENCES 97

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Fréquence, longueur d'onde et amplitude 2
Figure 2 : Fréquences audibles à l'oreille humaine..... 3
Figure 3 : Différences entre les longueurs d'onde grandes et courtes..... 4
Figure 4 : Exemple d'échelle de dB pour l'oreille humaine 4
Figure 5 : Rapport entre la fréquence et la sensibilité aux fins d'illustration de la bande passante 6
Figure 6 : Trépied pour hydrophone, dans lequel l'hydrophone se trouve à une hauteur d'un mètre au-dessus du fond marin..... 8
Figure 7 : Exemple d'une forme d'onde impulsionnelle mesurée pendant le battage de pieux.. 10
Figure 8 : Profil de variation de la température, de la salinité et de la pression en fonction de la profondeur, pour un lieu de latitude moyenne en haute mer. 13
Figure 9 : Illustration de sources différentes de bruits naturels et anthropiques..... 15
Figure 10 : Profil d'un navire avec les principales sources de bruit 19
Figure 11 : Profil d'un navire avec les sources de bruit venant de l'hélice et des machines..... 20
Figure 12 : Cavitation de l'hélice 22
Figure 13 : La plage des fréquences produites par certaines des parties les plus bruyantes d'un navire..... 23
Figure 14 : La différence entre la propulsion conventionnelle et la propulsion avec un moteur diesel-électrique..... 24
Figure 15 : Zones conceptuelles de l'influence du bruit 44
Figure 16 : Image illustrant la réduction estimée de la distance de communication du rorqual commun et du rorqual bleu avant (à gauche) et après (à droite) l'arrivée de la navigation commerciale, illustrant la portée réduite des vocalisations auxquelles sont confrontées les espèces en raison des effets de masquage..... 46
Figure 17 : Représentation internationale de l'OMI 52
Figure 18 : Représentation internationale de la CBI 54
Figure 19 : Représentation internationale de l'UNCLOS..... 55
Figure 20 : Représentation internationale du CIEM 56
Figure 21 : Représentation de l'ACCOBAMS..... 59
Figure 22 : Représentation internationale de l'ASCOBANS 60
Figure 23 : Convention OSPAR 63
Figure 24 : Certains des pays disposant d'une règlementation sur le bruit sous-marin..... 64

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Sommaire de la propagation du bruit dans les eaux océaniques 14
Tableau 2 : Sources principales de sons d'origine géophysiques dans l'océan, avec leur fréquence associée..... 15
Tableau 3 : Exemples de fréquences sonores produites par les vocalises de cétacés..... 16
Tableau 4 : Exemples de fréquences sonores produites par les bruits sous-marins d'origine anthropique..... 16
Tableau 5 : Bilan sonore des navires..... 26
Tableau 6 : Exemples d'organisations faisant avancer les technologies destinées à rendre les navires plus silencieux ou encourageant les amateurs à réduire leurs émissions sonores..... 27
Tableau 7 : Tableau résumé de la capacité auditive et des plages de vocalisation des mammifères marins. 39
Tableau 8 : Initiatives du MPO qui sont liées au bruit sous-marin 80
Tableau 9 : Initiatives de la Marine royale canadienne qui sont liées au bruit sous-marin 82
Tableau 10 : Initiatives de MEOPAR qui sont liées au bruit sous-marin 88
Tableau 11 : Initiatives de d'autres organisations canadiennes qui sont liées au bruit sous-marin

GLOSSAIRE DES ABRÉVIATIONS

ABF	Actif à basse fréquence
ACCOBAMS	Accord sur la conservation des cétacés de la mer Noire, de la Méditerranée et de la zone Atlantique adjacente
AIS	Système d'identification automatique
AMP	Aire marine protégée
AMSA	Australian Maritime Safety Authority
ANSI	American National Standards Institute
ASCOBANS	Accord sur la conservation des petits cétacés de la mer Baltique, du nord-est de l'Atlantique et des mers d'Irlande et du Nord
BEE	Bon état écologique
BOEM	Bureau of Ocean Energy Management
CBI	Commission baleinière internationale
CDB	Convention sur la diversité biologique
CdP	Conférence des Parties
CE	Commission européenne
CIEM	Conseil international pour l'exploration de la mer
CMS	Convention sur les espèces migratoires
CPMM	Comité de la protection du milieu marin
CZMA	*Coastal Zone Management Act*
dB	Décibels
DCSMM	Directive-cadre « Stratégie pour le milieu marin »
DDA	Dispositif de dissuasion acoustique
DHA	Appareil de harcèlement acoustique
DPS	Déplacement permanent du seuil
DS	Déplacement du seuil
DTS	Déplacement temporaire du seuil
EPBC	*Environment Protection and Biodiversity Conservation Act*
ESA	*Endangered Species Act*
É.-U.	États-Unis
FEE	Fonds pour l'étude de l'environnement
HCR	Hélice contre-rotative
HELCOM	Commission pour la protection de l'environnement de la mer Baltique – Commission d'Helsinki
HPO	Hélice à pales orientables
HPF	Hélice à pas fixe
Hz	Hertz
IFAW	Fonds international pour la protection des animaux
IQOE	International Quiet Ocean Experiment
ISO	Organisation internationale de normalisation
JNCC	Joint Nature Conservation Committee
LEP	*Loi sur les espèces en péril*
MEOPAR	Marine Environmental Observation Prediction and Response Network
MMPA	*Marine Mammal Protection Act*

MN	Mile nautique
MPE	Meilleure pratique environnementale
MPO	Ministère des Pêches et des Océans Canada
MTD	Meilleures techniques disponibles
NEPA	*National Environmental Policy Act*
NMFS	National Marine Fisheries Service
NMSA	*National Marine Sanctuaries Act*
NOAA	The National Oceanic and Atmospheric Administration
NR	Niveau reçu
NS	Niveau de source
OMI	Organisation maritime internationale
OMM	Observateur de mammifères marins
ONG	Organisation non gouvernementale
ONU	Organisation des Nations Unies
OSPAR	Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est
PEA	Potentiels évoqués auditifs
PEM	Planification de l'espace marin
PGE	Plan de gestion environnementale
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
ppm	Parties pour mille
psi	Livres par pouce carré
rms	Valeur quadratique moyenne
R.-U.	Royaume-Uni
SAP	Surveillance acoustique passive
SEL	Niveau d'exposition au bruit
SI	Système international d'unités
SMM	Sanctuaires de mammifères marins
SOFAR	*Sound Fixing and Ranging Channel*
SOLAS	Sauvegarde de la vie humaine en mer
SPL	Niveau de pression sonore
TB	Tonnage brut
TC	Transports Canada
UE	Union européenne
UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
UNCLOS	Convention des Nations Unies sur le droit de la mer
VCC	Vitesse de création de la cavitation
WCS	Wildlife Conservation Society
WWF	Fonds mondial pour la nature
ZEE	Zone économique exclusive
ZIE	Zones d'importance écologique
ZMPS	Zones maritimes particulièrement sensibles

PARTIE 1
LE SON : NOTIONS ÉLÉMENTAIRES ET EFFETS SUR LA VIE MARINE

1.1 INTRODUCTION

Avant la Révolution industrielle (vers 1850), la contribution de l'activité anthropique au bruit présent dans l'océan était négligeable et les niveaux de bruit dans l'océan étaient surtout déterminés par des phénomènes naturels (p. ex. le vent, les vagues, les tremblements de terre, les organismes). De façon globale, peu d'information est actuellement disponible sur les changements de ces niveaux à la suite de l'augmentation du trafic maritime associé à l'industrialisation (National Research Council (NRC), 2003).

L'histoire de la navigation commerciale est définie non seulement par les hausses du nombre de navires en transit à l'appui du commerce mondial en plein essor, mais aussi par l'augmentation de la taille des navires, de la puissance des systèmes de propulsion et de leur sophistication (McKenna, 2012). Le tonnage brut (TB) total des navires a quadruplé entre 1965 et 2003, alors même que le nombre de navires commerciaux a approximativement doublé, comprenant de nouvelles conceptions navales (NRC, 2003; McKenna, 2012; Hildebrand, 2010). Cette expansion des activités maritimes et du nombre de navires qui s'est produite au cours des quatre dernières décennies se traduit par une hausse des niveaux de bruit en profondeur dans l'océan (McDonald, 2006).

Le bruit sous-marin attribuable à la navigation commerciale est de plus en plus reconnu comme un polluant présentant le potentiel d'affecter les écosystèmes marins à l'échelle mondiale (Williams et coll., 2015; Clark, 2009). Cela ne s'explique pas exclusivement en raison de sa puissance, mais aussi en raison de ses caractéristiques chroniques et par le fait que les sons de basse fréquence peuvent voyager sur de longues distances avec peu de perte d'énergie. Le bruit océanique de basse fréquence a augmenté au cours des dernières décennies, souvent dans les habitats présentant des populations résidentes de mammifères marins, faisant craindre que le bruit influe de manière chronique sur le cycle biologique des individus et des populations (Clark, 2009).

La première partie de ce rapport présente les notions élémentaires du son et les effets potentiels du bruit anthropique, surtout celui découlant de la navigation commerciale, sur la vie marine.

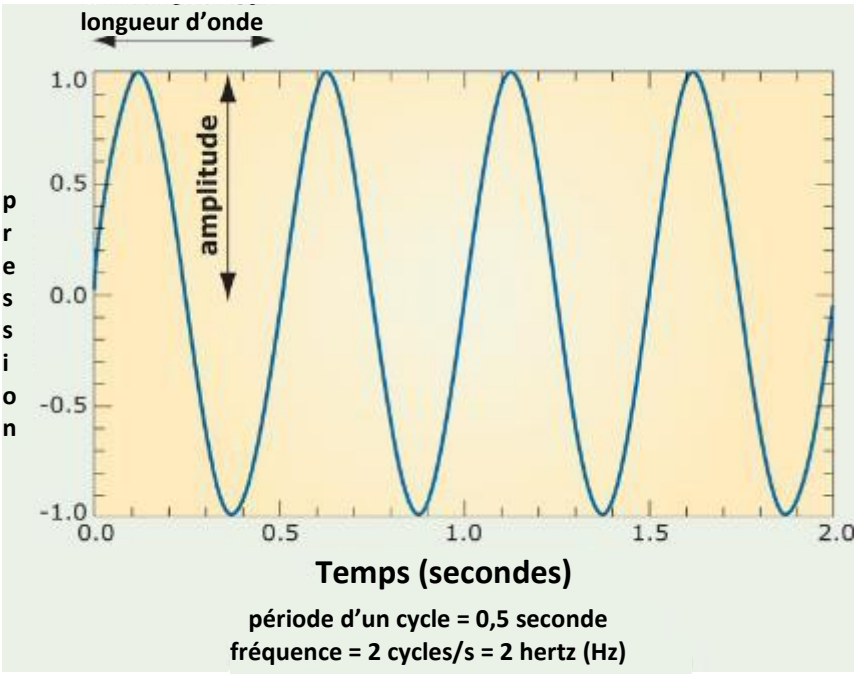
1.2 NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DU SON

1.2.1 Mesures du son

Dans l'espace, personne ne peut entendre quoi que ce soit, puisque le son n'a aucun moyen de voyager. Le son a besoin d'un milieu pour transmettre sa vibration : une substance intervenante par laquelle il peut se déplacer d'un point à l'autre. Ce milieu peut être solide, liquide ou gazeux, comme le sol, l'eau et l'air. Le son se déplace en changeant rapidement sa pression par rapport à sa valeur normale. On le décrit généralement comme une perturbation dans le milieu environnant, une vibration qui s'étend de sa source, créant une série de coquilles de pression basse et élevée en expansion. S'il ne rencontre aucun obstacle, le son se déplace vers

l'extérieur, jusqu'à ce que le milieu absorbe son énergie. Cette vibration en déplacement s'appelle une onde acoustique. Pour décrire l'onde acoustique, on peut se servir de la vitesse de vibration d'une petite partie du milieu (ce que l'on appelle la vitesse d'une particule), ou encore de la pression correspondante associée à la vibration.

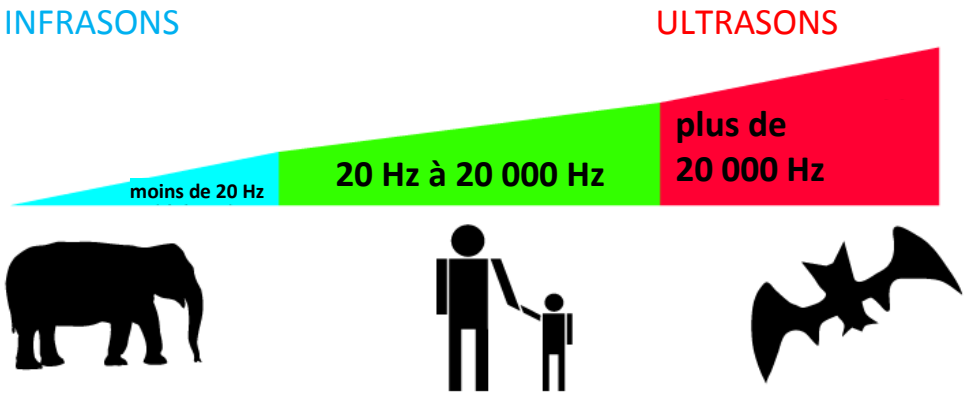
Les ondes sonores (à l'instar des vagues aquatiques), qui sont illustrées dans la figure 1, peuvent être décrites selon leur **fréquence**, leur **longueur d'onde** et leur **amplitude,** les composantes de base d'une onde sonore. Les sons produits par des objets différents sont différenciés par l'amplitude et la fréquence. Dans cet exemple, la période d'un cycle de cette onde est de 0,5 seconde, et la fréquence de cette onde est de 2 cycles par seconde ou 2 hertz (Hz).



Source : http://www.divediscover.whoi.edu/expedition12/hottopics/

Figure 1 : Fréquence, longueur d'onde et amplitude

La **fréquence** (f) est le nombre d'ondes de pression qui passent par un point dans un laps de temps donné et que l'on peut mesurer en cycles par seconde, ou hertz (Hz). À l'oreille humaine, une augmentation de fréquence se traduit par un son plus aigu, tandis qu'une baisse de fréquence est perçu comme un son plus grave. Tel qu'illustré dans la figure 2, l'être humain peut entendre les sons situés entre les fréquences de 20 Hz et de 20 000 Hz. Les sons de moins de 20 Hz sont des infrasons; ceux de plus de 20 000 Hz, des ultrasons. La fréquence est perçue comme le niveau sonore. Une **tonalité** est un son à fréquence constante qui se maintient dans le temps, tandis qu'une **impulsion** est un son de courte durée. Les deux types peuvent comprendre un vaste éventail de fréquences.



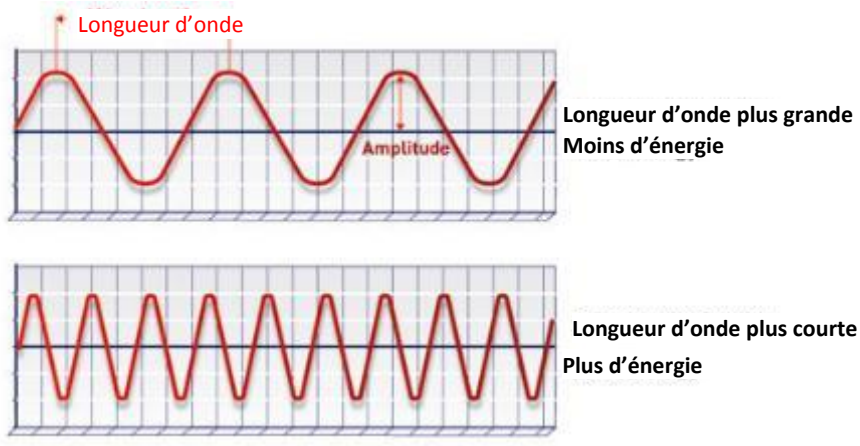
Source : http://www.howequipmentworks.com/ultrasound_basics/

Figure 2 : Fréquences audibles à l'oreille humaine

La **longueur d'onde** (λ) est la distance entre deux pointes ou deux creux d'une onde, tel qu'illustré dans la figure 3. Plus la fréquence de l'onde est basse, plus la distance entre deux crêtes est grande et plus la longueur d'onde est grande. Les sons qui présentent une grande longueur d'onde voyagent sur du plus grandes distances que ceux de moins grande longueur d'onde. La longueur d'onde et la fréquence sont associées à l'aide de la relation suivante (équation 1) :

$$\lambda = c/f \qquad (1)$$

où λ est la longueur d'onde en mètres, f est la fréquence en Hz et c est la vitesse du son en mètres par seconde.



Source : http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad/n124/articulo1En.html

Figure 3 : Différences entre les longueurs d'onde grandes et courtes

L'**amplitude** correspond à la « hauteur » d'une onde sonore, tel qu'il est montré dans la figure 3. Elle se mesure en unités de pression, habituellement en pascals (Pa). Elle est exprimée en décibels (dB)[2]. Les ondes sonores qui sont « petites » (c.-à-d. dont l'amplitude est faible) produisent de faibles sons, tandis que les ondes « grandes » produisent des sons puissants. Tel qu'illustré dans la figure 4, la limite d'exposition sécuritaire pour l'oreille humaine est reconnue pour se situer à 85 dB(A)[3].

Il importe de noter que l'échelle de dB est une échelle logarithmique[4]. La différence entre un son de 0 dB (à peine audible) et un son de 10 dB semblable à un chuchotement représente une augmentation de volume par la puissance de 10.

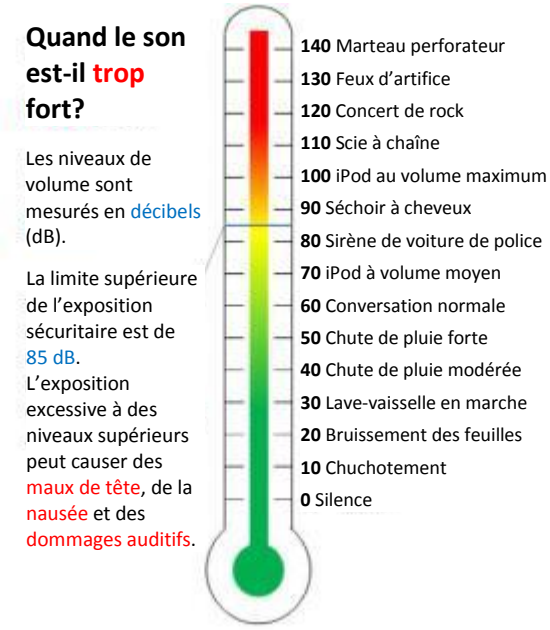


Figure 4 : Exemple d'échelle de dB pour l'oreille humaine

Source : http://edtech2.boisestate.edu/brianquerry/506/decibel.pdf

Différence entre le « son » et le « bruit »

Le terme « son » est habituellement employé pour décrire l'effet qu'a un objet vibrant sur le milieu environnant. Scientifiquement, cette notion peut être définie comme une onde mécanique qui se propage par un moyen élastique. En résumé, le son représente une description générale de l'énergie acoustique. En comparaison, le terme « bruit » sert à décrire un son venant d'un éventail de sources diffuses qui ne transmet pas de renseignements d'importance biologique (Southall, 2005). Notons que presque tous les sons d'origine naturelle et anthropique sont essentiellement des bruits pour les animaux qui les entendent.

1.2.2 Instruments de mesure

La présente section porte sur les types d'instruments qui devraient être utilisés pour mesurer le bruit sous-marin. On y trouve aussi les principales spécifications fonctionnelles qui se rapportent à l'hydrophone et aux instruments de mesure, au calibrage des systèmes, à l'assurance de la qualité des données et au stockage.

Un hydrophone est un microphone conçu pour être utilisé sous l'eau afin d'enregistrer ou d'écouter le son sous-marin. Il détecte les signaux de pression sonore et les convertit en signaux électriques correspondants. Il existe des hydrophones pour tous les budgets. Les moins dispendieux envoient habituellement un signal analogique préamplifié le long d'un câble vers une série d'appareils situés à l'extérieur de l'eau. Les appareils qui se trouvent hors de l'eau

[2] Le décibel ne fait pas lui-même pas partie du Système international d'unités (les unités du SI), mais son utilisation avec le SI a été acceptée par le Comité international des poids et mesures.

[3] Le « (A) » désigne la valeur du décibel A, un genre d'ajustement des valeurs en décibel qui vise à assurer la correspondance avec la réponse de l'oreille humaine. L'exposition excessive à un niveau sonore de plus de 85 dB (A) peut causer des maux de tête, de la nausée et des dommages à l'ouïe (au-dessus de 110 dB (A)).

[4] Le décibel utilise des logarithmes pour calculer la base décimale.

amplifient les signaux analogiques pour la transmission, numérisent les signaux à transmettre ou numérisent les signaux à stocker sur le site côtier (ligne directrice : Dakin/Heise, à publier). Les hydrophones plus coûteux et à la fine pointe de la technologie numérisent le signal électrique sous l'eau, puis stockent les données à l'interne ou envoient les données numériques le long d'un câble vers un ordinateur, un système de stockage ou un système de communications longue portée.

Avant de choisir un système de mesure, une attention devrait être portée à la performance du système : la sensibilité, la réponse en fréquence, la directivité, le bruit propre au système et la plage dynamique.

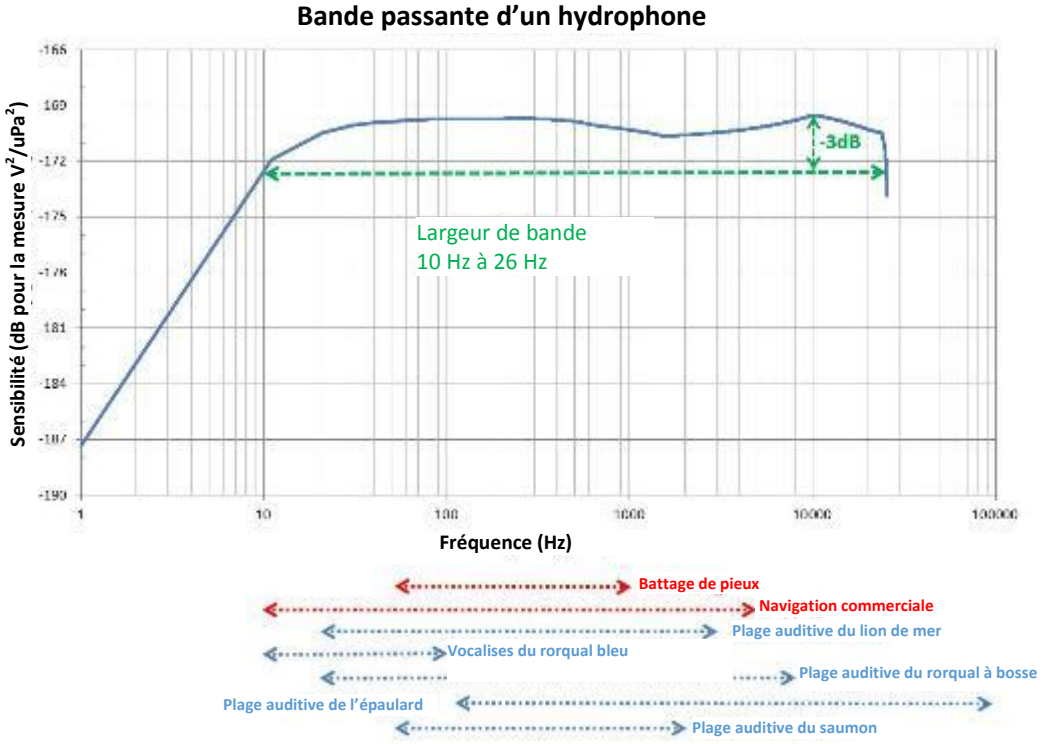
a) Sensibilité

La sensibilité est décrite en termes de voltage électrique (V) développé par pascals (Pa) de pression acoustique, et elle est présentée en unités de V/Pa (ou, à l'aide d'unités plus adéquates pour une ampleur de sensibilité typique, en µV/Pa). Le niveau de sensibilité est habituellement exprimé en décibels pour 1 $V^2/\mu Pa^2$ (dB pour 1 $V^2/\mu Pa^2$). À noter que le choix de 1 V/µPa à titre de valeur de référence fait en sorte que les niveaux de sensibilité des hydrophones présentent de très grandes valeurs négatives, habituellement dans une fourchette de -160 à - 220 dB.

La sensibilité de l'hydrophone[5] et du système de mesure doivent convenir à l'amplitude du son qui est mesuré. Étant donné que la plupart des systèmes d'hydrophone n'ont pas de portée de plage dynamique suffisante pour fonctionner sur toute la plage des intensités acoustiques que l'on retrouve dans l'océan, la sensibilité du système devrait être choisie de manière à maximiser l'exactitude des signaux voulus. Pour mesurer les signaux de faible amplitude (par exemple, le bruit ambiant dans un endroit calme), un système à grande sensibilité est préférable. Toutefois, pour mesurer les signaux à amplitude élevée (par exemple, à proximité d'une source à rendement élevé), un système à faible sensibilité est préférable afin d'éviter de saturer le système de mesure (Robinson, 2014).

[5] La sensibilité des données numérisées qui sont traitées par les hydrophones est habituellement présentée en dB par rapport à la mesure $FS^2/\mu Pa^2$, tandis que la valeur « FS » signifie « Full Scale » (échelle complète) (communication personnelle avec Tom Dakin, ONC).

Tel qu'il est montré dans la figure 5, la sensibilité de tout le système de mesure doit être connue s'il faut des mesures absolues du champ acoustique, ce qui nécessite un calibrage du système. Un hydrophone calibré qui possède une bande passante précise est nécessaire afin de mesurer le son avec exactitude.



(Source : Tom Dakin, Ocean Networks Canada)

Figure 5 : Rapport entre la fréquence et la sensibilité aux fins d'illustration de la bande passante

b) Réponse en fréquence

La réponse en fréquence du système de mesure représente la sensibilité en fonction de la fréquence acoustique. Il est souhaitable que cette réponse atteigne une fréquence suffisamment élevée pour enregistrer avec la meilleure précision possible toutes les fréquences d'intérêt à l'intérieur des signaux mesurés. Pour ce faire, il est préférable d'utiliser un hydrophone offrant des capacités de large bande suffisantes.

c) Directivité

Idéalement, un hydrophone devrait avoir une capacité omnidirectionnelle suffisamment grande pour que sa sensibilité ne soit pas soumise à la direction de l'onde sonore qui arrive. Il y a toutefois des situations où il est avantageux, pour l'hydrophone, de présenter une sensibilité directionnelle, afin par exemple de déterminer la direction des signaux d'arrivée ou d'établir une distinction à l'égard du bruit propre à une plateforme de déploiement (comme un navire bruyant). Pour ce faire, on utilise habituellement plus d'un hydrophone afin de former un réseau, où est utilisé un déflecteur ou un bouclier pour réduire la sensibilité dans une direction donnée (par exemple, de la surface). Dans de telles situations, la directivité de l'hydrophone ou du réseau doit être évidente et connue.

d) Bruit propre au système

Le bruit propre au système est considéré comme le bruit qui provient de l'hydrophone lui-même et du système d'enregistrement en l'absence de tout signal attribuable à un stimulus acoustique externe. Cela représente l'intensité acoustique minimale à laquelle le système est capable d'effectuer des mesures.

Tous les hydrophones produisent un certain niveau de bruit qui leur est propre, où qu'ils se trouvent, et les niveaux de référence peuvent être obtenus des fabricants (Dakin, 2016). En plus des hydrophones, il y a d'autres bruits reliés aux préamplificateurs, aux filtres et aux numériseurs associés aux systèmes d'hydrophone analogiques, ainsi qu'aux blocs d'alimentation.

e) Plage dynamique

La plage dynamique du système de mesure constitue la plage d'amplitude dans laquelle le système peut mesurer fidèlement la pression sonore. Il s'agit de la différence entre l'intensité sonore la plus forte et l'intensité sonore la plus faible qui sont mesurables par le système.

1.2.3 Déploiement aux fins de mesures acoustiques

Étant donné qu'il y a un grand nombre de possibilités de méthodes et de buts liés à l'installation d'un système d'écoute sous-marine, il est difficile de décrire une seule façon d'installer et de déployer un système d'hydrophone. Pour cette raison, ce document ne présente pas de technique particulière; toutefois, le lecteur est renvoyé à quelques méthodes ou normes existantes (parmi d'autres) permettant de mesurer le son dans l'océan et indiquant comment positionner les hydrophones.

ANSI/ASA S12.64-2009/Part 1, 2009, *Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships - Part 1: General Requirements*, American National Standard Institute, É.-U. 2009. http://webstore.ansi.org/RecordDetail.aspx?sku=ANSI%2FASA+S12.64-2009%2FPart+1+(R2014)

DAKIN, Tom (ONC) et Kathy HEISE (Aquarium de Vancouver), 2016, publication: *Guidelines for Installing Cabled Hydrophones for Monitoring Marine Mammals, Vessels and Other Sources of Underwater Noise*.

ISO 17208-1:2016 Underwater acoustics -- *Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships -- Part 1: Requirements for precision measurements in deep water used for comparison purposes* http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=62408

ISO/PAS 17208-1:2012 *Acoustics -- Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships -- Part 1: General requirements for measurements in deep water.* http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=59403

PATTERSON, A.M., J.H. SPENCE, R.W. FISCHER, 2012, *Evaluation of Underwater Noise from Vessels and Marine Activities*, Noise Control Engineering, INC (NCE), Billerica, É.-U. 9 p.

ROBINSON, S.P., P.A. LEPPER et R.A. HAZELWOOD, 2014, *Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement*, National Measurement Office, Marine Scotland, The Crown Estate, NPL Good Practice Guide No. 133, ISSN: 1368-6550. http://www.npl.co.uk/upload/pdf/gpg133-underwater-noise-measurement.pdf

Les méthodes pour effectuer des mesures de bruit sous-marin varieront selon l'amplitude et la fréquence du son à mesurer, l'environnement dans lequel on se trouve, la durée du déploiement, l'exactitude requise de la mesure sonore, les ressources disponibles pour déployer les instruments et le budget disponible. Il est très important de faire correspondre le système à installer aux objectifs et aux capacités propres au projet. Voici les approches les plus courantes.

- Déploiement d'hydrophones (individuellement ou en réseaux) à partir d'un navire, alors que l'analyse se fait à bord du navire ancré ou à la dérive et que l'équipement d'enregistrement y demeure.
- Déploiement statique, tel qu'illustré à la figure 6, ce qui est plus approprié pour le déploiement à long terme : un système déployé sur le fond est préférable au déploiement en surface afin : a) de réduire au minimum les signaux indésirables soumis à l'influence de l'action des vagues; b) de tenir l'hydrophone à l'écart des réflexions de surface entre l'eau et l'air; et c) de réduire au minimum les perturbations venant du navire de surface. La figure 6 illustre un exemple de déploiement statique.
- Déploiement de système dérivant, pouvant être des systèmes d'écoute en temps réel rattachés à un navire ou par flotteur, ou encore des enregistreurs autonomes dérivants.

Source : Tom Dakin, Ocean Networks Canada

Figure 6 : Trépied pour hydrophone, dans lequel l'hydrophone se trouve à une hauteur d'un mètre au-dessus du fond marin.

1.2.4 Paramètres recommandés pour décrire le bruit sous-marin

Les paramètres utilisés pour mesurer les bruits sous-marins peuvent varier selon le type de son que l'on veut mesurer. Pour cette raison, des méthodes de calculs précises ont été élaborées selon qu'il s'agisse de la mesure d'un son impulsionnel ou d'un son continu.

a) Son impulsionnel

Le son impulsionnel (par impulsions) se caractérise par de courtes impulsions d'énergie acoustique d'une durée limitée, tel qu'il est illustré dans la figure 7 (Robinson, 2014). Ces impulsions sont parfois appelées des sons transitoires. Le battage de pieux, les explosions et les éclats de canon à air sont des exemples de son par impulsions. Voici les mesures les plus appropriées pour mesurer le son impulsionnel.

- **Niveau d'exposition au bruit (SEL)** pour les impulsions uniques et les impulsions cumulatives (dans le cas d'une série d'impulsions).
  Le niveau d'exposition au bruit est calculé (voir l'équation 2) de dix fois le logarithme à la base 10 du ratio de l'exposition au bruit, E, et une valeur de référence, E_0. La valeur de référence pour le niveau d'exposition au bruit est 1 µPa^{2}s.

$$SEL = 10 \log_{10}\left[\frac{E}{E_0}\right] \quad (2)$$

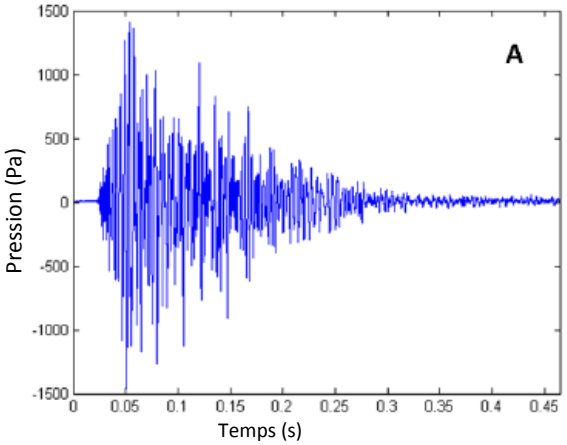
- **Niveau de pression sonore de crête**
  Le niveau de pression sonore de crête est égal à vingt fois le logarithme à la base 10 du ratio entre la pression sonore de crête, p_{peak}, et la valeur de référence, p_0, celle-ci étant de 1 µPa (équation 3).

$$L_{peak} = 20 \log_{10}\left[\frac{p_{peak}}{p_0}\right] \quad (3)$$

- **Niveau de pression sonore de crête à crête**
  Le niveau de pression sonore de crête à crête, L_{pp}, est égal à vingt fois le logarithme à la base 10 du ratio entre la pression sonore de crête à crête, p_{pp}, et la valeur de référence, p_0, celle-ci étant de 1 µPa (équation 4).

$$L_{pp} = 20 \log_{10}\left[\frac{p_{pp}}{p_0}\right] \quad (4)$$

Dans le cas d'une pulsation acoustique, la valeur SEL est calculée sur la durée d'une impulsion, qui est communément définie comme le temps occupé par la partie centrale de l'impulsion, où réside 90 % de l'énergie impulsionnelle (Robinson, 2014). Cela est utile parce qu'il peut être difficile de déterminer le début exact de l'impulsion à l'intérieur d'une onde sonore. La figure 7 montre le calcul de la valeur SEL sur la durée d'une impulsion qui a été mesurée tout en surveillant une activité de battage de pieux en milieu marin (Robinson, 2014).



Source *: Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement*

Figure 7 : Exemple d'une forme d'onde impulsionnelle mesurée pendant le battage de pieux.

b) Son continu

Les sons continus sont des sons où l'énergie acoustique s'étend sur une période de temps importante, habituellement un grand nombre de secondes, des minutes, voire des heures. L'amplitude du son peut varier durant ce temps, mais elle ne chute pas à zéro pendant un intervalle de temps significatif. Le son continu peut contenir un bruit à large bande et un bruit tonal (à bande étroite) à des fréquences précises. Parmi des exemples de son continu se trouve le bruit des navires, le bruit opérationnel des machines, y compris des systèmes d'énergies marines renouvelables, ainsi que le bruit provenant du forage.

Le paramètre qui convient le mieux à la mesure du son en continu est le **niveau de pression sonore (SPL)**.

La valeur SPL peut être calculée comme étant :

i) dix fois le logarithme à la base 10 du ratio entre la pression sonore carrée moyenne au cours d'un intervalle de temps énoncé et la valeur de référence de la pression sonore carrée;

ou

ii) vingt fois le logarithme à la base 10 du ratio entre la valeur quadratique moyenne de la pression sonore au cours d'un intervalle de temps énoncé et la valeur de référence de la pression sonore.

Les deux définitions sont mathématiquement identiques, comme le prouve la formule suivante (équation 5) :

$$SPL = 10\ \log_{10}\left[\frac{\hat{p}^2}{p_0^2}\right] = 20\ \log_{10}\left[\frac{\hat{p}}{p_0}\right] \qquad (5)$$

où est la valeur quadratique moyenne de la pression sonore, et $_0$ est la valeur de référence de la pression sonore.

Il faut noter que la valeur de référence SPL pour le son dans l'eau est d'un micropascal (1µPa); ainsi, la valeur SPL est exprimée en unités de décibels pour 1 µPa, que l'on peut aussi représenter en dB pour 1 µPa[6] (Robinson, 2014).

Les paramètres de mesure de SEL peuvent également être utilisés pour les sources de bruits continus. Dans un tel cas, le niveau d'exposition au bruit dans une bande de fréquences est intégré sur une période fixe plutôt que selon des événements isolés ou des impulsions. Une période d'une seconde est parfois utilisée pour cette durée (Southall, 2007). Tout comme lors de l'évaluation de la valeur SEL d'après des sources impulsionnelles, on peut déterminer la valeur SEL totale par addition de manière à calculer la valeur SEL totale au cours d'une période d'exposition plus longue.

1.3 EFFETS DU MILIEU AMBIANT SUR LA PROPAGATION DU SON

Pour comprendre les répercussions potentielles du bruit anthropique, il est important de connaître les caractéristiques de dispersion du bruit océanique et la répartition de celui-ci par rapport à l'emplacement et aux déplacements des organismes marins (Hildebrand, 2009).

Un son de source isolée peut changer pendant sa propagation, et le signal que reçoit un animal (appelé le niveau reçu – NR) peut différer du son initial près de sa source (appelé le niveau de source – NS). La propagation dans l'eau et/ou de tout autre matière peut modifier les caractéristiques sonores. Par exemple, un bruit soudain et de courte durée peut être perçu à une certaine distance de la source comme étant prolongé et ayant eu une origine plus douce en raison du phénomène de transmission sur de longues distances, et ce, à cause des effets de la réverbération, de la propagation par trajets multiples, de la dispersion modale et de la réfraction. De la même façon, des sons répétitifs et leur écho peuvent fusionner et être perçus à certaine distance de la source comme étant des sons continus (Popper et coll., 2014). Il est essentiel de noter que bien qu'il existe divers modèles permettant de comprendre la propagation du son, les modèles conçus pour les milieux océaniques profonds ne conviennent pas aux milieux aquatiques peu profonds (Popper et coll., 2014).

La propagation du son diffère dans l'air et dans l'eau. Lorsque le son se propage de l'eau à l'air, il y a une diminution de 35,5 dB (environ 3 300 x) de l'intensité acoustique en raison de la caractéristique d'impédance de l'eau qui est beaucoup plus importante que celle de l'air (Hildebrand, 2005). Cette différence, en plus des propriétés réfléchissantes de la surface de l'eau, contribue à expliquer pourquoi un son sous-marin à intensité élevée, tel un sonar, n'est pas transmis dans l'air avec la même intensité. Il y a en quelque sorte une protection à la frontière entre l'eau et l'air. Sans cette limite, la motivation serait forte pour protéger l'ouïe humaine contre le bruit des sonars et de la cavitation des hélices des navires.

[6] L'amplitude du son sous-marin est comparée à un changement de pression sonore d'un micropascal (1 µPa) à une distance d'un mètre de la source. Dans l'air, on utilise une pression sonore de référence conforme à une norme plus élevée, soit 20 micropascals; ainsi, un son de même énergie sous l'eau et dans l'air est enregistré à 26 dB de plus sous l'eau que dans l'air, et ce, strictement en raison de la différence de référence (c.-à-d. 20 x log(20/1)). Il y a également des différences quant aux niveaux de pression sonore qui s'expliquent par la densité du milieu (c.-à-d. l'air par opposition à l'eau).

En règle générale, plus une matière est dense, plus elle facilite la propagation du son. Le son se déplace beaucoup plus rapidement dans l'eau (1 500 mètres/s) que dans l'air (environ 340 mètres/s). De même, le son se déplace sur une distance beaucoup plus grande sous l'eau que dans l'air. Le bruit à basse fréquence (< 500 Hz) se propage avec efficience dans les bassins océaniques, contribuant aux niveaux de bruit ambiant sur de grandes distances (> 100 km). La raison en est que les ondes sonores de basse fréquence ne sont que peu atténuées, compte tenu des faibles capacités absorbantes de l'eau de mer, et qu'elles se propagent sur de longues distances (Okeanos Foundation, 2008). Sur de plus courtes distances (< 10 km de la source), le bruit à haute fréquence peut aussi être important (NRC, 2003; Basset, 2012; Okeanos Foundation, 2008). En haute mer, la thermocline[7] de l'océan peut créer un chenal (appelé SOFAR, ce qui signifie « sound fixing and ranging[8] » qui facilite les déplacements du son. Fait intéressant, les baleines à fanons semblent tirer avantage de ce canal pour diffuser leurs vocalises sur de grandes distances. De la même façon, le bruit lié à la navigation commerciale pourra voyager sur des distances beaucoup plus grandes grâce à ce canal.

Les sons provenant de sources situées près de la surface se propagent différemment selon qu'ils soient émis dans un milieu profond ou peu profond. Les eaux profondes sont typiquement des milieux où les sources sonores distantes (telle que celles de la navigation commerciale) n'ont pas d'interaction avec le fond marin. À l'inverse, les eaux peu profondes sont des milieux offrant des interactions sonores importantes avec le fond marin. À noter que la réflectivité sonore de ces milieux peu profonds varie grandement en fonction du type de substrat qui compose le lit sous-marin. (Dahl, 2007).

La dispersion du bruit qui provient d'une source précise dépend premièrement des caractéristiques de la source du bruit et, deuxièmement, du milieu océanique dans lequel il se trouve. Près de la source, le niveau de pression sonore (SPL) est en grande partie déterminé par les caractéristiques de la source. Quant aux ondes sonores qui s'éloignent de leur source en cours de propagation, elles se dispersent à un rythme qui varie selon des conditions particulières (Hildebrand, 2009). Au fur et à mesure qu'augmente la distance par rapport à la source, les facteurs environnementaux sont de plus en plus importants pour définir le champ sonore.

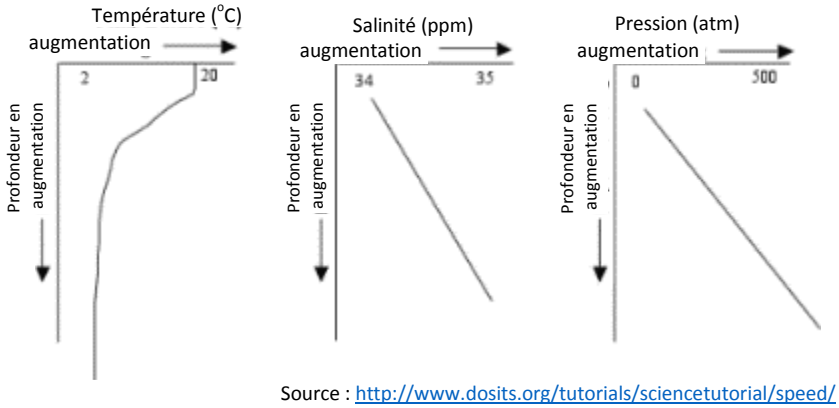
Au moment d'évaluer les effets du bruit sur un animal, il faut tenir compte non seulement de la composition de la fréquence sonore, mais aussi de la structure temporelle (Hildebrand, 2009). Les sons d'une source donnée peuvent voir leur amplitude augmenter alors que leur source

[7] Les scientifiques définissent la thermocline comme une région où la température change rapidement avec la profondeur.

[8] L'eau chaude a tendance à monter au-dessus de l'eau froide. Dans l'océan, une profondeur accrue correspond généralement à une température de l'eau plus basse. À l'inverse, l'augmentation de la pression qui accompagne la profondeur vient accélérer la vitesse du son. Ces deux forces concurrentes créent une zone (près du fond de la thermocline) de vitesse du son minimale. Les ondes sonores sont réfléchies, ou se réfractent, vers la zone de la vitesse du son minimale. Par conséquent, une onde sonore qui se déplace à travers une thermocline a tendance à se fléchir vers le bas à mesure que la vitesse du son s'accélère avec l'augmentation de la profondeur et de la pression. Ce fléchissement ascendant-descendant-ascendant-descendant des ondes sonores de basse fréquence permet aux ondes sonores d'être « piégées » dans un chenal et de se déplacer sur des milliers de mètres, voire des kilomètres, sans perte importante de l'énergie du signal (http://mrvanarsdale.com/).

s'approche de l'animal réceptionnaire, puis chuter alors qu'elle s'en éloigne. Compte tenu de la grande variabilité des sources sonores et des modifications de leurs caractéristiques lorsque les sons s'éloignent de leur source en cours de propagation, il faut considérer un large éventail de paramètres pour décrire correctement les sons. Lors de l'évaluation du bruit lié à la navigation commerciale, les acousticiens doivent examiner à la fois les contributions du trafic local, qui peut varier substantiellement au cours d'une journée, d'une semaine ou d'une année, et les contributions des navires distants, qui viennent augmenter le bruit de fond de l'océan et qui sont relativement constants au fil du temps.

Les trois principaux facteurs environnementaux qui ont une incidence sur la vitesse de propagation du son dans l'océan sont la température (°C), la salinité (ppm) et la pression (atm). Il est intéressant de constater de quelle façon ces facteurs varient dans un océan, tel qu'il est montré dans la figure 8.



Source : http://www.dosits.org/tutorials/sciencetutorial/speed/

Figure 8 : Profil de variation de la température, de la salinité et de la pression en fonction de la profondeur, pour un lieu de latitude moyenne en haute mer.

1.3.1 Température

Lorsque la température augmente, la vitesse de propagation du son augmente. La température, étant principal facteur ayant une incidence sur la vitesse du son, diminue habituellement avec la profondeur, ce qui s'accompagne d'une perte de vitesse du son. Sous les 1 000 mètres environ, toutefois, la température est assez constante, et le principal facteur ayant une incidence sur la vitesse du son devient alors la pression.

1.3.2 Salinité

Lorsque la salinité augmente, la vitesse de propagation du son augmente. Celle-ci est assez constante en haute mer. Un changement de salinité causera un léger changement à la densité, entraînant une variation de la vitesse de propagation du son. La plus grande variation de la salinité en pleine mer existe dans les environs des « fronts océaniques », des zones étroites qui séparent les masses d'eau de caractéristiques physiques différentes, présentant habituellement de très hauts gradients horizontaux de température et de salinité. Une variation encore plus grande de la salinité peut être prévue près de l'embouchure des rivières et de la glace lourde, ainsi que dans les régions aux chutes de pluie abondantes, où une couche d'eau douce repose sur une couche d'eau salée.

1.3.3 Pression

Dans la plupart des cas, la pression est plus importante que la salinité pour établir la vitesse de propagation du son. Dans l'eau de mer, son taux de changement est constant, et donc prévisible. La pression cause aussi un changement à la densité, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse de propagation du son. Tel que mentionné précédemment, la raison en est que plus une matière est dense, mieux le son se déplace à travers elle.

1.3.4 Tableau sommaire

Pour résumer, la propagation du son dans l'eau est relative aux caractéristiques de l'eau. La vitesse de propagation du son dans l'eau augmente avec l'augmentation de la température de l'eau, de la salinité et de la pression (profondeur). Il s'agit d'éléments essentiels à prendre en considération au moment d'évaluer comment le bruit associé à la navigation commerciale se propagera dans l'eau dans des lieux différents présentant des profils de température différents (c.-à-d. l'Arctique par opposition au sud de Vancouver), de salinité (c.-à-d. les Grands Lacs par opposition à la côte Atlantique) et de profondeur (c.-à-d. l'eau peu profonde par opposition à l'eau profonde). Le changement approximatif de la vitesse de propagation du son qui accompagne un changement de chaque propriété est le suivant.

- Température : 1°C = 4,0 m/s
- Salinité : 1 PSU = 1,4 m/s
- Profondeur (pression) : 1 km = 17 m/s

Le tableau 1 résume les principaux facteurs qui influent sur la vitesse du son dans l'océan.

Tableau 1 : Sommaire de la propagation du bruit dans les eaux océaniques

Lorsque le son se propage de l'eau à l'air	Perte d'environ 35,5 dB
Vitesse du son dans l'eau : 1 500 m/s	Vitesse du son dans l'air : 340 m/s
Dans l'eau et que la pression augmente	↗ Propagation de la vitesse du son
Dans l'eau et que la salinité augmente	↗ Propagation de la vitesse du son
Dans l'eau et que la température augmente	↗ Propagation de la vitesse du son

Source : http://www.dosits.org/tutorials

1.4 BRUIT AMBIANT

Dans l'air, le sens de la vue est très important. Habituellement, les animaux terrestres se fient d'abord à leur vision pour assurer leur survie. Lors mauvaises conditions météorologiques, telle une période de brouillard, il est très difficile de voir et de reconnaître l'environnement immédiat, ce qui peut conduire à des situations critiques. Dans le milieu aquatique, puisque le sens de l'ouïe est l'équivalent du sens de la vue dans l'air, un bruit ambiant très fort peut compromettre les activités essentielles des animaux marins.

Le concept de bilan sonore quantifie la contribution relative de différentes sources au niveau de bruit ambiant (Hildebrand, 2005). Le bruit ambiant est habituellement défini comme le bruit de fond qui intègre une large gamme de sources individuelles, dont certaines sont identifiées et

d'autres ne le sont pas (même si le type de source de bruit peut être connu, les sources particulières ne sont pas nécessairement distinguées) (Hildebrand, 2005; NRC, 2003). Il existe trois principales sources de bruit ambiant aquatique : les sources d'origine géophysique (y compris les effets des vagues, de la pluie, de la glace, de la grêle et de la marée), les sources d'origine humaine (y compris les navires) et les sources d'origine biologique (de la vie marine) (Wenz, 1962). Les deux premières sources sont illustrées dans la figure 9, alors que les principales sources de sons géophysiques naturels, de vocalises de cétacés et de sons anthropiques sont énumérées, respectivement, dans les tableaux 2, 3 et 4. Le bruit ambiant est composé de processus physiques naturels et, de façon croissante, de sources anthropiques (Dahl, 2007). À noter que certaines définitions du bruit ambiant excluent des sources identifiables, telles que les navires individuels, dont le son peut être localisé (NRC, 2003). Dans le contexte de la présente recherche, toutefois, le trafic des navires est inclus dans la définition, puisqu'il représente une source de bruit omniprésente dans les régions côtières affairées. En terminant, même si le bruit ambiant est toujours présent, les sources individuelles de bruit qui y contribuent ne produisent pas nécessairement des sons de façon continue.

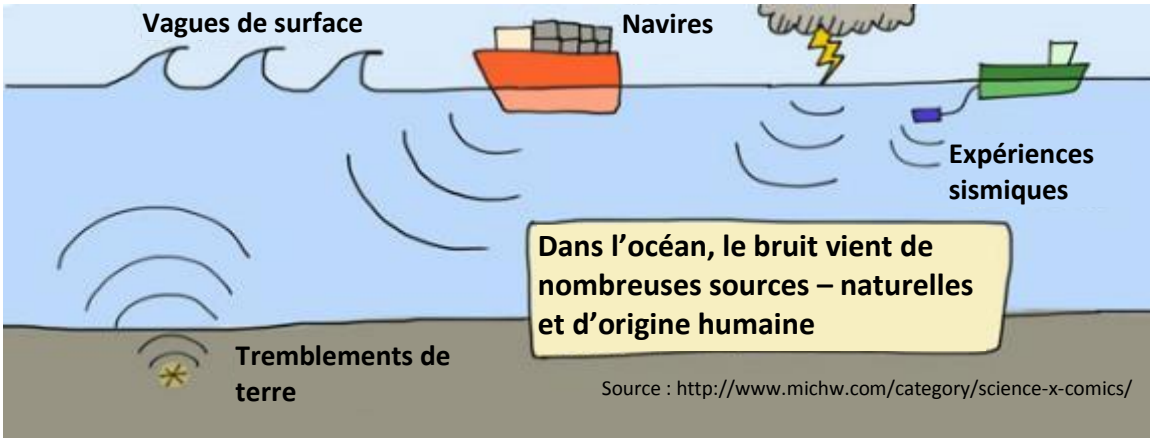


Figure 9 : Illustration de sources différentes de bruits naturels et anthropiques

Tableau 2 : Sources principales de sons d'origine géophysiques dans l'océan, avec leur fréquence associée

Source sonore naturelle	Fréquence (Hz)
Vagues causées par l'action du vent à la surface	De 1 à 100 000
Bulles oscillantes dans une colonne d'eau	De 10 à 100 000
Précipitation/pluie	De 100 à 20 000
Glace craquante	Jusqu'à 1 000
Tonnerre (de tempêtes situées à une distance de 5 à 10 km)	De 50 à 250

Source : Hildebrand, 2005, mais tiré des courbes de Wenz

Tableau 3 : Exemples de fréquences sonores produites par les vocalises de cétacés

Espèces de cétacés	Fréquence (Hz)
Rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*)	De 15 à 25
Rorqual commun (*Balaenoptera physalus*)	15 to 25
Autres mysticètes	25 to 2,000
Baleine à dents (appels de communication : sifflements et claquements)	0.5 to 20,000
Baleine à dents de petite taille (y compris les claquements d'écholocalisation directionnelle)	30 to 150,000

Source : Richardson, 1997

Tableau 4 : Exemples de fréquences sonores produites par les bruits sous-marins d'origine anthropique

Bruit d'origine anthropique	Fréquence (Hz)
Superpétroliers (337 m de long, 18 nœuds)	23
Navire de charge (173 m de long, 16 nœuds)	De 10 à 50
Réseau de canons à air (2 000 psi et 8 000 po^3)	50
Forage	< 100
Battage de pieux	De 100 à 500
Dragage	De 100 à 500
Motomarine	De 100 à 1000
Sonar militaire (SURTASS/ABF)	250
Navire de pêche (12 m de long – 7 nœuds)	300
Navire petit ou moyen (< 50 m pour les embarcations de plaisance; de 50 à 100 m pour les autres navires)	De 300 à 1 000

Source: Cluster Maritime Français, 2014; Hildebrand, 2005; McDonald, 2006

Dans l'océan, l'environnement acoustique ambiant est grandement variable (Hildebrand, 2005) et constitue un élément important d'un habitat marin (Hildebrand, 2009). L'expression « habitat acoustique » est couramment employée pour décrire ce paramètre. À tout lieu donné et à toute heure donnée, il peut y avoir combinaison d'un large éventail de sources. Les conditions (p. ex. la propagation du son, la profondeur de l'eau, la bathymétrie, la salinité, la pression, la température) qui sont présentes dans un lieu particulier peuvent influencer la façon dont les bruits ambiants sont reçus. Tel qu'il est mentionné ci-dessus, le son est généré par un large éventail de sources, autant naturelles qu'anthropiques, parfois de façon intentionnelle, parfois à titre de conséquence non intentionnelle d'une activité dans l'océan. Parmi les sources géophysiques naturelles, on trouve les vagues générées par le vent, les précipitations et la glace craquante. Les sons biologiques naturels comprennent les vocalises des baleines, les claquements des dauphins et les vocalises des poissons. La contribution du bruit biologique au bruit ambiant dans l'océan varie selon la fréquence, le temps et le lieu, et il est difficile d'en faire une généralisation. Dans certains cas, les modèles diurnes, saisonniers et géographiques peuvent être prévus (Wenz, 1962). Les sons anthropiques sont, quant à eux, générés par

diverses activités humaines, y compris la navigation commerciale, les levés géophysiques, le forage et la production de pétrole, le dragage et la construction, les systèmes de sonar et la recherche océanographique (Hildebrand, 2009). Dans l'univers des bruits anthropiques, les sons intentionnels sont produits dans un but explicite, comme la production de levés sismiques destinés à trouver de nouveaux réservoirs de combustibles fossiles. Les sons non intentionnels sont quant à eux générés en tant que sous-produit d'autres activités, comme le bruit produit par la machinerie d'un navire alors que celui-ci traverse un océan.

Avant la Révolution industrielle (vers 1850), la contribution de l'activité anthropique au bilan sonore était négligeable, et les niveaux de bruit dans l'océan étaient principalement créés par des phénomènes naturels (NRC, 2003). Les tendances du bruit ambiant au cours des dernières décennies indiquent que les niveaux sonores enregistrés en haute mer dans le Pacifique Nord ont augmenté de 10 dB ou plus entre 1950 et 1975 (Hildebrand, 2005). La contribution de la navigation commerciale au bruit ambiant a fait augmenter le bilan sonore jusqu'à 12 dB, coïncidant avec une augmentation importante du nombre de navires composant la flotte mondiale de navigation commerciale et de leur taille. Les sources de bruits anthropiques se font de plus en plus invasives et puissantes, ayant ainsi pour conséquence d'augmenter les niveaux de bruit ambiants de même que les niveaux d'intensité sonore de crête dans l'océan (Hildebrand, 2009).

1.4.1 Recherche sur le bruit au Canada

Le bruit sous-marin est reconnu comme un enjeu émergent au Canada, et un nombre croissant de projets y sont dédiés afin de mieux connaître et comprendre les répercussions que le bruit sous-marin provenant des navires pourrait avoir sur la vie marine. Les projets qui ont été portés à l'attention de l'auteure (en date du mois d'avril 2016) sont énumérés dans les tableaux 8, 9, 10 et 11 à la fin du rapport. Certains projets visent à combler des lacunes particulières en termes de connaissances dans des régions clés.

1.4.2 Défis liés à la mesure du bruit sous-marin ambiant

Des suivis acoustiques du bruit sous-marin effectués sur le long terme à l'aide d'une méthodologie uniformisée font partie des meilleures solutions qui permettraient d'acquérir des connaissances approfondies et quantitatives sur le paysage sonore dans une région donnée. Toutefois, pour faciliter la collecte et l'analyse des données, il y a des éléments importants à prendre en considération.

<u>Méthodologie et normalisation</u>

Il est préférable d'effectuer les suivis acoustiques nationaux en se conformant aux standards internationaux, nationaux et locaux. **À ce jour, il n'existe aucune exigence nationale sur les méthodes de collecte des données de bruit sous-marin au Canada**.

Les méthodes servant à mesurer le bruit sous-marin varient considérablement d'un projet à l'autre, et les paramètres utilisés pour analyser les données varient eux aussi en fonction du projet. Cette situation peut occasionner de l'ambiguïté dans les données récoltées. **De ce fait, des consultations avec les intervenants concernés devraient se tenir afin de veiller à la normalisation des données recueillies**.

<u>Base de données centralisée</u>

Le suivi acoustique et la caractérisation d'un environnement sonore représentent un réel défi, mais sont essentiels. Les données sur le bruit peuvent parfois être difficiles à analyser et à comparer parce qu'elles sont la propriété d'organismes distincts. Il n'existe aucune base de données centralisée. Étant donné que des renseignements déjà recueillis peuvent ne pas avoir fait l'objet de publication à l'heure actuelle, il est difficile d'accéder aux renseignements les plus à jour. **Une base de données centralisée faciliterait grandement l'approfondissement des connaissances émanant de toutes les recherches réalisées à ce jour, y compris des renseignements sur les limitations dans leur interprétation.**

1.5 BRUIT ANTHROPIQUE

Nombreuses sont les activités humaines qui génèrent des bruits sous-marins. Certaines de ces activités génèrent des sons intentionnellement (explosions, exploration sismique, sonar et dispositifs de dissuasion acoustique), alors que d'autres produisent des sons à titre de sous-produit non intentionnel à d'autres activités, comme dans le cas de la navigation commerciale et des activités industrielles (Hildebrand, 2009). Compte tenu des objectifs du présent rapport, le bruit produit par les navires commerciaux est abordé de façon distincte des autres sources afin de mettre en lumière les connaissances sur le sujet.

1.5.1 Grands navires commerciaux

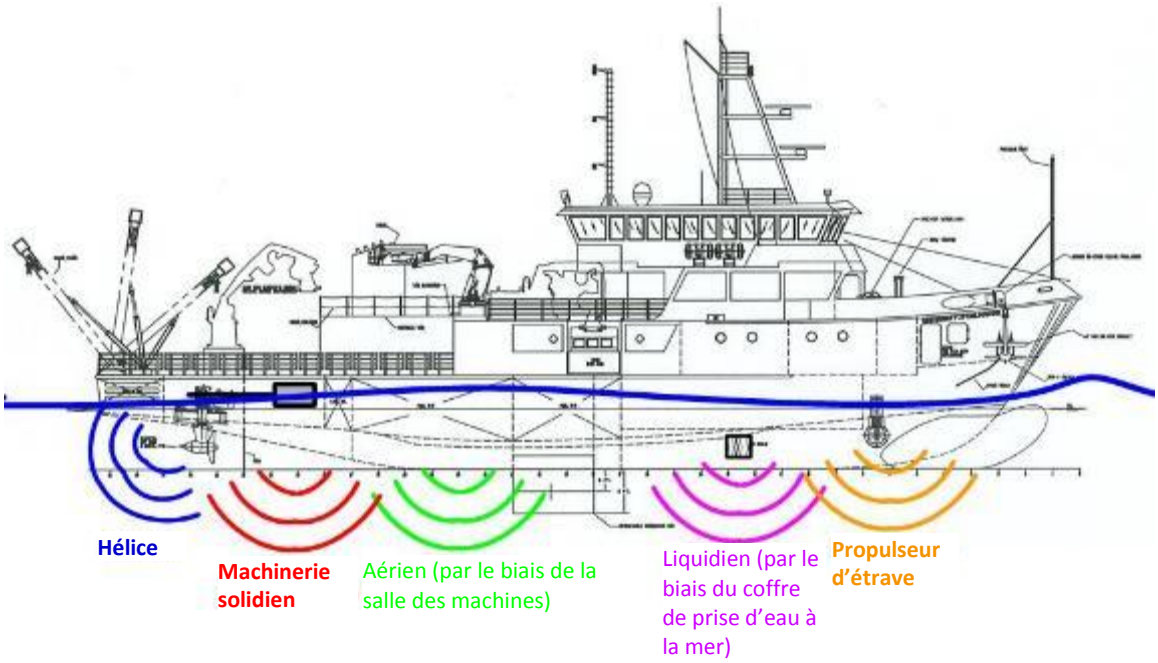
Les navires commerciaux constituent un élément omniprésent sur tous les océans du monde (Hildebrand, 2009). Dans de nombreuses régions océaniques, la navigation commerciale contribue de façon importante au bruit anthropique de basse fréquence (de 5 à 500 Hz) (Hildebrand, 2005; McKenna, 2012; OKEANOS Foundation, 2008). Ces basses fréquences peuvent voyager sur de grandes distances sans trop de perte d'énergie, ayant pour résultat que les navires contribuent au bruit ambiant sur de grandes régions géographiques. En hautes latitudes, le bruit découlant du trafic de navires est particulièrement apte à se propager sur de longues distances en raison du canal SOFAR qui se situe près de la surface de l'océan dans ces régions plus élevées. Le degré auquel le bruit lié à la navigation commerciale influe sur le bruit ambiant dépend de la combinaison particulière de l'indice d'affaiblissement acoustique, du nombre de navires et de la répartition de ceux-ci dans une situation donnée (Wenz, 1962).

Les analyses du bruit émanant des navires ont révélé que les systèmes de propulsion constituent la principale source de bruit sous-marin généré à des fréquences inférieures à 200 Hz (Hildebrand, 2009; Ross, 1976; Arveson, 2000). Du bruit additionnel[9] est généré par les navires commerciaux pendant les opérations normales, notamment en raison de la cavitation de l'hélice, dont la crête de fréquence oscille entre 50 et 150 Hz, mais qui peut générer des sons à des fréquences beaucoup plus élevées, au moins jusqu'à 100 000 Hz (Veirs, 2015). Ce sifflement de l'hélice est causé par les pales qui résonnent, émettant alors de fortes tonalités situées entre 100 et 1 000 Hz. Le bruit est une forme d'énergie perdue. Ainsi, lorsque du bruit est créé, cela signifie habituellement que l'on pourrait économiser cette énergie soit en

[9] Un règlement (II-1/3-12) de l'OMI faisant partie de la Convention pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS) qui est entré en vigueur le 1er juillet 2014 exige que les nouveaux navires soient construits de manière à réduire le bruit à bord et à protéger le personnel du bateau contre le bruit excessif. Le règlement est conforme au code obligatoire révisé s'appliquant aux niveaux sonores à bord des navires, qui établit les limites du niveau sonore pour les espaces réservés aux machines, les salles de contrôle, les ateliers, les emménagements et les autres espaces à bord des navires.

entretenant mieux l'équipement, soit en travaillant à améliorer les designs ou à les rendre plus silencieux. De plus, non seulement la cavitation génère beaucoup du bruit, mais elle peut également endommager les pales d'hélice en causant une érosion accélérée.

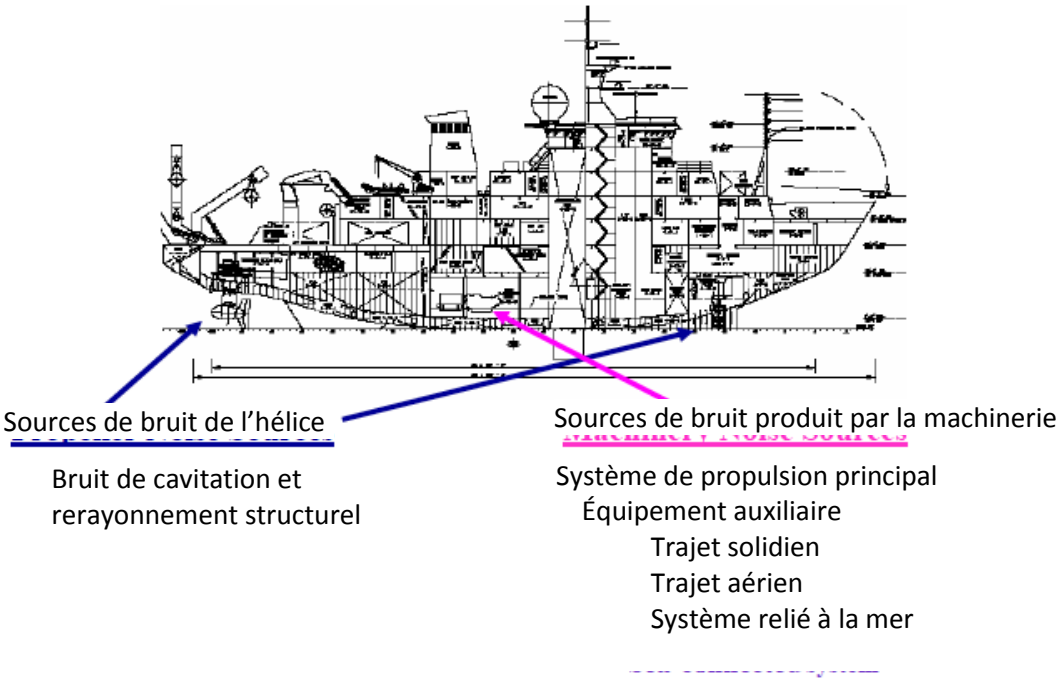
Les navires génèrent principalement du bruit par a) l'action des hélices, b) les machines propulsives et c) le débit hydraulique sur la coque (Hildebrand, 2005; Hildebrand, 2009). La figure 10 montre les principales sources de bruit d'un navire.



Source : Ray Fischer, Noise Control Engineering, LLC, et Michael Bahtiarian, Noise Control Engineering, Inc.

Figure 10 : Le profil d'un navire et les sources de bruit principales.

Tel qu'il est montré dans la figure 11, il y a deux sources principales de bruit du moteur à bord d'un navire : le bruit de l'hélice et le bruit de la machinerie.



Source : Image adaptée de Ray Fischer, Noise Control Engineering, LLC

Figure 11 : Le profil d'un navire et les sources de bruit provenant de l'hélice et de la machinerie.

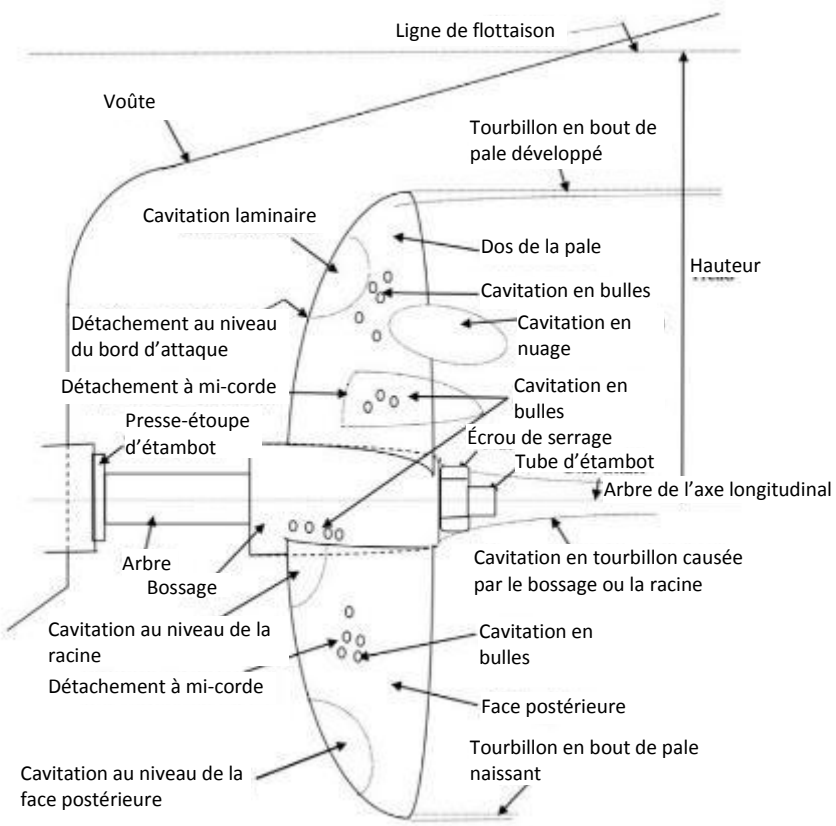
a) Bruit de l'hélice

Le bruit de l'hélice est associé à la cavitation, qui se produit lors de la formation d'une zone de basse pression tout juste après l'hélice, causée par sa rotation, ce qui provoque la création de milliers de minuscules bulles d'air qui se forment dans l'eau (Ross, 1993; Hildebrand, 2009; IFAW, 2008). C'est le bruit lié à l'explosion de ces milliers de bulles qui constitue le bruit de cavitation à basse fréquence engendré par les navires. Ainsi, la cavitation (à large bande lorsque les bulles éclatent, mais de fréquence généralement basse) et la tonalité des pales (à bande étroite et aussi à fréquence généralement basse) sont les sources dominantes de bruit sous-marin (Hildebrand, 2005; Hildebrand, 2009; Comité de la protection du milieu marin (CPMM), 2009). Notons que des expériences ont confirmé que la cavitation génère également un bruit à une fréquence plus élevée d'au moins 100 000 Hz (Veirs, 2015; Wenz, 1962). Finalement, les composantes de la large bande et de la tonalité que produit la cavitation représentent de 80 à 85 p. 100 du bruit généré par les navires à moteur (Hildebrand, 2005; Ross, 1987; Southall, 2005).

Lorsqu'un navire est équipé d'une hélice qui génère beaucoup de cavitation, c'est toute l'hélice qui est plus à risque d'être fortement endommagée. Tel qu'illustré dans la figure 12, les surfaces de l'hélice sont assujetties à un bombardement d'eau constant à l'intérieur d'un champ de pression en fluctuation. Les matériaux de l'hélice sont ductiles aux températures normales de l'eau de mer; toutefois, le premier signe d'un problème est ce que l'on appelle l'effet « peau d'orange », où la surface des pales subit une déformation, ce qui la rend rugueuses, à l'image de la peau du fruit.

Lorsque la charge de l'hélice est plus grande, le bruit généré par la cavitation de l'hélice à des fréquences de moins de 100 Hz représente le principal bruit sous l'eau. Selon le réglage du pas,

une hélice contre-rotative (HCR) peut générer du bruit d'une fréquence plus élevée (CPMM, 2009).

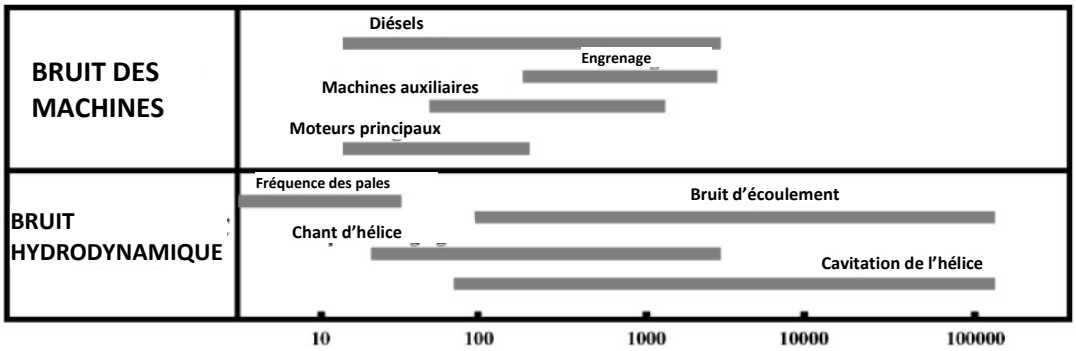


Source : http://iims.org.uk/introduction-propeller-cavitation/

Figure 12 : Cavitation de l'hélice

b) Machinerie

Les moteurs diésel principaux, ainsi que les moteurs diésel auxiliaires, représentent d'importantes sources de bruit, en raison de leur potentiel de causer des vibrations portées par la structure qui rayonnent par la coque. Initialement produites par le fonctionnement des moteurs et autres machineries, ces vibrations transmises à la coque génèrent des fréquences de moins de 100 Hz. À basse vitesse, ceci représente la principale source de bruit des navires. Les réducteurs des moteurs à vitesse moyenne peuvent générer du bruit à des fréquences beaucoup plus élevées (> 1 000 Hz). Le bruit de la machinerie devient significatif pour les navires opérant à basse vitesse (p. ex. à l'approche des ports). Même si le bruit diffusé par la coque, qui origine de la vibration des machines, constitue une source de bruit sous-marin, il n'y a pas de certitude quant à son importance sur le bruit total produit par un navire (CPMM, 2009). La figure 13 illustre la plage des fréquences produites par diverses parties d'un navire.



Source : CPMM, 2009

Figure 13 : La plage des fréquences produites par certaines des parties les plus bruyantes d'un navire.

c) Appendices

Le bruit généré par le débit d'eau autour des appendices (le bruit hydrodynamique) est d'une faible intensité se situant à des fréquences de moins de 20 Hz. Le bruit du débit autour de la coque est généralement minime par rapport au bruit généré par la cavitation de l'hélice et au bruit des machines, mais contribue de façon croissante aux sons à basse fréquence au fur et à mesure qu'augmente la vitesse des navires (CPMM – OMI, 2009).

1.5.1.1 Signature acoustique

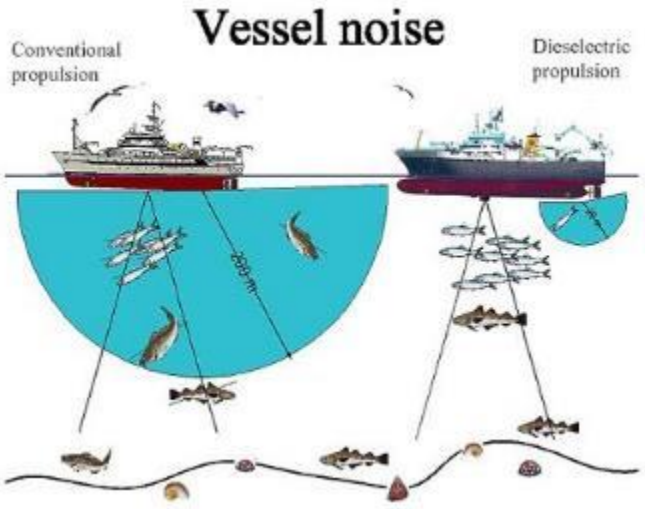
Les navires produisent des signatures acoustiques uniques[10] associées à des niveaux sonores et à des bandes de fréquences. Notons que ces signatures peuvent changer en fonction de la vitesse du navire, de sa charge et des activités qui peuvent avoir lieu à bord de celui-ci (Hildebrand, 2009). Le débit hydrodynamique sur la coque d'un navire et des appendices représente une source de bruit importante à large bande, particulièrement lors de l'accroissement de la vitesse des navires (Hildebrand, 2005).

Il est intéressant de noter que, d'après le CPMM, le bruit interne pouvant affecter la qualité de vie de l'équipage généré par les moteurs diesel et les hélices est pris en considération dans la conception d'une partie, mais non de la totalité des navires commerciaux; toutefois, le bruit qui est diffusé dans l'environnement marin n'y est pas nécessairement pris en considération (CPMM, 2009). Les vibrations des machines individuelles en opération ainsi que celles dans les espaces de vie et de travail sont habituellement mesurées par mesure d'entretien préventif. Pour quelques types de navires particuliers, dont ceux destinés à la recherche ou à la pêche par exemple, des mesures des niveaux acoustiques sous-marins sont effectuées au cours de la phase de conception, et seulement sur demande. Le bruit est abordé pendant la conception ou la nouvelle construction de navires seulement dans la mesure où il faut obtenir des niveaux de bruit inférieurs aux limites réglementaires ou contractuelles dans les aménagements et les autres espaces d'équipage et de travail. La mission première d'un navire (p. ex. pour la guerre,

[10] Les crêtes de tonalité aiguës produites par les machines rotatives et alternatives, telles que les moteurs diésel, les génératrices diésel, les pompes, les ventilateurs, les soufflettes, les centrales d'énergie hydraulique et les autres auxiliaires, font souvent partie de la signature acoustique.

la pêche, la recherche ou les levés géophysiques) détermine souvent si d'autres investissements pour réduire les émissions sonores seront nécessaires pendant la construction.

Certains types de navires spécialisés nécessitent de réduire au minimum leurs émissions sonores pour accomplir efficacement leur devoir (CPMM, 2009). Par exemple, les navires de guerre en surface et en sous-surface ont besoin d'être silencieux autant que possible afin d'éviter d'être détecté par un navire d'un camp adverse. De la même façon, les navires participant aux recherches sur les pêches doivent émettre le moins de bruit possible. La raison est simple : comment peut-on estimer avec exactitude une population de poissons si ceux-ci s'éloignent à l'approche du navire de recherche, tel qu'illustré dans la figure 14? Le Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM[11]) a établi, pour les navires de recherche, des limites de bruit qu'il faut respecter pour observer les populations de poissons sans avoir d'incidence majeure sur leur comportement. Cela explique pourquoi tant d'organisations et de pays investissent dans les technologies de réduction du bruit pour leurs flottes d'observation des poissons. Ces navires de haute technologie disposent donc de nombreuses stratégies pour en réduire leur bruit.



Source: NOAA

Bruit des navires

Propulsion conventionnelle

Propulsion avec diesel-électrique

Figure 14 : La différence entre la propulsion conventionnelle et la propulsion avec un moteur diesel-électrique.

Un navire présentant les meilleures caractéristiques acoustiques, par exemple, un navire de recherche, peut avoir été conçu en intégrant les éléments suivants :

1) un hydrodynamisme offrant une conception de coque et d'hélice unique et intégrée;
2) des équipements intrinsèquement silencieux qui sont rotatifs plutôt qu'alternatifs;
3) Utilisation de dispositifs de suspension (Isolation des vibrations) ;
4) la disposition des équipements plus bruyants vers la ligne de centre du navire;

[11] http://anp.gov.br/brasil-rounds/round8/round8/guias_r8/sismica_r8/Bibliografia/Mitson%201995%20-%20Underwater%20noise%20of%20research%20vessels.pdf

5) une double coque ou la disposition des réservoirs d'eau de ballast et de carburant à l'extérieur de la salle des machines pour contribuer à isoler le bruit des moteurs;
6) un choix judicieux de l'architecture propulsive (par exemple le type de moteur de propulsion ou l'orientation vers une architecture diesel-électrique).

Source : https://teacheratsea.wordpress.com/tag/vessel-noise/
http://www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/acoustics/session2_fischer.pdf

1.5.1.2 Mesure du bruit des navires

La meilleure façon de démontrer qu'un navire respecte certains critères relatifs au bruit rayonné sous l'eau consiste à mesurer directement le bruit dans le milieu acoustique approprié. Cette mesure doit être effectuée pendant que le navire est en route, et, pour des raisons pratiques, le bruit doit être mesuré à une certaine distance du navire sur l'ordre de longueur approximative du navire (Patterson, 2012). Quelques options de mesure du bruit sous-marin sont disponibles, bien qu'il y ait eu récemment une augmentation du nombre de types de méthodes employées.

La principale préoccupation quant à la mesure du bruit des navires est qu'il n'y a toujours pas de méthode et de normes techniques communément acceptées pour l'évaluation du bruit sous-marin qui rayonne des navires, à l'exception des deux méthodes suivantes, utilisées pour la mesure « à la source » des navires. Les deux méthodes sont reliées, puisque l'organisation ISO est dérivée d'ANSI.

- La norme ANSI/ASA S12.64-2009 définit une procédure de mesure consistant à évaluer le bruit sous-marin rayonné par les navires, dans des conditions d'eau profonde, mais qui ne précise pas de lignes directrices sur les critères relatifs au bruit sous-marin.
- La norme ISO 17208-1:2016 définit, de façon générale le système, la procédure et la méthode que l'on utilise pour mesurer le bruit sous-marin venant des navires dans des conditions de fonctionnement prescrites. Cette norme ne précise ou ne donne pas de lignes directrices sur les critères relatifs au bruit sous-marin, et elle n'aborde pas les effets potentiels du bruit sur les organismes marins.

De plus amples renseignements sur la mesure du bruit des navires se trouvent dans les articles mentionnés dans la section 1.2.3 du présent rapport.

1.5.1.3 Bilan sonore des navires

Tel que mentionné précédemment, les émissions sonores des navires commerciaux contribuent en grande partie au bruit ambiant dans les océans (NRC, 2003). De façon générale, les grands navires génèrent proportionnellement plus de bruit à de basse fréquence (< 1 000 Hz) en raison de leur puissance relativement importante, de leur grand tirant d'eau et de leurs moteurs et hélices à vitesse de rotation plus faible (< 250 tr/min) (Veirs, 2015; Richardson et coll., 1995). En haute mer et au large du plateau continental, loin des routes maritimes, le bruit à haute fréquence qui est généré par un navire sera absorbé dans un rayon d'environ 10 km, souvent avant d'atteindre le système auditif d'une espèce à statut précaire (Veirs, 2015). Notons toutefois que, dans les estuaires urbains, les mammifères marins sont exposés au bruit des navires dans un rayon de 1 à 10 km habituellement, et parfois même à moins de 100 m (Veirs, 2015).

Au cours de l'évaluation du bruit des navires, ceux-ci sont habituellement répartis dans quatre grandes catégories telles qu'elles sont définies par leurs codes de navire du système d'identification automatique (AIS). Cette information est disponible dans le tableau 5. Ce tableau est présenté à titre informatif pour aviser le lecteur des niveaux de pression sonore (SPL) approximatifs que produisent certains types de navires différents. Ces données peuvent être différentes d'une étude à l'autre, selon la méthodologie employée, la vitesse des navires au moment de la mesure, et d'autres facteurs particuliers.

Tableau 5 : Bilan sonore des navires[12]

Catégorie de navires	**Type de navire**	**SPL** (dB pour 1µPa à 1 m)
Commercial (code du AIS : 70 à 89, 30 à 32, 52)		
Navires de charge (code du AIS : 70 à 79)	Conteneur	178 ± 4
	Porte-véhicules	176 ± 3
	Transporteur de marchandises diverses	175 ± 5
	Vraquier	173 ± 5
Navire-citerne (code du AIS : 80 à 89)	Navire transporteur de pétrole ou de produits chimiques	174 ± 4
Remorqueur (code du AIS : 31, 32, 52)	Remorqueur	170 ± 5
Pêche (code du AIS : 30)	Pêche	164 ± 9
Passager (code du AIS : 60 à 69)	Traversier	166 ± 8
	Croisière	180
	Autres	165
Autres (code du AIS : 90 à 99)		165
Divers[13] (tous les autres codes)		165
	Militaire	161 ± 10

[12] Veirs (2015) et Basset et coll. (2012) ont obtenu des niveaux de source moyens différents des navires mesurés. D'après Veirs (2015), les valeurs moyennes relativement faibles obtenues lors de leur projet de recherche ne peuvent pas s'expliquer par l'utilisation d'une méthodologie distincte. L'explication la plus probable est une différence quant à la conception navale distincte et/ou aux caractéristiques de fonctionnement des navires qui fréquentent les eaux de Puget Sound et du détroit de Haro. De plus, il est probable que les navires mesurés par Basset et coll. (2012) opéraient à des vitesses plus grandes

[13] La catégorie « Divers (tous les autres codes) » sert à combiner les types de navires peu communs (p. ex. les navires effectuant des opérations sous-marines et les équipements antipollution) de même que les types de navires qui sont sous-représentés par les statistiques du AIS (p. ex. les navires militaires et les embarcations de plaisance).

Embarcation de plaisance	159 ± 9

Source : Veirs, 2015; Basset et coll., 2012

Partout dans le monde, de nombreux efforts sont déployés afin de faire avancer le développement de technologies destinées à rendre les navires plus silencieux. De ces efforts, notons la mise en œuvre des normes techniques, la mise en place de régimes incitatifs et/ou l'élaboration de règlementations. Ces efforts sont menés (entre autres) par les organisations énumérées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Exemples d'organisations faisant avancer les technologies destinées à rendre les navires plus silencieux ou encourageant les amateurs à réduire leurs émissions sonores.

Organismes internationaux	Organisation internationale de normalisation (ISO), Organisation maritime internationale (OMI)
Sociétés de classification des navires	DNV (SILENT), Bureau Veritas (BV NR614), ABS (à faire)
Organisme de certification environnementale	Alliance verte, Green Award, SILENV
Gouvernements	Allemagne, Royaume-Uni
Armateurs	MAERSK Lines, Mediterranean Shipping Company (MSC), Evergreen

Source : Robinson, 2014

1.5.2 Bruit non lié à la navigation commerciale

Le bruit non lié à la navigation commerciale, c.-à-d. le bruit sous-marin d'origine anthropique associé à la construction et au développement industriel, à l'exploration sismique, à l'utilisation de sonars, aux détonations et/ou à d'autres activités humaines, est lui aussi préoccupant. Les ports peuvent être particulièrement bruyants, non seulement en raison du trafic de navires, mais aussi en raison d'activités portuaires comme le battage de pieux, le dragage et les opérations des chantiers navals. Dans certaines régions, les activités industrielles liées à la production pétrolière et gazière extracôtière représentent une source importante de bruit sous-marin. Toutes ces activités en cours qui génèrent du bruit peuvent avoir des effets cumulatifs[14] dans les régions clés où l'industrialisation est importante, et elles peuvent donc elles aussi être grandement préoccupantes.

a) Exploration sismique

L'exploration sismique est la principale technique de localisation et de surveillance des réserves de pétrole et de gaz naturel[15]. Le profilage de réflexion sismique utilise des sons de forte

[14] Des effets cumulatifs découlent des répercussions supplémentaires, en accumulation et/ou en interaction d'une activité lorsqu'elles s'ajoutent aux autres répercussions passées ou présentes (Hegmann et coll., 1999).

[15] Les activités extracôtières d'exploration pétrolière et gazière et de construction se produisent le long des marges continentales. Les régions visées actuellement par de telles activités comprennent le nord de l'Alaska et le nord-ouest du Canada, l'est du Canada, le Golfe du Mexique aux É.-U. et au Mexique, le Brésil, l'Afrique du Sud, la mer du Nord, le Moyen-Orient, le nord-ouest de l'Australie, la Nouvelle-Zélande, le sud de la Chine, le Vietnam, la Malaisie et l'Indonésie.

intensité pour créer une image de la croûte terrestre. Les réseaux de canons à air en fonction servent à produire des sons nécessaires au profilage de réflexion sismique (Hildebrand, 2005). Les canons à air rejettent un volume précis d'air sous pression, créant une onde de pression sonore sous l'effet de l'expansion et de la contraction de la bulle d'air rejetée. Afin de produire de plus fortes intensités, on actionne plusieurs canons à air à un instant précis de manière à produire une pulsation sonore cohérente. De façon générale, les réseaux de canons à air de l'industrie pétrolière comptent de 12 à 48 canons. Par souci de conformité avec la littérature sur l'acoustique sous-marine, les niveaux sonores des réseaux de canons à air font l'objet d'un rétrocalcul selon une source équivalente concentrée dans un volume d'un rayon d'un mètre, produisant des niveaux sonores à la source pouvant atteindre 256 dB pour 1 µPa à 1 m dans le cas de la pression de sortie exprimée en valeur quadratique moyenne (RMS) (Hildebrand, 2005). La pression de champ sonore d'un réseau de canons à air est focalisée verticalement, étant d'environ 6 dB plus forte verticalement qu'horizontalement pour un réseau typique.

b) Sonars

Les systèmes de sonar servent à sonder l'océan en créant intentionnellement de l'énergie acoustique. Ils recherchent de l'information sur les objets se trouvant dans une colonne d'eau, sur le fond marin ou dans le sédiment. Un sonar actif émet de l'énergie acoustique de forte intensité et reçoit de l'énergie réfléchie et/ou dispersée. Les applications civiles et militaires peuvent comprendre une large gamme de systèmes de sonar, que l'on peut catégoriser ainsi : ceux de basse fréquence (< 1 000 Hz), ceux de moyenne fréquence (de 1 à 20 000 Hz) et ceux de haute fréquence (>20 000 Hz). Par exemple, certains sonars actifs à basse fréquence (ABF) de la marine des É.-U. utilisent un réseau de 18 projecteurs fonctionnant sur une plage de fréquences de 100 à 500 Hz, avec un niveau sonore à la source de 215 dB pour 1 µPa à 1 m pour chaque projecteur (Hildebrand, 2005). Certains sonars commerciaux conçus pour localiser des poissons génèrent habituellement des sons à des fréquences de 3 à 200 000 Hz, leur niveau sonore à la source allant de 150 à 235 dB pour 1 µPa à 1 m.

c) Dispositifs de dissuasion acoustique

Les dispositifs de dissuasion acoustique (DDA) utilisent des sons pour éloigner les mammifères marins des activités de pêche. L'objectif est d'utiliser une source locale de dérangement acoustique pour garder à distance les mammifères marins. Pour certaines pêches, on peut aussi utiliser une bouée acoustique de détection pour réduire la capture accessoire de mammifères marins. Ces dispositifs produisent habituellement une faible puissance d'un niveau sonore à la source de 130 à 150 dB pour 1 µPa à 1 m. Les dispositifs de harcèlement acoustique (DHA), qui servent à réduire la déprédation des mammifères marins sur les poissons capturés ou cultivés, sont des dispositifs de haute puissance d'un niveau sonore à la source de 185 à 195 dB pour 1 µPa à 1 m. Les bouées acoustiques de détection et les DHA ont une fréquence de 5 000 à 160 000 Hz et génèrent des pulsations d'une durée de 2 à 2 000 ms (Hildebrand, 2005).

d) Explosions

Les explosions nucléaires et chimiques sont les deux catégories d'explosions anthropiques causées dans ou sur l'océan. Les explosions nucléaires constituent des sources extrêmement fortes de bruit sous-marin. Les explosions chimiques[16] sont plus mobiles et plus facilement réalisables dans un contexte océanique. Dans les années 1960, on a fait état d'un nombre

[16] Les caractéristiques spectrales et d'amplitude des explosions chimiques varient selon le poids de la charge et la profondeur de la détonation.

étonnamment élevé (de 300 à 4 000 par mois) d'explosions sous-marines dans le Pacifique Nord (Hildebrand, 2005). De nos jours, la majorité des explosions chimiques s'effectuent dans le cadre de la construction et de l'enlèvement de structures sous la mer, principalement par l'industrie pétrolière.

e) Activités industrielles et construction

Le battage de pieux, le dragage, le forage, les centrales électriques, les éoliennes et les écluses en opération sont des exemples d'activités industrielles et de construction qui contribuent au bruit sous-marin dans l'océan et le long du littoral. Les activités industrielles stationnaires, telles que le forage pétrolier, le battage de pieux pour la construction[17] et les parcs éoliens extracôtiers, génèrent habituellement du bruit ayant le plus fort de leur énergie à de basses fréquences (de 20 à 1 000 Hz) (Hildebrand, 2009).

f) Petits navires

Dans l'environnement acoustique océanique mondial, les plus petits navires ne contribuent pas significativement à l'accroissement du bruit ambiant. Toutefois, ils peuvent constituer une importante source sonore locale (Hildebrand, 2005). La piètre documentation du nombre d'embarcations de plaisance rend difficile l'évaluation de la véritable incidence de ceux-ci, quoique des évidences indiquent qu'ils introduisent une quantité substantielle de bruit près des côtes. Cette situation est particulièrement préoccupante dans les régions où les activités de pêche, par exemple, représentent une industrie économique locale d'importance. De plus, puisqu'aucun dispositif AIS[18] n'est obligatoire à bord des petites embarcations, les défis s'accentuent lorsqu'il s'agit d'analyser les données sur le bruit et de les associer à un navire ou une embarcation en particulier. Les embarcations considérées dans cette catégorie sont les bateaux hors-bord et semi-hors-bord, les motomarines, les voiliers et autres. Les niveaux sonores des bateaux d'observation des baleines, par exemple, varient de 115 à 127 dB re : 1 µPa à 1 m sur les bandes d'un tiers d'octave[19] (Hildebrand, 2005). Ceci dit, un tel bateau n'est habituellement pas problématique à lui seul, mais il peut avoir une incidence sur la vie marine s'il opère en même temps que d'autres embarcations du même type.

1.6 MESURES D'ATTÉNUATION

Les défis sont nombreux quand vient le temps de trouver des façons de réglementer les effets du bruit ou encore à encourager le développement de mesures d'atténuation appropriées. L'un de ceux-ci est les lacunes dans les connaissances sur les caractéristiques et les niveaux d'exposition sonore qui peuvent poser des risques aux animaux marins. Dans le but de décrire et de présenter des mesures d'atténuation, il est possible de décrire le bruit sous-marin d'origine anthropique comme un son pouvant causer des effets négatifs. En regard des travaux

[17] La propagation du bruit causé par le battage de pieux vers l'extérieur du site de l'impact varie selon le type de substrat.

[18] Le *Règlement fédéral sur la sécurité de la navigation* est entré en vigueur le 10 mai 2005. On y indique ce qui suit : « À l'exception des navires de pêche, les navires de 500 tonneaux ou plus qui n'effectuent pas un voyage international doivent être munis d'un AIS ».

[19] Pour des raisons pratiques, la plage de fréquences audibles est séparée en segments inégaux que l'on appelle des octaves. Une octave plus haute signifie que la fréquence double. Chaque bande d'octave peut être séparée en trois plages appelées des bandes d'un tiers d'octave.

réalisés en vue de la mise en œuvre de la *directive-cadre « Stratégie pour le milieu marin »* pour l'Union européenne, le bruit est ici classifié en deux catégories :

- le **bruit impulsionnel**, défini comme un son émis par une source ponctuelle qui consiste en une ou plusieurs pulsations de courte durée et en de longs intervalles entre pulsations;
- le **bruit continu**, communément défini comme du bruit de fond sans source distinctive.

Selon le type de bruit, les effets négatifs sur la vie marine seront différents, et bien entendu, ils pourront être atténués par des mesures différentes. Ces mesures comprennent habituellement un ensemble de procédures et de solutions technologiques visant à réduire l'incidence environnementale des activités humaines qui produisent du bruit en mer. Il est important de noter qu'à mesure que de nouvelles technologies sont développées et/ou que des pratiques exemplaires de gestion sont élaborées, certaines de ces mesures et/ou procédures sont révisées ou remplacées de manière à réduire davantage l'incidence du bruit sous-marin sur la vie marine.

1.6.1 Bruit impulsionnel

Selon les caractéristiques du bruit impulsionnel émis, les répercussions négatives affecteront différemment les espèces. De plus, certains effets touchent des individus uniquement, tandis que d'autres touchent des groupes et, parfois même, des populations entières. La réaction de chaque mammifère marin au bruit peut différer selon l'espèce, les caractéristiques individuelles, l'âge, le sexe, l'expérience préalable du bruit, l'état comportemental ainsi que d'autres facteurs possibles. Les réactions observées chez les mammifères marins en présence de bruit sont par exemple la diminution de l'efficacité à trouver de la nourriture, de plus grandes demandes énergétiques, une moins grande cohésion des groupes, une plus grande vulnérabilité face à la prédation et une diminution du succès de reproduction. Dans tous les cas, ces conséquences négatives ont des effets non négligeables sur une population parfois déjà fragilisée par d'autres facteurs.

Au cours des dernières années, bien que la science offre des recommandations quant aux limites d'exposition au bruit des mammifères marins et d'autres espèces, certaines organisations internationales ont élaboré des lignes directrices visant à atténuer les effets négatifs des activités humaines reconnues pour générer d'importantes sources de bruit sous-marin.

Ces lignes directrices visent entre autres les activités suivantes :

- l'utilisation de sonars actifs à grande puissance au cours d'opérations militaires ou civiles;
- la production de levés sismiques pour l'exploration pétrolière et gazière et la recherche géophysique;
- le développement industriel côtier et extracôtier;
- le prolongement des ports;
- l'utilisation ou l'élimination d'explosifs.

Dans certaines de ces lignes directrices, on recommande d'avoir recours à des procédures et à des pratiques de gestion exemplaires qui sont reconnues pour atténuer les effets négatifs du

bruit. Parmi les mesures d'atténuation qui sont employées le plus fréquemment, se trouve l'évaluation du risque par la modélisation acoustique, la localisation d'espèces dans des régions à faible risque et/ou certaines périodes clés de l'année, la désignation d'une zone d'exclusion autour d'une source de bruit précise, l'augmentation graduelle des niveaux source dans l'espoir que les animaux quittent les zones de travaux (c.-à-d. les procédures de démarrage graduel), la surveillance de zones particulières effectuée visuellement ainsi qu'acoustiquement par un observateur de mammifères marins (OMM) qualifié, ainsi que l'utilisation des meilleures solutions techniques (p. ex. rideaux de bulles d'air) reconnues pour réduire les émissions de bruit. Quelques-unes de ces mesures d'atténuation sont présentées dans certaines règlementations existantes pouvant être mentionnées dans la partie 2 du présent rapport.

1.6.2 Bruit continu

Le bruit continu le plus répandu dans les océans du monde provient des navires. Ce bruit a diverses répercussions directes possibles sur la vie marine locale, en plus de contribuer au bruit de fond à basse fréquence sur de grandes distances. Afin d'être en mesure d'atténuer de façon efficace les effets cumulatifs causés par la navigation commerciale (augmentation du niveau de bruit dans les océans et le risque de collision avec les baleines), d'autres recherches sont nécessaires. Il faut entre autre investiguer plus en profondeur sur les mesures efficaces de réduction de bruit.

Tel que mentionné précédemment, de nombreux efforts ont été déployés afin de réduire les émissions sonores des navires et des sous-marins de guerre et ce, depuis plusieurs années. Les motivations sont grandes pour agir ainsi : réduire au minimum les risques d'être détectés par le clan adverse. De la même façon, les technologies de réduction du bruit des navires de recherche, de pêche, des traversiers et certains navires de croisières progressent rapidement (Commission OSPAR, 2009). Mais de façon générale, la plupart des technologies de réduction du bruit qui ont été employées à ce jour ont été au profit de l'équipage et des passagers.

L'atténuation du bruit des navires commerciaux pose de nombreux défis. Le premier concerne l'actuel manque d'installations d'essais en milieu naturel. L'amélioration de l'efficience et/ou la réduction de la cavitation auxquelles prétendent les développeurs et les fabricants sont rarement confirmées par des recherches indépendantes. De plus, peu de résultats de recherche sont actuellement disponibles quant aux projets mettant l'accent sur la différence du bruit généré par un navire avant et après l'entretien de l'hélice et de la coque. Les liens entre l'efficacité énergétique, la cavitation et le bruit des navires doivent être étudiés davantage dans la mesure où les gains d'efficacité qu'offrent les technologies de réduction du bruit sont spéculatifs dans la plupart des cas (ACCOBAMS, 2013). À ce propos, des résultats scientifiquement démontrés pourraient s'avérer très efficaces pour inciter les armateurs à enquêter davantage sur les mesures de réduction du bruit pour leurs navires et à y investir davantage.

Pour réduire les effets négatifs liés au bruit d'un navire commercial, deux types de solutions peuvent être envisagées. La première vise davantage la conception même du navire, alors que la deuxième se concentre sur les mesures opérationnelles et l'entretien général. Une harmonisation des mesures d'atténuation demeure la méthode optimale d'augmenter les probabilités de réduire le bruit à la source. De plus, pour les bâtiments existants, il s'avère essentiel de baser d'éventuels investissements dans la mise en œuvre de mesures d'atténuation

techniques sur des mesures crédibles et scientifiquement éprouvées de la signature de bruit du navire, et ce, afin de déterminer clairement la ou les principales sources de bruit.

a) Considérations liées à la conception des navires

Compte tenu du fait que le bruit des navires est principalement causé par la cavitation et les machineries, le plus grand éventail de possibilités de réduction du bruit sous-marin s'effectue généralement lors de la conception initiale des navires. Ces mesures sont peu susceptibles de s'appliquer aux bâtiments existants, même s'ils peuvent sembler raisonnables et envisageables. En 2014, l'Organisation maritime internationale (OMI) a publié ses « Lignes directrices pour la réduction du bruit sous-marin de la navigation commerciale aux conséquences néfastes sur la vie marine », qui visaient principalement à présenter des conseils généraux sur la réduction du bruit aux concepteurs, aux constructeurs et aux exploitants de navires. Ces lignes directrices abordent essentiellement les sources primaires de bruit sous-marin, en raison de la complexité associée à la conception et à la construction de navires.

- Hélices : Certaines hélices sont conçues et connue pour réduire la cavitation. Une bonne conception permettant de réduire la cavitation intègre des mesures destinées à optimiser la charge des hélices, à garantir que le débit d'eau des hélices est le plus uniforme possible et à assurer une sélection précise des caractéristiques des hélices (diamètre, nombre de pales, pas, asymétrie et sections).
- Conception de la coque : L'eau qui parvient à l'hélice provient du champ de sillage qui s'écoule le long de la coque du navire. Plus cette eau est hétérogène et chargée de bulles, plus importante sera la cavitation. Ainsi, la forme de la coque des navires et les annexes de celle-ci devraient être conçues de sorte que le champ de sillage soit le plus homogène possible.
- Machines à bord : Les machines, en particulier les moteurs diésel principaux et les moteurs diésel auxiliaires, représentent une source de bruit en raison de leur potentiel de causer des vibrations portées par la structure qui rayonnent par la coque. Lorsque les navires se déplacent à basse vitesse, les vibrations causées par la coque constituent la principale source de bruit aux fréquences inférieures à 100 Hz. Dans cette optique, le choix des machines à bord, ainsi que des mesures de contrôle des vibrations appropriées, l'emplacement adéquat des équipements dans la coque et l'optimisation des structures de fondation devraient être pris en considération afin de contribuer à la réduction du bruit rayonné sous l'eau et du bruit à bord. Les propulsions de type diesel-électrique ont été identifiés comme étant des équipements relativement plus silencieux.

b) Considérations opérationnelles et liées à l'entretien

Alors que les mesures identifiées précédemment s'appliquent davantage aux nouvelles constructions, les considérations opérationnelles et liées à l'entretien sont applicables tant pour les nouveaux bâtiments que les bâtiments existants. Par mesures opérationnelles, il est ici question de réduction de vitesse et de changement d'itinéraire visant à réduire tout impact négatif de la navigation sur la vie marine. De ce fait, la présence d'espèces vulnérables et leur répartition saisonnière dans des régions données devraient être prises en considération afin de maintenir et d'assurer une efficacité optimale des changements visant à assurer la protection et la conservation des espèces menacées.

- Nettoyage des hélices et de la portion submergée de la coque: Les salissures marines et la rugosité des surfaces de la coque augmentent le phénomène de cavitation en créant un champ de sillage hétérogène et chargé de bulles. Ainsi, le nettoyage et le polissage des pales d'hélice, et le nettoyage de la portion submergée de la coque contribuera à réduire la cavitation, tout en rendant le déplacement des navires plus efficace en réduisant leur résistance sur l'eau et leur charge de l'hélice. De plus, à noter que les revêtements de la coque permettant de réduire la résistance et la turbulence en général peuvent contribuer à la réduction du bruit, en plus d'accroître l'efficacité énergétique.
- Réduction de la vitesse : La réduction de la vitesse des navires peut s'avérer une mesure opérationnelle efficace pour réduire le bruit des navires munis d'une hélice à pas fixe (HPF). Le bruit est diminué davantage si la vitesse du navire chute en deçà de la vitesse de création de la cavitation (VCC)[20] de l'hélice. Étant donné qu'une hélice à pales orientables (HPO) n'a pas de VCC, le fait de ralentir un navire muni d'une HPO ne changera pas l'intensité ou la distance de portée du bruit rayonné. Par conséquent, pour ces navires, il s'avère préférable d'envisager des combinaisons optimales de vitesse de rotation de l''arbre et de pas d'hélice.
- Changement d'itinéraire : Changer l'itinéraire d'un navire pour éviter une aire marine sensible peut contribuer à réduire les impacts négatifs de la navigation sur la vie marine, surtout dans les zones à forte fréquentation d'espèces de baleines à statut particulier et reconnues pour être particulièrement affectées par le bruit des navires ou les risques de collision avec ceux-ci. Tel que mentionné précédemment, toute décision de changement d'itinéraire devrait être fondée sur les informations les plus crédibles et à jour concernant la répartition des espèces et leur distribution saisonnière.

À titre d'intervenants importants au sein de l'industrie maritime, les sociétés de classification jouent un rôle essentiel en améliorant les règles qu'elles encadrent afin de réduire l'empreinte environnementale de l'industrie. Pour aider les constructeurs et les exploitants de navires à réduire le bruit sous-marin qui rayonne des navires, certaines sociétés de classification ont élaboré des normes techniques abordant ce sujet.

- **Det Norske Veritas (DNV)** a été la première société de classification à publier un avis portant sur le bruit rayonné sous l'eau. En 2010, DNV a publié la norme technique intitulée *SILENT*, qui s'applique au bruit sous-marin rayonné des navires, afin de veiller à ce que les navires aient une empreinte environnementale réduite en lien avec le bruit sous-marin.
- **Bureau Veritas** est une société de classification internationale de premier plan qui a élaboré norme technique volontaire BV NR614, qui concerne le bruit rayonné sous l'eau.
- **American Bureau of Shipping (ABS)** élabore actuellement une norme technique portant sur le bruit sous-marin, incluant des critères d'évaluation adaptés aux nouveaux bâtiments visant à contrôler et réduire le bruit.

[20] La *vitesse de création de la cavitation* (VCC) représente la vitesse la plus basse d'un navire à laquelle la cavitation se produit.

1.7 RECHERCHE SUR LE BRUIT LIÉ À LA NAVIGATION COMMERCIALE AU CANADA

La présence de plusieurs navires éloignés l'un de l'autre contribue au bruit de fond en haute mer, et la somme des nombreuses sources distantes atteint un maximum de sa fréquence à l'intérieur de la bande de 5 à 500 Hz (Hildebrand, 2005). Les préoccupations croissantes quant aux répercussions environnementales que peut causer l'introduction de bruit anthropique, jumelées au fait que les technologies utilisant l'acoustique pour cartographier le fond marin sont plus précises dans des environnements silencieux, sont venues renforcer la nécessité de mesurer et de mieux comprendre le bruit rayonné sous l'eau provenant de tous les types de navires (Patterson, 2012).

Il y a un réel besoin de mieux comprendre et de quantifier le bruit sous-marin qui découle du secteur du transport maritime au Canada. Des informations sur le sujet ont déjà été recueillies et analysées par divers intervenants, mais les enjeux liés à la publication des données font en sorte que ces informations ne sont peut-être pas encore accessibles. À ce sujet, les tableaux 8, 9, 10 et 11 qui se trouvent à la fin du présent rapport présentent certains des projets qui ont été portés à l'attention de l'auteure en date du mois d'avril 2016 qui se rapportent aux initiatives visant à mesurer le bruit lié à la navigation commerciale au Canada.

1.7.1 Défis en lien avec les méthodes de mesure du bruit lié à la navigation commerciale

Tel que mentionné précédemment, la navigation commerciale contribue à l'augmentation des bruits sous-marins à basse fréquence. Chaque navire diffuse un niveau de bruit différent dans le milieu marin, selon son type, sa conception ainsi que l'état d'entretien de la coque et de l'hélice, en plus des conditions d'opération. Il y a de nombreux défis et d'importantes lacunes dans les connaissances qui devront être abordés afin de mieux comprendre la contribution des navires commerciaux au paysage sonore marin. Afin d'en arriver à réduire le bruit dans les milieux aquatiques, il sera essentiel d'avoir une compréhension approfondie des raisons qui font en sorte qu'un navire génère du bruit (les principales sources de bruit et en quelle proportion), des raisons pour lesquelles un navire est plus bruyant qu'un autre, de même qu'une connaissance avancée des technologies de réduction du bruit pouvant être appliquées.

a) Méthodologie

Dans l'objectif de s'assurer d'avoir des données comparables d'un océan à l'autre, il serait essentiel d'avoir des méthodologies de mesures du bruit des navires qui soient semblables et une base de données centralisées dans laquelle emmagasiner l'information. Cet enjeu rejoint les préoccupations en lien avec les mesures de bruit ambiant discutées précédemment.

b) Base de données de référence sur le bruit lié à la navigation commerciale

Pour être en mesure d'affirmer qu'un navire est plus bruyant que la moyenne, il est essentiel d'accéder à une base de données centralisée comprenant un répertoire des signatures de bruit des navires prenant en compte l'environnement dans lequel la mesure a été faite. À l'heure actuelle, il n'existe aucune base de données centralisée permettant ce type d'analyse. L'établissement d'un réseau national de station de mesure du bruit des navires, principalement pour recueillir les signatures de bruit des navires commerciaux, mais aussi pour mesurer le bruit ambiant dans des régions différentes, offrirait une base de données de référence fiable.

c) Efficacité des technologies de réduction du bruit des navires et des mesures d'atténuation

Il existe très peu de technologies visant à réduire le bruit des navires commerciaux ou de mesures d'atténuations qui ont été mises à l'essai en mer au Canada. Améliorer les connaissances dans ce champ d'expertise serait certainement utile aux décideurs et aux gens responsables de l'élaboration des politiques.

d) Autres contributeurs de bruit anthropique

Lors de la mesure du bruit d'un navire à l'aide d'hydrophones, de nombreux autres bruits provenant de sources variées sont également enregistrés. Certains sont parfois difficiles à reconnaître. Tel est le cas par exemple des petites embarcations qui ne sont pas tenues d'être équipées d'un dispositif AIS à bord, compliquant ainsi l'analyse de leur contribution sonore. Ce défi est particulièrement important dans les eaux fortement fréquentées par les navires de pêche, puisqu'ils peuvent parfois se retrouver en grand nombre dans des espaces restreints. Ceci étant dit, il importe de travailler afin d'établir des moyens pour réduire au minimum et de gérer le bruit de ces navires, en concordance avec le maintien d'une industrie économique locale d'importance.

1.8 LA VIE MARINE, GÉNÉRATRICE DE BRUIT

Bon nombre d'espèces marines sont reconnues comme d'importants producteurs de bruit (Wenz, 1962). Les cétacés et autres espèces marines utilisent le sens de l'ouïe de la même façon que les humains utilisent le sens de la vue. En effet, les propriétés de propagation (portée et vitesse de transmission) distinctives du son en milieu aquatique et les limites associées aux autres sens, tels que la vue, le toucher, le goût et l'odorat, font en sorte que le son est le moyen sensoriel de prédilection pour une grande majorité d'animaux marins (PNUE, 2012). Ceci est principalement dû au fait que dans les océans, la visibilité sous l'eau est limitée à quelques dizaines de mètres, et régulièrement beaucoup moindre. Par conséquent, un éventail de taxons marins, y compris les mammifères marins, de nombreux poissons et certains invertébrés, ont développé des organes et des mécanismes spéciaux pour détecter et émettre des sons sous-marin (PNUE, 2012).

La contribution des apports biologiques au bruit océanique ambiant varie selon la fréquence, l'heure et le lieu; elle est donc difficile à généraliser. Dans certains cas, des patrons diurnes, saisonniers et géographiques peuvent être prédits (Wenz, 1962). Pour de nombreux organismes marins, y compris les mammifères marins, les poissons, les tortues et les invertébrés, l'utilisation des sons sert de moyen de communication, de localisation de partenaires, de recherche de proies, de fuite d'un prédateur et d'avertissement de dangers potentiels, de maintien de la cohésion entre les individus et d'assurer l'orientation et la navigation sur de courtes et longues distances. De fait, le bruit anthropique qui est introduit dans le milieu marin peut possiblement affecter négativement les organismes marins de nombreuses façons. Par exemple, il peut augmenter le phénomène de masquage des signaux biologiques importants, entraînant diverses réactions comportementales et, lorsque les bruits anthropiques sont très forts, ils peuvent aller jusqu'à blesser, voire même causer la mort des espèces marines (Commission OSPAR, 2009). Il est intéressant de noter qu'il a été démontré que de façon générale, les organismes marins choisissent leur emplacement de vie et modifient leur comportement en partie en fonction du bruit ambiant naturel et anthropique (Hildebrand, 2009).

1.8.1 Mammifères marins : sons générés et plage auditive

Les sons produits diffèrent selon qu'il s'agisse de mysticètes (baleines à fanons), d'odontocètes (baleines à dents, dauphins et marsouins) et de pinnipèdes (phoques, otaries et morses)[21]. Les grands mysticètes ont tendance à produire des sons dans la plage de basses fréquences comprises entre 10 et 1 000 Hz, avec quelques signaux de plus de 10 000 Hz (Hildebrand, 2005; Southall, 2007). Quant aux odontocètes, ils ont tendance à produire des sons dans la plage de moyennes et de hautes fréquences comprises entre1 000 et 150 000 Hz.

Afin de maximiser l'utilisation de l'environnement acoustique sous-marin, les mammifères marins ont développé une plage de fréquences auditives plus large que celle que l'on retrouve habituellement chez les mammifères terrestres (Hildebrand, 2005, PNUE).

a) Mysticètes

[21] Le mot « pinnipède » qualifie ce qui a des nageoires aux pieds et désigne les mammifères marins qui ont des nageoires antérieures ou postérieures. Ce groupe comprend le phoque, le lion de mer et le morse. Ces animaux vivent dans l'océan, mais peuvent passer de longues périodes sur la terre.

Les mysticètes regroupent des espèces de cétacés généralement solitaires, dont les individus vivent éloignés les uns des autres. En produisant des sons de basse fréquence, les mysticètes ont développé des systèmes de communication acoustique leur permettant de communiquer sur de grandes distances, facilitant ainsi les interactions sociales. Les sons produits peuvent généralement être décrits comme des appels tonals, des balayages à modulation de fréquence et des tonalités impulsionnelles. Tous ces types de sons peuvent être générés sous forme de vocalise individuelle ou être combinés en séquences ou en chants suivant un patron. Le rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*) produit des vocalises à basse fréquence (de 10 à 100 Hz) avec des niveaux sources estimés à 185 dB re : 1µPa à 1 m (Hildebrand, 2005). La plupart des grands mysticètes (p. ex. le rorqual bleu, le rorqual commun, la baleine noire, la baleine boréale et la baleine grise) s'expriment à des fréquences inférieures à 1 000 Hz, avec des niveaux sources estimés qui peuvent atteindre les 180 dB re : 1µPa à 1 m (Hildebrand, 2005; Richardson, 1995).

b) Odontocètes

Les odontocètes produisent des cliquetis et des sifflements à large bande situés entre 5 000 et 150 000 Hz, variant d'une espèce à l'autre. Ils peuvent aussi produire des séries de pulsations et de cliquetis allant de 1 000 à 25 000 Hz. L'écholocation, définie comme étant la capacité d'utiliser des sons pour déterminer les caractéristiques d'un environnement physique et les objets qui s'y trouvent, a été démontrée pour au moins 13 espèces d'odontocètes (Hildebrand, 2005; Richardson, 1995). Le niveau source déclaré des odontocètes a atteint les 228 dB re : 1 µPa à 1 m dans le cas du faux-orque (*Pseudorca crassidens*) et les 232 dB re : 1 µPa à 1 m en ce qui concerne le cachalot mâle (*Physeter macrocephalus*) (Hildebrand, 2005); ces sons à haute fréquence sont toutefois rapidement absorbés dans l'environnement marin, ce qui les rend audibles sur de courtes distances seulement. Les sifflements des odontocètes se situent à un niveau source inférieur à celui des claquements, étant d'environ 169 dB re : 1 µPa à 1 m dans le cas du grand dauphin (*Tursiops truncatus)* (Hildebrand, 2005).

c) Pinnipèdes

Les pinnipèdes émettent une plage limitée d'aboiements et de cliquetis allant de moins de 1 000 Hz à 4 000 Hz. Tous les pinnipèdes utilisent des sons pour établir et maintenir le lien entre la mère et le petit. Seules quelques espèces de pinnipèdes ont été étudiées pour en estimer les niveaux sources et les fréquences quant aux appels sous-marins. Le phoque de Weddell (*Leptonychotes weddellii*), par exemple, produit des sons de 148 à 193 dB re : 1 µPa à 1 m, à des fréquences de 200 à 12 800 Hz (Hildebrand, 2005). Ces appels peuvent être détectés sur une distance de plusieurs kilomètres en mer libre et sous la glace.

Plage d'audition des mammifères marins

La plage d'audition d'un individu est déterminée par les caractéristiques du son reçu, par le système de réception et par les conditions du bruit ambiant (externe ou interne) (Southall, 2007). Les mammifères marins ont plusieurs moyens et organes de réception des sons, et, pour en optimiser la perception, ils effectuent un traitement des signaux sonores au sein de la cochlée et du système nerveux.

Les capacités auditives des mammifères marins sont quantifiées chez des sujets vivants en utilisant des techniques d'audiométrie et/ou électrophysiologiques (Southall, 2007). Pour les espèces qui ne sont pas ou ne peuvent pas être étudiées *in vivo*, certaines caractéristiques auditives peuvent être estimées en fonction des fréquences de sons produits (Richardson, 1995;

Southall, 2007). Les audiogrammes comportementaux sont obtenus grâce à des études réalisées en captivité sur des animaux entraînés en utilisant des procédures normales de tests psychométriques. Toutefois, étant donné que les mammifères marins de grande taille sont difficiles à garder en captivité, les résultats obtenus des audiogrammes comportementaux sont habituellement basés sur des études réalisées sur quelques individus[22], parfois même sur un seul animal (Southall, 2007). L'audiométrie électrophysiologique, qui peut être effectuée à la fois sur des animaux en captivité et sur des animaux en liberté, constitue une autre méthode d'évaluation des capacités auditives des mammifères marins. Elle consiste à mesurer de petits voltages électriques produits par l'activité neurale lorsque le système auditif est stimulé par un son (Southall, 2007). Les deux procédures peuvent conclure à un seuil de détection des sons comparable pour au moins quelques espèces de cétacés (Southall, 2007). Le tableau 7 résume les plages moyennes d'audition et de vocalisation des mammifères marins.

Un seuil auditif se défini comme étant le plus bas niveau sonore audible chez une espèce, pour un certain pourcentage des tests effectués (Southall, 2007). Autrement dit, il s'agit du niveau sonore minimal auquel il y a une forte probabilité de détection des signaux. Le seuil réfère donc à une statistique, soit lorsque le signal a été entendu à au moins 50 % du temps (Erbe, 2012). Il est à noter que les espèces diffèrent quant à leur capacité auditive absolue et à la plage de fréquence audible fonctionnelle. Bien que ces études soient essentielles à la compréhension des capacités auditives générales, il est évident que les animaux vivant en milieu naturel sont rarement à l'écoute de signaux acoustiques simples provenant de sources ponctuelles, et ne vivent pas dans un environnement à bruit contrôlé. Ainsi, pour un individu sauvage, sa capacité à détecter un son est limitée par le fait que le son doit être supérieur aux niveaux de bruit ambiant et/ou au seuil de détection de l'animal (Erbe, 2012).

Tableau 7 : Tableau résumé de la capacité auditive et des plages de vocalisation des mammifères marins.

Mammifère marin	Sensibilité auditive (Hz)	Crête de fréquence (Hz)
Mysticètes	De 20 à 20 000 ou 30 000	De 10 à 2 000
Odontocètes	De 100 à 160 000 environ	
– cliquetis		De 5 000 à 150 000
– sifflement		De 1 000 à 25 000
Pinnipèdes	De 1 000 à 20 000	Moins de 1 000 à 4 000

Source : Hildebrand, 2005

1.8.2 Poissons, tortues et autres espèces marine : sons générés et plage auditive

Le milieu marin est sombre pour toutes les espèces qui y vivent. La façon dont les animaux utilisent leur sens de l'ouïe et leurs capacités acoustiques varie largement.

a) Poissons

[22] Ces individus sont généralement obtenus avec opportunisme. La différence associée à la sensibilité auditive propre à chaque sujet, ainsi que les variantes méthodologiques entre les différentes expériences peuvent conduire à des conclusions inexactes lorsque les audiogrammes sont fondés sur des données provenant d'un seul animal (Southall, 2007). De plus, il importe de noter qu'à ce jour, de tels audiogrammes ont été réalisés pour seulement 20 espèces marines environ, et, dans chaque cas, sur un seul individu ou quelques individus seulement (Erbe, 2012).

Il existe plus de 32 000 espèces de poissons, démontrant une grande diversité dans leur physiologie, leur comportement et leur cycle biologique. Ils utilisent le son pour naviguer, communiquer, sélectionner un habitat, se reproduire, fuir les prédateurs et détecter des proies (PNUE, 2012). Tous les poissons ont un système auditif pour détecter les sons de même que pour assurer leur positionnement statique et leurs déplacements dans la colonne d'eau (Popper et coll., 2014; PNUE, 2012). Il est à noter que la plage et la sensibilité d'audition varient considérablement d'une espèce à l'autre. À cet effet, la sensibilité au son peut se produire en deçà de 100 Hz pour certaines espèces et aller jusqu'à plusieurs milliers d'Hertz pour d'autres (Popper et coll., 2014).

Le système de ligne latérale est, pour les poissons, une troisième façon de ressentir leur milieu. Les récepteurs du système réagissent à un déplacement relatif entre la surface corporelle du poisson et les eaux environnantes. Dans le cas précis des émissions sonores, le poisson doit se trouver très près de la source pour qu'il ressente le changement relatif de pression via sa ligne latérale. Ce changement de pression est notamment dû au déplacement des particules. (Popper et coll., 2014).

Les poissons produisent habituellement des sons de basse fréquence (de 50 à 2 000 Hz, mais le plus souvent de 100 à 500 Hz). Localement, leurs vocalises peuvent représenter une part importante du bruit ambiant (Hildebrand, 2009). Aussi, les sons générés ne sont pas seulement produits en tant qu'individus, mais parfois en chœur (Hildebrand, 2009). Se faisant, lorsqu'ils harmonisent leurs vocalises, les poissons peuvent augmenter l'intensité du bruit ambiant de jusqu'à 20 ou 30 dB. À noter que la plupart des sons produits par les poissons demeurent à ce jour inconnus en raison de l'absence d'études détaillées.

b) Tortues marines

Les scientifiques reconnaissent actuellement sept espèces de tortues marines : la tortue verte, la tortue imbriquée, la tortue de Kemp, la tortue caouanne, la tortue olivâtre, la tortue marine à dos plat et la tortue luth. Trois de ces espèces fréquentent les eaux canadiennes : la tortue luth, la tortue caouanne et la tortue verte. Aucune espèce de tortue marine niche sur les plages canadiennes. Ces tortues partagent des caractéristiques morphologiques semblables, à l'exception de la carapace qui est différente chez la tortue luth en comparaison avec les espèces à carapace dure (Popper et coll., 2014).

À l'instar de nombreuses espèces de poissons et de mammifères marins, les tortues marines utilisent différents habitats durant chacun de leur stade de développement (Ferrara, 2014). Dès l'éclosion, les nouveau-nés sont épipélagiques[23], se servant des courants marins de différents niveaux et de façon multidirectionnelle. Après environ 7 à 10 années de cette étape pélagique, un changement drastique se produit durant lequel la majorité des tortues marines se déplacent soit vers les milieux peu profonds, soit vers des milieux profonds. À ce moment, elles sont considérées comme juvéniles. Après l'atteinte de la maturité sexuelle, les tortues marines migrent dans les habitats de fourrage, de reproduction et de nidification, cohabitant spatialement et temporellement avec les juvéniles. Ceci étant dit, l'environnement acoustique ambiant change avec chaque étape de leur développement (Ferrara, 2014).

[23] Partie constitutive de l'océan où il y a suffisamment de lumière présente pour la photosynthèse.

La communauté scientifique a longtemps cru que les tortues n'émettaient aucun son, qu'elles étaient des espèces silencieuses. C'est probablement en raison du fait que les vocalises des tortues sont relativement rares et de faible amplitude (Ferrara, 2013). Bien que très peu de données existent sur les capacités auditives sous-marines des tortues marines ou sur les effets physiologiques et comportementaux potentiels du son sur les tortues marines, il existe des éléments de preuve indiquant que les tortues marines sont en mesure de détecter les stimuli acoustiques et d'y avoir une réaction comportementale (Dow Piniak et coll., 2012). Certaines expériences ont été réalisées auprès de quelques espèces par audiogramme des potentiels évoqués auditifs (PEA)[24] avec des stimuli aériens et des vibrations. Il s'avère toutefois difficile d'extrapoler les résultats de ces quelques études pour les appliquer à toutes les tortues marines. D'autres mesures préliminaires de la capacité auditive des tortues marines ont indiqué que la plage auditive de celles-ci se situe entre 50 et 1 200 Hz (Lavender, 2012; Popper et coll., 2014). Une autre étude sur la tortue caouanne a indiqué que celle-ci a une plage auditive de basse fréquence, dont la sensibilité optimale se situe entre 100 et 400 Hz (Martin, 2012). D'autres études anatomiques ont démontré que l'oreille des tortues marines est capable de percevoir les sons de basse fréquence dans l'air (Martin, 2012).

Les tortues marines ne semblent pas vocaliser ou utiliser de son pour communiquer, mais pourraient les utiliser pour naviguer, localiser des proies, éviter des prédateurs et détecter leur environnement (Dow Piniak et coll., 2012). Toutefois, la capacité auditive des tortues de mer chevauche les fréquences et les niveaux sources produits par de nombreuses sources anthropiques (Dow Piniak et coll., 2012).

Une étude récente a conclu que les embryons et les nouveau-nés de la tortue luth produisent plusieurs bruits et sons, ce qui indiquerait qu'ils communiquent les uns avec les autres avant l'éclosion. En effet, les scientifiques ont enregistré plus de 300 sons différents. Ne sachant pas si la communication entre embryons est essentielle ou non à la coordination de l'éclosion des tortues marines, cette étude a de vastes conséquences pour leur conservation. Des chercheurs ont observés que le bruit anthropique des bateaux à moteur et d'autres sources pourrait avoir une plus grande incidence qu'on le croyait précédemment. En terminant, il est démontré que les tortues communiquent sous l'eau à l'aide de sons de basse fréquence dont elles utilisent pour effectuer leurs déplacements collectifs et leur recherche de partenaires (Ferrara, 2014).

c) Invertébrés

Relativement peu d'information est connue sur les capacités de détection du son chez les invertébrés. Toutefois, bon nombre d'espèces disposent de mécanorécepteurs qui rappellent le système auditif des vertébrés (Moriyasu, 2004). Selon les informations disponibles, il est de plus en plus évident que plusieurs invertébrés marins sont sensibles aux sons et aux stimuli connexes (Moriyasu, 2004). Chez les espèces de crustacés, il est connu que les principaux récepteurs de vibrations se trouvent dans les statocystes[25] et les pattes locomotrices, que ce soit dans la cuticule ou dans les articulations entre segments de pattes (Moriyasu, 2004). Une étude (Tautz,

[24] L'audiogramme des PEA est une technique destinée à mesurer la sensibilité. Les enregistrements des PEA peuvent ne pas représenter pleinement les capacités auditives des animaux, puisque les PEA ne comprennent pas les signaux traités par le cerveau et qu'ils ne reflètent souvent pas les audiogrammes obtenus par expérience comportementale (24).

[25] Organe de l'équilibre chez certains invertébrés aquatiques.

1980) a démontré que l'écrevisse (*Cherax destructor*) a, sur ses pinces, des poils sensoriels qui sont hautement sensibles aux fréquences de vibration d'eau situées entre 150 et 300 Hz.

Les crevettes sont connues pour produire des sons de fréquence moyenne. Certaines espèces de crevettes (*Alpheus spp.* et *Synalpheus spp.*) produisent des sons grâce à une pince élargie qui émet un jet d'eau, créant ainsi une énergie acoustique à large bande. Ce bruit est si important qu'à l'occasion il peut représenter la source dominante de bruit ambiant de fréquence moyenne (Hildebrand, 2009). En effet, la présence de cette crevette peut faire augmenter de 20 dB les niveaux de bruit ambiant dans la bande de fréquences moyennes (Hildebrand, 2009).

1.9 RÉPERCUSSIONS DES BRUITS SOUS-MARINS ANTHROPIQUES SUR LA VIE MARINE

1.9.1 Aperçu

Les préoccupations relatives aux effets néfastes du bruit anthropique sur la vie marine ont débuté dans les années 1970 et se sont poursuivies dans les années 1980 en raison des préoccupations grandissantes relatives aux canons à air sismiques et à leurs effets potentiels sur les populations de baleines de l'Arctique. Les données actuellement disponibles sur les effets du bruit anthropique sur les mammifères marins et les autres espèces marines sont de qualité variable. À bien des égards, les lacunes dans les connaissances restreignent grandement la possibilité d'élaborer des critères pour limiter l'exposition au bruit basés sur des données scientifiques. De plus, ces données de qualité variable ne peuvent convenir pour être utilisés comme référence (Southall, 2007). L'intérêt récent envers cet enjeu et les préoccupations suscitées en lien avec les effets du bruit anthropique sur les mammifères marins ont conduit à de nouveaux projets de recherche d'importance, et les données scientifiquement valides et objectives qui en découleront pourront mieux informer et éclairer les ministères responsables qui pourront ensuite travailler de façon efficace à atténuer les effets néfastes du bruit anthropique sur les espèces protégées (Southall, 2007).

Au Canada, le bruit sous-marin d'origine anthropique est considéré comme une menace au rétablissement de plusieurs espèces en péril protégées en vertu de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP). D'ailleurs, les plans de rétablissement de ces espèces qui en font état présentent habituellement leur niveau de vulnérabilité. En effet, des indices ont mené la communauté scientifique à constater que les bruits anthropiques constituaient un facteur de perturbation, en plus d'être identifié comme un élément potentiellement responsable du déplacement géographique de certaines espèces de baleines. Qui plus est, un bruit anthropique ne vient jamais seul : combiné à d'autres menaces, les effets des perturbations acoustiques peuvent être plus grands lorsqu'ils sont combinés avec d'autres éléments de risque tels que les collisions avec les navires, la destruction de l'habitat, la perte de ressources alimentaires, etc. (COSEPAC, 2011).

1.9.2 Effet du bruit sur les mammifères marins

Le bruit sous-marin n'affecte pas négativement toutes les espèces de la même façon. En effet, plusieurs facteurs jouent un rôle déterminant quand vient le temps d'évaluer l'impact des activités bruyantes sur les espèces marines, telle que les caractéristiques des émissions de bruit à la source (puissance, durée, fréquence), le milieu environnant dans lequel la situation se produit et les espèces en présence (McDonald, 2006). Ainsi, le bruit généré par les grands navires commerciaux est peu susceptible d'endommager l'appareil auditif des mammifères

marins à la suite d'expositions brèves ou peu fréquentes (Lawson, 2013). Toutefois, ce même bruit chevauche une partie de la plage de fréquences sonores qu'utilisent de nombreuses espèces de cétacés, surtout celles qui font leurs vocalises à de basses fréquences, telles que le rorqual bleu, le rorqual commun, la baleine boréale, la baleine noire et la baleine à bosse. (Lawson, 2013; Clark et coll. 2009). C'est ce que l'on appelle le « masquage des signaux ». En conclusion, la navigation commerciale peut impacter à plusieurs degrés les cétacés. D'une part en raison de l'exposition au bruit et d'autre part en raison des zones de cooccurrence entre baleines et navires qui pourraient entraîner des collisions. Quoi qu'il en soit, plusieurs conséquences sur la santé des mammifères marins sont répertoriées, affectant leur comportement et leur utilisation de l'habitat (Lawson, 2013).

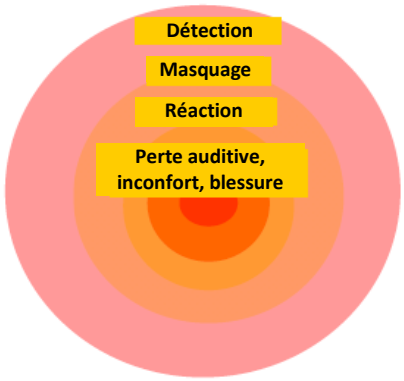
Il existe une grande variabilité dans les conséquences que les bruits anthropiques peuvent avoir sur les individus, les groupes et les populations de mammifères marins. Plusieurs éléments affectent le degré de réaction au bruit et au trafic des navires (Richardson et coll., 1995) et peuvent être décrits comme suit (tirés de Lawson, 2013). Le bruit peut:

- Être trop faible pour être entendu. Il est donc de niveau inférieur au niveau de bruit ambiant, ou inférieur à la plage d'audition de l'espèce, le rendant ainsi imperceptible.
- Chevaucher les plages de fréquences émises par des individus, entraînant le phénomène de masquage de différentes composantes de vocalises de communication, perturbant ainsi des fonctions essentielles telles que l'alimentation, la navigation ou encore la recherche de partenaires et la reproduction;
- Être audible, mais ne pas entraîner de réaction comportementale ou physiologique négative;
- Être audible et entraîner une réaction négative qui peut aller d'un état d'alerte temporaire à l'évitement actif de la zone durant de courtes ou de plus longues périodes;
- Être assez constant pour conduire à une diminution progressive de la réaction au fur et à mesure que les animaux s'y habituent;
- Être persistant, représentant ainsi une perturbation répétée, entraînant du stress physiologique si l'animal demeure dans la zone en raison de son importance pour les fonctions essentielles ou de l'absence d'un autre endroit où il peut satisfaire ses besoins biologiques essentiels;
- Être très fort et intense, conduisant à des dommages temporaires ou permanents du système auditif.

La réaction au bruit des mammifères marins peut varier selon plusieurs facteurs tels que l'espèce, l'individu en question, le genre, l'âge, l'expérience préalable au bruit et l'état comportemental. Il est à noter que les individus qui ne démontrent aucune réaction face au bruit ou ne change rien dans leurs activités régulières peuvent tout de même souffrir de conséquences importantes, voire fatales. La réaction au son variera également en fonction du niveau de pression sonore et d'autres priorités du milieu (p. ex. la fréquence, la durée, l'amplitude), l'état physique et comportemental de l'animal et les caractéristiques acoustiques et écologiques ambiantes du milieu (Hildebrand, 2005). Néanmoins, il semble évident, d'après les études scientifiques réalisées auprès de nombreux mammifères marins, que la production et la réception de certains sons chez les espèces marines sont essentielles à divers aspects du cycle de vie (Southall, 2005).

Richardson et coll. (1995) ont développé un schéma, présenté à la figure 15, pour décrire les zones d'influence du bruit, telles que le masquage, la réaction comportementale, les blessures et la mort. Pour ce faire, ils ont étudié la réaction des mammifères marins suite à l'émission d'une source sonore particulière. Essentiellement, ce que ce graphique illustre, c'est que l'effet du bruit sur l'animal dépend grandement de la proximité de celui-ci avec la source du bruit, ainsi que du niveau de réception du signal par l'animal. Ainsi, à de très courtes distances, une source sonore suffisamment puissante peut causer de graves dommages physiologiques et, dans certains cas, entraîner la mort. À plus grandes distances, pour la même source sonore, la propagation géométrique et l'absorption du son par le milieu ambiant réduisent substantiellement la puissance du signal, faisant en sorte d'avoir comme principale conséquence la perte d'audition et mener à de brefs changements comportementaux, pouvant aussi parfois contribuer à la mort dans des circonstances particulières (Richardson, 1995). À des distances encore plus importantes de la source, le son peut encore entraîner des changements comportementaux, tels que l'abandon et le changement d'habitat, de même que la cessation des vocalises, pouvant entrainer des perturbations des fonctions vitales importantes.

Zones théoriques d'influence du bruit



(Richardson et al. 1995)

Figure 15 : Zones conceptuelles de l'influence du bruit

Le bruit anthropique est susceptible de perturber diverses fonctions biologiques importantes (OKEANOS Foundation, 2008). L'ajout de tels bruits dans l'océan soulève quatre grandes catégories de préoccupation quant à leurs effets cumulatifs potentiels sur les mammifères marins. (IFAW, 2008; Richardson, 1997; Rolland, 2012).

- L'exposition au bruit peut causer des **changements comportementaux**, des réactions d'évitement et l'interruption ou la modification d'activités normales, à un degré allant de mineur à sévère. La pollution par le bruit peut interférer avec des activités importantes sur le plan biologique, telles que l'alimentation, la reproduction et la mise bas.
- Le bruit anthropique peut **masquer des sons** qui sont vitaux à la survie des animaux marins, tels que ceux indiquant la présence et l'emplacement des proies, des prédateurs et des partenaires, ainsi que l'information de navigation. Cela comprend le masquage des vocalises des autres individus, les échos de leurs propres signaux d'écholocation et d'autres sons naturels importants.
- L'exposition à un bruit intense peut causer des **blessures physiques**, y compris des dommages auditifs temporaires ou permanents si le bruit est suffisamment fort, et, possiblement, la mort, même à de faibles niveaux, pour certaines espèces vulnérables.
- Le bruit peut **augmenter le niveau de stress** chez les animaux marins, provoquant des conséquences néfastes au niveau du système immunitaire et sur leur capacité à se reproduire.

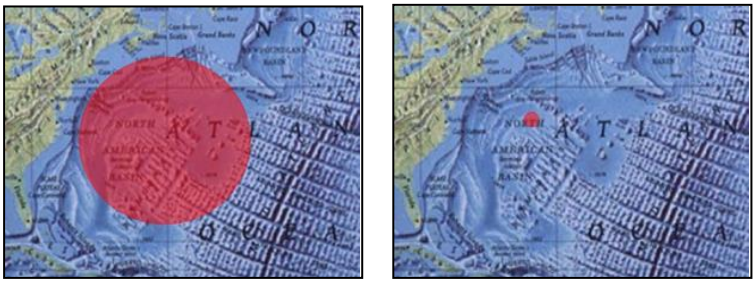
a) Changements comportementaux

La réaction comportementale au son est hautement variable et dépend du contexte dans lequel l'animal se trouve (Southall, 2007). Elle peut comprendre des changements aux patrons de respiration, de plongée et de déplacement (Nowacek, 2007). Il a été observé que le bruit pouvait avoir des répercussions allant de faibles à sérieuses (Richardson, 1995; OKEANOS Foundation, 2008). Les réactions au bruit peuvent être par exemple un changement d'orientation par rapport à une source sonore, la cessation d'activités d'alimentation ou d'interaction sociale, une modification du comportement de déplacement ou de plongée, une modification des patrons de vocalisation tel que des changements de fréquences ou du niveau d'énergie des appels (Rolland, 2012), l'abandon temporaire ou permanent de l'habitat et, dans les cas plus critiques, la panique, la fuite, des échouages, causant parfois des blessures ou la mort (Richardson, 1995; Southall, 2007). Ces changements comportementaux ont un effet direct sur les coûts énergétiques associés et sur les capacités à long terme d'alimentation, de navigation et de reproduction (OKEANOS Foundation, 2008).

b) Effet du masquage

Ce que l'on appelle le « masquage » constitue l'étouffement d'un son lorsqu'un autre son de même fréquence est généré à plus forte amplitude, à plus forte puissance. Le masquage est considéré comme un effet néfaste important de l'augmentation du bruit ambiant dans les océans en raison des risques associés à la « disparition » des sons biologiquement importants pour une espèce, perturbant ainsi de façon plus générale la netteté de la réception de signaux potentiellement importants (OKEANOS Foundation, 2008; Southall, 2007; Clark, 2009). Le masquage peut ainsi engendrer des répercussions importantes sur les communications entre individus, les activités de reproduction, la détection des proies et des prédateurs et les comportements sociaux d'alimentation. Compte tenu de la diversité des activités anthropiques générant du bruit, le masquage représente probablement l'un des effets les plus étendus et les plus significatifs sur les communications acoustiques des organismes marins (http://www.dosits.org/tutorials).

Le bruit anthropique peut en outre masquer des indices importants de l'environnement acoustique que les animaux utilisent pour la navigation et/ou pour se situer dans leur environnement. Bien que certaines espèces puissent être en mesure de modifier leurs signaux de communication pour éviter qu'ils soient masqués, ces modifications sont limitées sur le plan comportemental, physiologique et environnemental (OKEANOS Foundation, 2008; Clark, 2009). La figure 16 montre comment le bruit peut réduire



considérablement la distance de communication du rorqual commun et du rorqual bleu.

Source : C.W. Clark, Cornell University

Figure 16 : Image illustrant la réduction estimée de la distance de communication du rorqual commun et du rorqual bleu avant (à gauche) et après (à droite) l'arrivée de la navigation commerciale, illustrant la portée réduite des vocalisations auxquelles sont confrontées les espèces en raison des effets de masquage.

c) Effets physiologiques (blessures physiques)

Pour comprendre les effets physiologiques, il importe de faire la distinction entre le *niveau sonore à la source* (NS) et le *niveau sonore reçu* (NR), qui correspond au niveau sonore mesuré chez le récepteur (habituellement un mammifère marin) (Southall, 2007). Les critères d'exposition au bruit dont il est question ci-dessous sont basés sur les connaissances actuelles des capacités auditives des mammifères marins et des effets du bruit sur l'ouïe et/ou sur le comportement des mammifères marins.

Les animaux exposés à un son suffisamment intense démontrent un plus grand déplacement du seuil auditif (DS) durant une certaine période suivant l'exposition, pouvant également être décrit comme une perte de sensibilité auditive (Southall, 2007). Parmi les éléments d'un son ou d'un bruit qui influencent le degré de DS, on trouve l'amplitude, la durée, les fréquences émises, le schéma temporel et la distribution énergétique. L'ampleur du DS diminue normalement avec le temps à la suite de la cessation de l'exposition au bruit, quoique des études récentes indiquent que certains déplacements temporaires du seuil (DTS) puissent devenir, au fil du temps, des déplacements permanents du seuil (DPS).

Déplacements temporaires du seuil (DTS)

À la suite d'un DTS causé par le bruit, le DS finit par retourner à zéro, c.-à-d. que le seuil retourne à la valeur préalable à l'exposition. Dans le cas des mammifères marins, des données sont disponibles en ce qui a trait aux sons qui causent de faibles DTS et ce, pour quelques espèces d'odontocètes et de pinnipèdes seulement. Toutefois, aucune donnée n'est disponible sur les expositions qui causeraient un DPS (voir ci-dessous) chez ces taxons (Southall, 2007). Jusqu'à récemment, le DTS était considéré comme de la fatigue auditive (Erbe, 2012); toutefois, de récentes études en audiologie humaine démontrent que des dommages nerveux conduisant à une perte d'audition permanente peuvent avoir lieu à des niveaux d'exposition sonores associés au DTS (Kujawa, 2009).

Déplacements permanents du seuil (DPS)

Un DPS causé par le bruit a lieu lorsque le DS ne retourne pas à la valeur zéro après un intervalle de temps relativement long (se compte en semaines). Un DPS est considéré comme une blessure auditive, telles que des dommages irréparables aux cellules ciliées, le dépassement des limites d'élasticités de certains tissus et membranes dans l'oreille moyenne et interne, ainsi que les changements résultants dans la composition chimique des fluides de l'oreille interne (Southall, 2007).

d) Effets non auditifs

Le système auditif comprend les organes les plus fragiles à l'exposition au bruit; toutefois, le bruit est également susceptible de causer un éventail d'effets physiologiques directs ou indirects aux structures non auditives. En effet, le bruit peut entraîner de faibles réactions physiologiques, tels que des changements au rythme cardiaque et aux patrons respiratoires, en plus d'occasionner du stress qui peut nuire à la survie et au succès de reproduction. Bien que les études sur le stress causé par le bruit sur les mammifères marins soient limitées, il a été documenté chez des espèces d'odontocètes que l'exposition à un important niveau sonore a eu pour effet la sécrétion endocrine de glucocorticoïdes et l'altération des fonctions cardiovasculaires (OKEANOS Foundation, 2008; Southall, 2007). Aussi, une autre recherche a démontré une corrélation entre la réduction globale[26] du bruit à basse fréquence et la diminution des niveaux de référence des hormones liées au stress (glucocorticoïdes) présentes dans les métabolites fécaux chez les baleines noires de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*) (Rolland et coll., 2012). Dans l'ensemble, il existe un indice de constance élevé quant à la réaction de stress chez les espèces de mammifères (Wright et coll. 2007).

1.9.3 Effet du bruit sur les autres espèces marines

Les effets du son sur les autres espèces marines, y compris les poissons, les tortues marines et les invertébrés, sont peu documentés scientifiquement comparativement aux mammifères marins. Pour cette raison, les procédures d'évaluation des effets du bruit et les mesures d'atténuation ou réglementaire subséquentes sont parfois d'une pertinence et d'une efficacité limitées (Popper et coll., 2014). À noter qu'il y a plus de 32 000 espèces de poissons, comparativement à environ 130 espèces de mammifères marins. De plus, relativement peu de projets de recherche étudient l'exposition au bruit et ses effets sur les poissons et les tortues. Tous ces facteurs viennent accroître la complexité de la gestion de l'incidence du son sur ses animaux marins. Malgré qu'il y ait un nombre très restreint d'espèces de tortues marines, si peu de connaissance est actuellement disponible sur leur audition et sur le rôle du son au cours de leur cycle de vie qu'il devient très difficile d'évaluer la véritable incidence du bruit anthropique sur le plan biologique (Popper et coll., 2014).

De façon générale, il est possible d'affirmer qu'à forte intensité, le son peut avoir des conséquences diverses sur un animal, incluant des troubles auditifs, des dommages aux structures anatomiques, des changements physiologiques ou neurologiques, des changements comportementaux ou dans le développement, le masquage des communications, et parfois même la mort. (Popper et coll., 2014). À plus faible intensité, il a été constaté que le son peut nuire et réduire la capacité d'un animal à accomplir certains comportements et réflexes vitaux, tels que la réaction de fuite contre les prédateurs et induire un stress physiologique. Le son a également des effets possibles sur le comportement, y compris l'aptitude à communiquer entre congénères et la détection des prédateurs et des proies (Popper et coll., 2014).

a) Poissons

Plusieurs facteurs influencent les effets de l'exposition au son et leurs conséquences à long terme sur la santé physique et la capacité de survie des poissons (Popper et coll., 2014). L'un des facteurs les plus importants est la présence ou l'absence d'une vessie natatoire, un organe de flottabilité qui rend les poissons qui en possède plus susceptibles aux blessures attribuées aux changements de pression dans l'eau au niveau des oreilles et des tissus organiques

[26] À la suite des événements du 11 septembre 2001, il y a eu une diminution de 6 dB du bruit sous-marin mesuré, la réduction étant importante aux fréquences de moins de 150 Hz.

généraux que les espèces dépourvues de vessie natatoire (Popper et coll., 2014). Il semble que la vessie natatoire renforce également la capacité de nombreuses espèces de poissons à détecter les sons sur une plus large plage de fréquences et sur de plus grandes distances par rapport à la source que les poissons dépourvus de telles structures. Cette affirmation vient donc élargir la distance par rapport à la source sur laquelle les bruits causés par l'homme ont un potentiel d'influence (Popper et coll., 2014).

Des études ont révélé que les tonalités pures ou nettes de très forte intensité (plus de 180 dB re : 1 µPa), présentes durant plusieurs heures, peuvent endommager les cellules ciliées des oreilles de plusieurs espèces de poissons, tandis que d'autres études ont indiqué que certains sons modifient le comportement des poissons marins (McCauley, 2003).

Les poissons dont le sens de l'ouïe est altéré auraient une moins bonne santé physique, ce qui les rendrait potentiellement plus vulnérables aux prédateurs, en plus d'être possiblement moins apte à localiser leurs proies ou de se situer dans leur environnement acoustique. Dans le cas des poissons reconnu pour émettre beaucoup de sons, ils se verraient incapables de communiquer acoustiquement (McCauley, 2003).

b) Tortues marines

Les tortues marines peuvent être affectées tant sur le plan physiologique que comportemental par le bruit sous-marin. Les effets du son sur les tortues marines sont toutefois largement inconnus en raison de l'importante lacune dans les connaissances sur les capacités auditives des tortues marines et de leurs réactions comportementales qui y sont associées. Puisque les tortues marines sont des espèces hautement migratrices, les événements sonores qui se produisent dans une zone sont susceptibles de toucher non seulement les tortues qui utilisent cette zone pour la reproduction et l'alimentation, mais aussi celles qui ne sont que de « passage » (Dow Piniak et coll., 2012).

À l'instar des mammifères, les tortues marines peuvent subir un DTS ou un DPS, ou encore une perte d'audition. L'augmentation du bruit dans l'océan peut également masquer des indices acoustiques importants; toutefois, il n'existe actuellement aucun renseignement sur la proportion critique des signaux acoustiques susceptibles d'être affectée et sur le masquage chez les tortues marines (Dow Piniak et coll., 2012). Une exposition répétée au son peut causer une accoutumance ou une désensibilisation, venant ainsi accroître les effets physiologiques à long terme.

La pollution par le bruit qui vient des activités humaines, jadis considérée comme insignifiante pour la conservation et la protection des tortues marines, suscite maintenant plusieurs préoccupations. Le bruit produit par les navires commerciaux, les bateaux, les motomarines et les autres embarcations motorisées peut avoir une incidence sur la réception du son par les tortues (Ferrara, 2013), en plus d'être susceptible d'interférer avec leurs communications, à un point tel que cela aurait un effet négatif sur la survie des jeunes tortues et sur les communications entre adultes.

c) Invertébrés

Les études sur les effets du bruit sous-marin sur les invertébrés sont extrêmement limitées. La plupart des recherches portent sur les effets des levés sismiques destinés à la prospection pétrolière et gazière où l'on utilise des canons à air et des explosifs, ainsi que sur les sonars

militaires (Moriyasu et coll., 2004). Il semble que la plupart des articles à ce sujet consistent surtout en de la littérature grise, ce qui complique l'accès à des renseignements fiables. Toutefois, d'après les renseignements publiés, il est possible de raisonnablement conclure que les invertébrés marins sont sensibles aux sons et aux stimuli connexes et que diverses réactions comportementales peuvent être causées par ces stimuli (Moriyasu et coll., 2004). Une autre étude (Regnault, 1983) indiquait que, dans un aquarium assujetti à des niveaux de bruit constamment élevés d'environ 30 dB dans la plage de fréquences de 25 à 40 Hz, les taux de croissance et de reproduction de la crevette de sable (*Crangon crangon*) étaient considérablement réduits.

1.10 CONCLUSION

L'évaluation de la contribution de la navigation commerciale au bruit sous-marin ambiant et de ses répercussions sur la vie marine est complexe. D'après le milieu scientifique, pour en venir à une compréhension approfondie de la situation dans les eaux canadiennes, il sera nécessaire d'investir beaucoup d'efforts, de temps et de ressources, de développer de nouvelles collaborations et de la patience par les chercheurs et les responsables des politiques.

À l'heure actuelle, suffisamment d'information est disponible pour pouvoir conclure que le bruit généré par les activités de la navigation commerciale est préoccupant pour bon nombre d'espèces marines. De fait, le bruit sous-marin figure parmi les menaces anthropiques à haut risque dans plusieurs plans de rétablissement d'espèces protégées en vertu de la *Loi sur les espèces en péril du Canada* (LEP). Toutefois, les informations disponibles demeurent limitées en ce qui concerne les effets à long terme et cumulatifs des expositions aux bruits sous-marins pouvant avoir des répercussions importantes. Le lien entre l'exposition au bruit des individus et les répercussions potentielles à l'échelle des populations est de plus en plus préoccupant, particulièrement dans un contexte où les incidences de bruit industriel intermittents et les niveaux de bruit chronique dans l'océan devraient continuer de s'accroître. Qui plus est, non seulement il est difficile d'interpréter les conséquences des réactions comportementales au bruit sous-marin, mais l'absence de réaction comportementale ne peut conclure à l'indication d'incidence inexistante ou faible. En terminant, l'augmentation du bruit lié aux activités commerciales peut également augmenter le risque de collisions avec des navires pour un grand nombre d'espèces de baleines.

Pour ces raisons, il faudrait accorder plus d'attention à l'approfondissement de la compréhension et de la quantification du bruit sous-marin venant du secteur du transport maritime au Canada et de ses répercussions sur la vie marine, et ce, dans le but de formuler des solutions précises et d'adapter des mesures d'atténuation dans des secteurs clés.

PARTIE 2
APERÇU DE LA RÉGLEMENTATION INTERNATIONALE DU BRUIT ANTHROPIQUE

2.1 INTRODUCTION

Le bruit sous-marin causé par les activités humaines est reconnu comme une forme de pollution au sens de nombreuses conventions internationales qui portent sur la question de la pollution en général[27], telle que la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (CNUDM), la Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (OSPAR) et la Commission pour la protection de l'environnement de la mer Baltique (HELCOM), entre autres (p. ex. ACCOBAMS, 2013).

Bon nombre d'organismes internationaux ont des responsabilités en matière de protection du milieu marin, y compris contre les effets négatifs du bruit anthropique. Ces responsabilités sont établies à l'aide de traités internationaux, de conventions et d'accords, de commissions, d'associations ainsi que d'organisations et d'agences intergouvernementales. Dans la plupart des cas, ces traités s'assurent de la protection des cétacés et du développement des mesures de conservation qui ciblent le bruit et d'autres menaces.

Étant donné que la plupart des renseignements disponibles (y compris les données) sur les répercussions bioacoustiques se limitent généralement aux réactions individuelles à court terme, la gestion du bruit sous-marin est centrée sur des événements précis qui sont limités dans l'espace et le temps. Il s'agit d'une des raisons pour lesquelles le bruit chronique causé par les navires est beaucoup moins abordé dans tous les règlements existants et que peu de mesures d'atténuation sont clairement identifiées.

Un animal migrateur a de fortes probabilités de vivre plusieurs événements distincts en suivant son trajet migratoire. Il faut donc idéalement envisager une approche holistique, ce qui en accroît la complexité puisque le bruit peut se déplacer sur de grandes distances dans l'océan[28], que les renseignements sur les répercussions cumulatives sont inexistants, qu'il est impossible de gérer plusieurs événements distincts dans l'espace et le temps et finalement que plusieurs pays et/ou territoires sont impliqués.

Bien que l'incidence complète de la pollution par le bruit océanique n'ait pas encore été déterminée, on reconnaît sur la scène internationale que ce phénomène représente une menace sérieuse pour la vie marine et qu'il faut l'aborder.

[27] Chaque convention indique que la pollution signifie « l'introduction directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie » (ACCOBAMS, 2013).

[28] Les sons à basse fréquence (< 100 Hz) peuvent traverser des bassins océaniques complets. Le bruit qui provient d'un pays ou d'un territoire se rend souvent dans des territoires voisins, nécessitant ainsi de faire de cette réglementation une affaire internationale (Erbe, 2013).

2.2 RÉGLEMENTATION INTERNATIONALE DU BRUIT SOUS-MARIN

Cette section présente un sommaire de la gestion du bruit sous-marin d'origine anthropique dans un contexte international. Lorsque cela est pertinent, les mesures d'atténuation et/ou les pratiques de gestion exemplaires existantes sont présentées à la suite des renseignements sur les règlements.

2.2.1 Politique internationale

a) OMI

À titre d'agence spécialisée de l'Organisation des Nations Unies (ONU), l'**Organisation maritime internationale (OMI)** a été établie afin d'instituer un système de collaboration entre les gouvernements dans le domaine de la réglementation et des usages gouvernementaux ayant trait aux questions techniques de toutes sortes qui intéressent la navigation commerciale internationale, d'encourager et de faciliter l'adoption générale de normes aussi élevées que possible en ce qui concerne la sécurité maritime et d'assurer l'efficacité de la navigation et de la prévention de la pollution des mers par les navires et la lutte contre cette pollution (site Web de l'OMI). La figure 17 montre la représentation internationale de l'OMI (2016). Son mandat initial concernait principalement la sécurité maritime. Toutefois, peu après le début de son fonctionnement, l'OMI a assumé la responsabilité des questions liées à la pollution, et elle a par la suite, au cours de nombreuses années, adopté une large gamme de mesures visant à prévenir et à contrôler la pollution causée par les navires ainsi qu'à atténuer les effets des dommages qui peuvent avoir lieu à la suite d'opérations et d'accidents maritimes. Les activités de la Division du milieu marin sont principalement déterminées par le Comité de la protection du milieu marin (CPMM) de l'OMI.

Bien que la définition générale de la pollution causée par les navires ne comprenne pas le bruit sous-marin rayonné, le travail lié aux effets du bruit sur les membres d'équipage à bord des navires a commencé au début des années 1980 par l'adoption des règles sur les niveaux de bruit à bord des navires. Plusieurs se sont rendus compte que les espèces marines pouvaient également tirer des avantages de ces mesures. La question des effets du bruit sous-marin sur la vie marine a initialement été prise en considération à l'aide des Zones maritimes particulièrement sensibles (ZMPS)[29], que l'OMI peut désigner si une zone est considérée comme vulnérable aux activités de la navigation commerciale internationale. Lorsqu'ils traversent ces zones, les navires des pays membres de l'OMI doivent suivre des mesures de protection de l'environnement. Dans le contexte des ZMPS, l'OMI reconnaît que le bruit sous-marin peut être un polluant et qu'il peut avoir un effet néfaste sur le milieu marin (McCarthy, 2004).

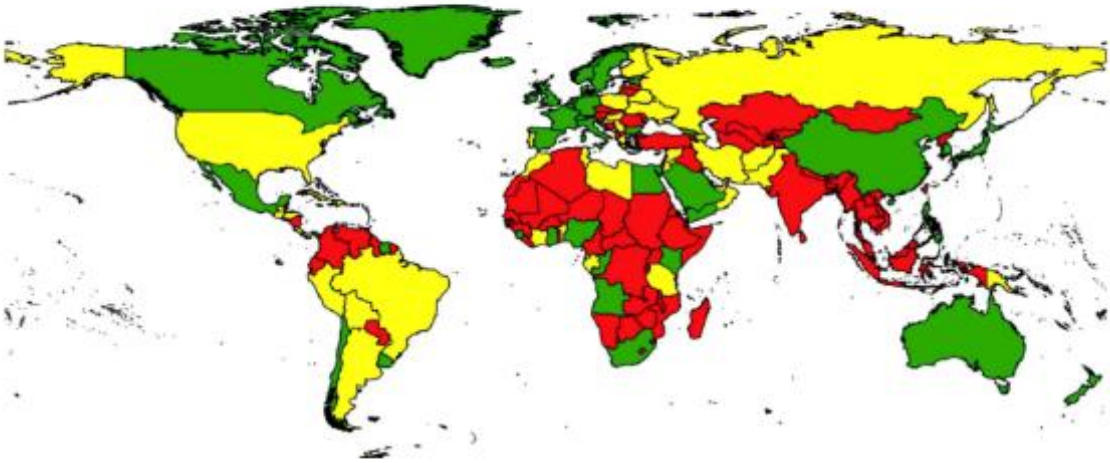
En 2004, à la suite d'une augmentation du nombre de publications sur cette question, le CPMM a entamé des discussions sérieuses sur les répercussions néfastes du bruit sous-marin généré par les navires sur la vie marine. En octobre 2008, à la 58e séance du CPMM, l'inclusion d'un nouveau point à l'ordre du jour à la 59e séance du CPMM (juillet 2009) a été approuvée à propos du bruit de la navigation commerciale et de ses répercussions négatives sur la vie marine. Le fondement du nouveau point, proposé par les États-Unis, consistait à élaborer des lignes directrices techniques non obligatoires visant à réduire au minimum le bruit accessoire

[29] Liste des ZMPS : http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PSSAs/Pages/Default.aspx (contenu disponible en anglais seulement)

issu des activités de navigation commerciale dans le milieu marin, en plus de réduire les répercussions néfastes potentielles sur la vie marine[30].

En 2014, l'OMI a produit des lignes directrices à l'intention des navires commerciaux, portant sur des façons de réduire le bruit sous-marin en raison de préoccupations concernant les impacts à court et à long terme sur l'écosystème marin. Les lignes directrices se rapportent aux caractéristiques de conception des navires (comme la coque et la forme des hélices), aux machines à bord et à diverses recommandations opérationnelles et d'entretien (comme le nettoyage de la coque).

Parties à la Convention et au Protocole de Londres



Légende

Vert : Parties au Protocole
Jaune : Parties à la Convention
Rouge : États non parties

Situation au 1er décembre 2015

Site Web de l'OMI, février 2016

Figure 17 : Représentation internationale de l'OMI[31]

b) CBI

[30] Site Web de l'OMI : http://www.imo.org/fr/MediaCentre/PressBriefings/Pages/10-MEPC-66-ends.aspx

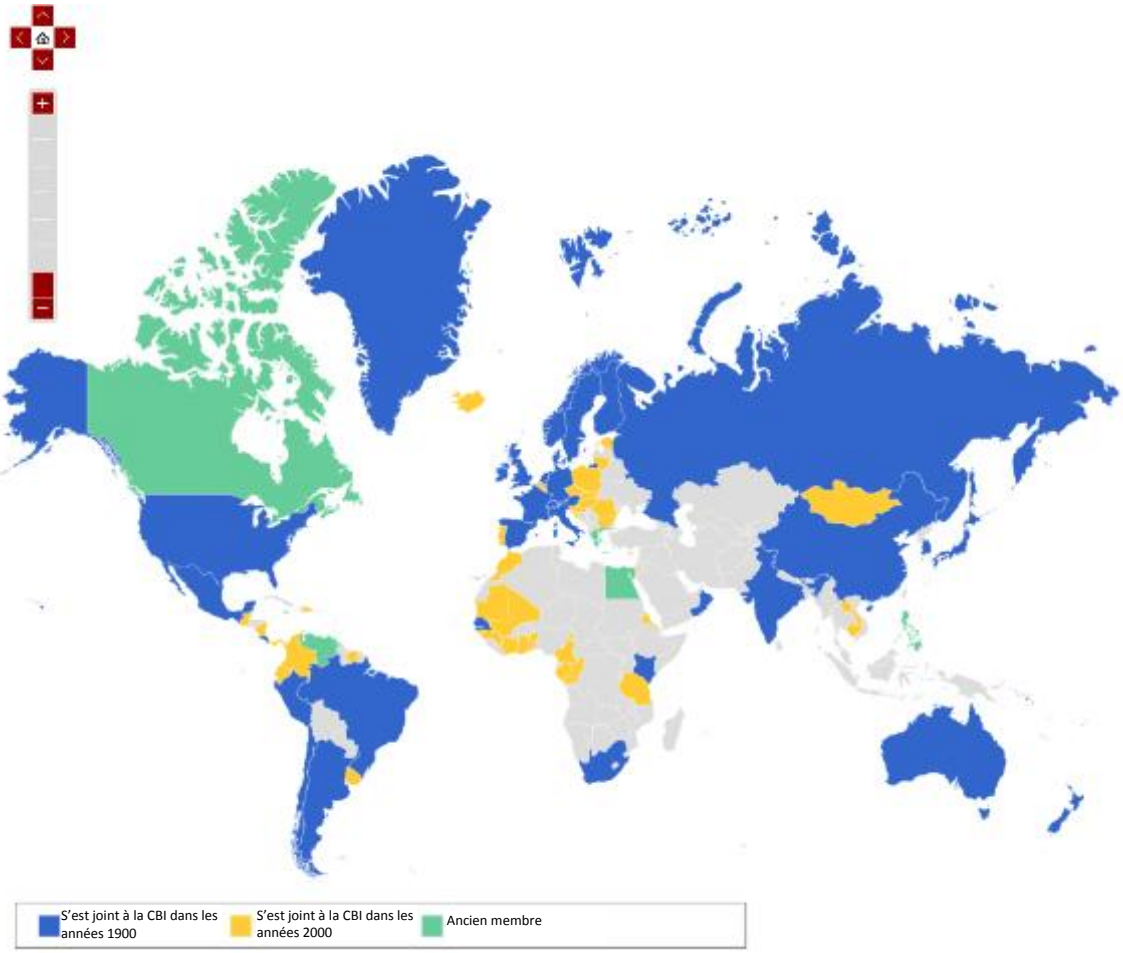
[31] La « Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion des déchets, 1972 », appelée la « Convention de Londres » en abrégé, est l'une des premières conventions mondiales à protéger le milieu marin contre les activités humaines ; elle est en vigueur depuis 1975. Elle a pour objectif de promouvoir le contrôle efficace de toutes les sources de pollution marine et de prendre des mesures réalisables en vue de prévenir la pollution de la mer causée par l'immersion des déchets. En 1996, le « Protocole de Londres » a été conclu afin de moderniser davantage la Convention puis, éventuellement, de la remplacer. Aux termes du Protocole, l'immersion de tout déchet est interdite, sauf les déchets acceptables possibles qui figurent dans la « liste de réserve ». Le Protocole de Londres est entré en vigueur le 24 mars 2006.
http://www.imo.org/fr/OurWork/Environment/LCLP/Pages/default.aspx (contenu disponible en anglais seulement)

La **Commission baleinière internationale (CBI)** (dont la représentation internationale est montrée à la figure 18) est préoccupée par la question du bruit anthropique dans l'océan depuis de nombreuses années. Un mini-symposium a été organisé en 2004 afin d'étudier la question, et une réunion en 2006 était centrée sur les répercussions possibles des levés sismiques sur diverses populations de baleines. Au cours d'efforts connexes, plusieurs membres du Comité scientifique de la CBI ont contribué à l'élaboration de lignes directrices sur l'atténuation et la surveillance au cours de levés sismiques au large de l'île Sakhalin, dans la Fédération russe, qui est une aire d'alimentation importante pour la baleine grise occidentale, une espèce en péril.

Le Groupe de travail permanent du Comité scientifique sur les préoccupations liées à l'environnement, a suivi étroitement les efforts déployés par les membres du programme CetSound de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) des É.-U. en vue de cartographier les paysages sonores des cétacés. Dans le cadre de ces efforts, la CBI a coparrainé, en 2014, un atelier conjoint intitulé « *Predicting Soundfields – Global Soundscape Modelling to Inform Management of Cetaceans and Anthropogenic Noise* » (Prédire les champs sonores – Modéliser le paysage sonore mondial pour une gestion éclairée du bruit des cétacés et d'origine anthropique). L'atelier regroupait vingt-six experts internationaux de onze pays pour discuter de techniques de cartographie des champs sonores sous-marins à l'échelle régionale et des bassins océaniques. L'objectif consistait à offrir un soutien aux décideurs cherchant à décrire, à surveiller et à gérer les répercussions potentielles du bruit anthropique chronique ou cumulatif sur les animaux marins[32].

En 2016, le Groupe de travail permanent du Comité scientifique sur les préoccupations liées à l'environnement de la CBI a mis l'accent sur l'examen des préoccupations liées à l'effet de « masquage » bruit d'origine anthropique sur les cétacés. Le groupe de travail ciblait, notamment, à évaluer les progrès réalisés quant aux effets de masquage sonore causé par la navigation commerciale.

[32] Site Web de la CBI : https://iwc.int/anthropogenic-sound



Site Web de la CBI, février 2016

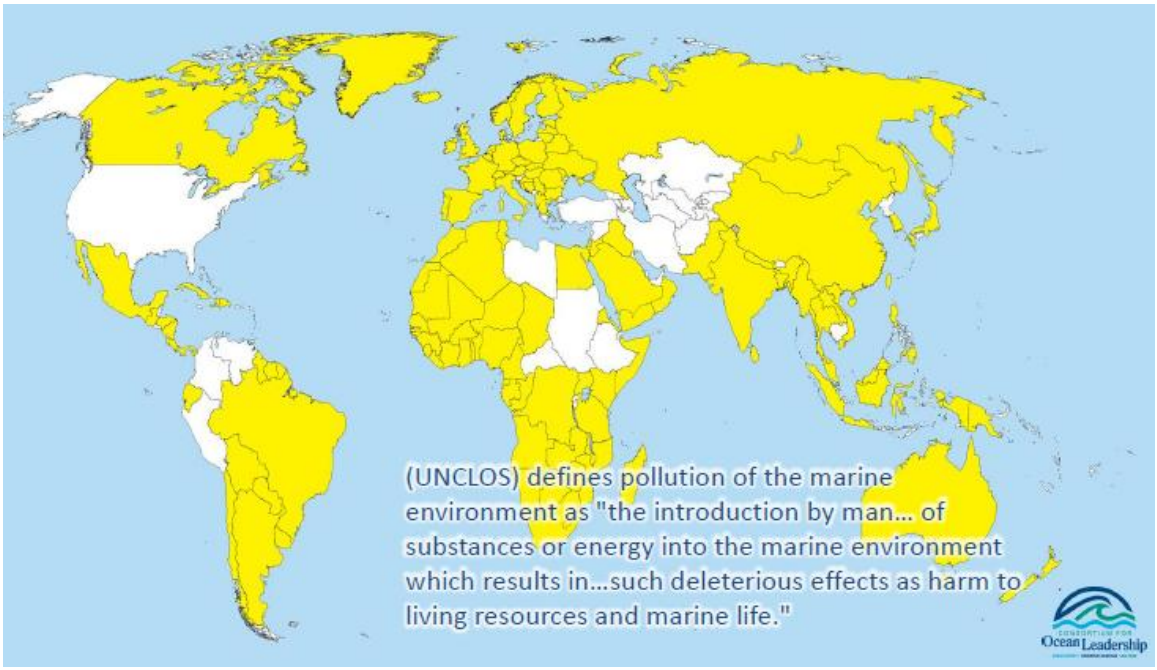
Figure 18 : Représentation internationale de la CBI

c) UNCLOS

La **Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (UNCLOS)** offre un cadre juridique pour l'utilisation des océans du monde. Dans l'UNCLOS, la pollution du milieu marin est définie comme suit :

> l'introduction directe ou indirecte, par l'homme, de substances ou d'énergie dans le milieu marin, y compris les estuaires, lorsqu'elle a ou peut avoir des effets nuisibles tels que dommages aux ressources biologiques et à la faune et la flore marines, des risques pour la santé de l'homme, représenter une entrave aux activités maritimes, y compris la pêche et les autres utilisations légitimes de la mer, peut altérer la qualité de l'eau de mer du point de vue de son utilisation et la dégradation des valeurs d'agrément.
>
> Nations Unies, 1982

Aux termes de l'UNCLOS, les États illustrés à la figure 19 ont le droit d'imposer des lois et des règlements à tout navire qui se trouve dans ses eaux territoriales afin de limiter la pollution marine. Même si le bruit n'était jamais censé faire partie de cette définition, il pourrait légitimement être considéré comme de l'énergie dans la définition ci-dessus, et, par conséquent, le bruit sous-marin pourrait être géré par les États par l'intermédiaire de l'UNCLOS (McCarthy, 2004; Scott 2004; Dotinga et Elferink, 2010).



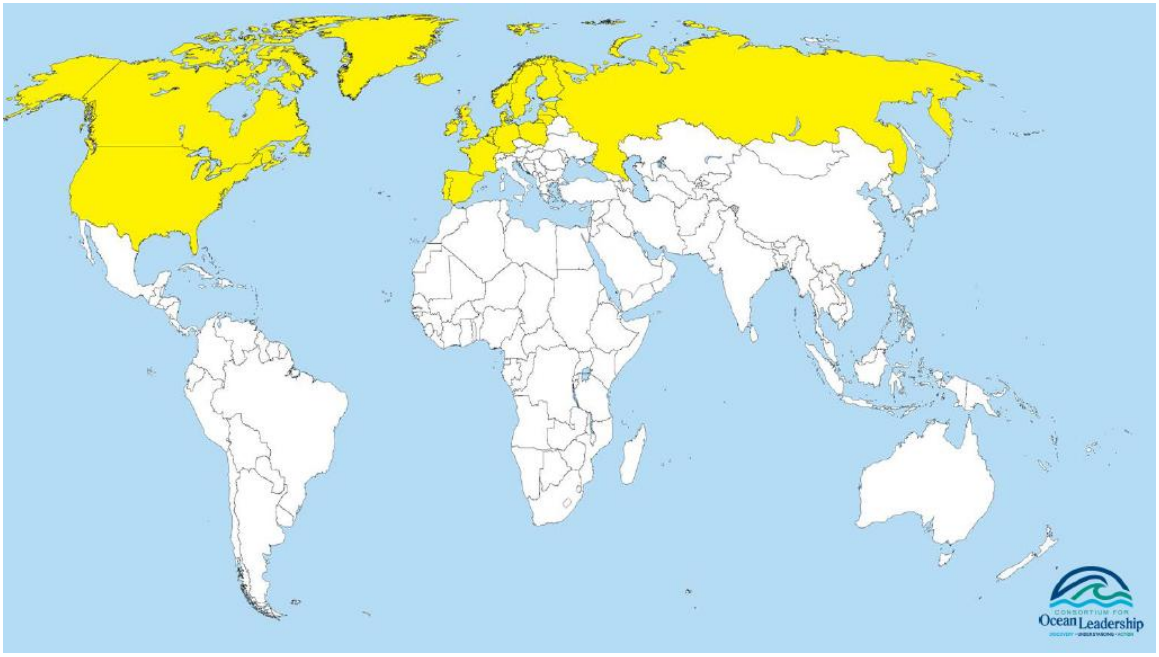
Alexis Rudd, Consortium for Ocean Leadership, 2014

Figure 19 : Représentation internationale de l'UNCLOS

d) **CIEM**

Le **Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM)** est une organisation mondiale qui acquiert des connaissances scientifiques et qui formule des conseils à l'appui de l'utilisation durable des océans. Les 20 pays représentés dans la figure 20 qui font partie du CIEM sont la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Estonie, la Finlande, la France, l'Allemagne, l'Islande, la Lettonie, la Lituanie, les Pays-Bas, la Norvège, la Pologne, le Portugal, la Russie, l'Espagne, la Suède, le Royaume-Uni et les États-Unis. Le CIEM dispose d'un réseau de plus de 4 000 scientifiques provenant de près de 300 instituts. Chaque année, 1 600 scientifiques participent aux activités liées au CIEM. À l'aide de partenariats stratégiques, les travaux du CIEM s'étendent également à l'Arctique, à la mer Méditerranée, à la mer Noire et à l'océan Pacifique Nord.

Le CIEM élabore actuellement des lignes directrices sur les impacts du bruit sous-marin, que ce soit en abordant directement la question par rapport à chaque activité productrice de bruit, ou encore en incluant le bruit dans l'éventail des impacts d'activités humaines spécifiques au milieu marin, particulièrement pour le développement de parcs éoliens[33].



Alexis Rudd, Consortium for Ocean Leadership, 2014

Figure 20 : Représentation internationale du CIEM

e) UICN

L'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) est l'organisation environnementale la plus ancienne et la plus grande au monde, comptant plus de 1 200 organisations gouvernementales et non gouvernementales membres et près de

[33] Travaux pertinents du CIEM :
http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/acom/2014/WGMME/wgmme_2014.pdf (contenu disponible en anglais seulement)
http://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/species/whales_dolphins/docs/ices_second_report.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

11 000 experts bénévoles dans quelque 160 pays. Les travaux de l'UICN sont centrés sur les mesures visant à valoriser et à conserver la nature, à garantir une gouvernance efficace et équitable de son utilisation et à déployer des solutions basées sur la nature pour relever les défis mondiaux en matière de climat, de nourriture et de développement. L'UICN soutient la recherche scientifique, gère des projets sur le terrain partout dans le monde et rassemble des gouvernements, des organisations non gouvernementales, l'ONU et les entreprises en vue d'élaborer des politiques, des lois et des pratiques exemplaires. Depuis de nombreuses années maintenant, l'UICN insiste sur les répercussions du bruit sous-marin, qu'elle reconnaît comme une forme de pollution, et elle demande aux gouvernements d'évaluer correctement ses impacts sur la biodiversité marine et d'éviter l'ajout de d'autres sources sonores de forte amplitude.

2.2.2 Politique multinationale

a) DCSMM

La **directive-cadre « Stratégie pour le milieu marin » (DCSMM)** a été adoptée par le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne en 2008 (2008/56/CE), et a pour but global d'assurer ou de maintenir un bon état écologique (BEE) dans les eaux européennes d'ici 2020. La DCSMM porte sur une multitude de facteurs de stress anthropiques et leurs effets potentiellement cumulatifs. Onze descripteurs servent à mesurer l'état écologique; le 11^{e} se rapporte au bruit sous-marin. Pour atteindre le but de la directive, des régions[34] et des sous-régions maritimes européennes sont établies en fonction de critères géographiques et environnementaux. La directive exige des États membres qu'ils établissent des programmes de surveillance visant à permettre l'évaluation de l'état des eaux marines et à promouvoir un programme de mesures conçues pour assurer l'atteinte d'un BEE . Ce programme devait être défini en 2015 et mis en œuvre en 2016. La coopération entre les États membres d'une région maritime et les pays avoisinants qui se partagent les mêmes eaux marines a déjà lieu par l'intermédiaire des conventions sur les mers régionales[35].

Dans la DCSMM, les États membres doivent s'assurer que toute introduction aquatique d'énergie, comme le bruit sous-marin, se situe à un niveau qui n'a pas d'incidence négative sur le milieu marin. En 2010, la Commission européenne (CE) a défini deux indicateurs[36] pour l'ONU.

---

[34] La directive énumère quatre régions maritimes européennes : la mer Baltique, l'océan Atlantique Nord-Est, la mer Méditerranée et la mer Noire. Ces régions se situent à l'intérieur des frontières géographiques des conventions sur les mers régionales en vigueur. Pour en savoir plus, veuillez consulter le site Web de la DCSMM.
http://ec.europa.eu/environment/marine/eu-coast-and-marine-policy/marine-strategy-framework-directive/index_en.htm (contenu disponible en anglais seulement)

[35] La directive exige qu'au moment d'élaborer leurs stratégies maritimes, les États membres utilisent leurs structures de coopération régionale existantes pour assurer la coordination entre eux et qu'ils fassent tout leur possible pour coordonner ces mesures avec celles des autres pays de la même région ou sous-région. Pour en savoir plus, veuillez consulter le site Web de la DCSMM.
http://ec.europa.eu/environment/marine/international-cooperation/regional-sea-conventions/index_en.htm (contenu disponible en anglais seulement)

[36] En 2011, pour formuler des indicateurs, un sous-groupe technique a été mis sur pied. Ce groupe prodigue aussi des conseils aux États membres sur la surveillance du son sous-marin. L'objectif était de mesurer la pression cumulative, sur l'environnement, de toutes les sources de bruit, de façon à pouvoir

- **Descripteur 11.1.1 pour les sons impulsionnels de basse ou moyenne fréquence** (y compris le bruit produit par la production de levés sismiques, le battage de pieux, les explosions, certains systèmes de sonar et certains dispositifs de dissuasion acoustique). Les préoccupations relatives à ces sources de bruit intense se rapportent à un éventail de répercussions, dont le risque de blessure – et de déplacement – d'espèces vulnérables, comme les mammifères marins. Ces sons peuvent aussi causer des changements comportementaux, du stress et le déplacement de l'habitat de prédilection.
- **Descripteur 11.2.1 pour le son à basse fréquence continu** (conçu principalement comme une mesure du bruit lié à la navigation commerciale). Les préoccupations relatives aux sons de basse fréquence se rapportent principalement aux effets chroniques à long terme, tels que le masquage des principaux sons qui sont utilisés pour communiquer, trouver des proies ou éviter les prédateurs. Ces sons peuvent aussi causer des changements comportementaux, du stress et le déplacement de l'habitat de prédilection. Pour intervenir, les États membres devront établir des programmes de surveillance du bruit combinés à des exercices de modélisation afin de générer des cartes régionales de répartition du bruit.

Pour réaliser ces descripteurs, les auteurs de la DCSMM ont formulé des indicateurs et les mesures clés requises, tels qu'ils sont décrits à l'ANNEXE 1.

2.2.3 Accords multinationaux

Divers accords régionaux, surtout entre pays européens nordiques, sont en place pour gérer les répercussions des activités anthropiques sur le milieu marin.

a) ACCOBAMS

L'Accord sur la Conservation des Cétacés de la mer Noire, de la mer Méditerranée et de la zone Atlantique adjacente (ACCOBAMS) est un outil de coopération pour la conservation de la biodiversité marine dans les mers Méditerranée et Noire. Cet accord intergouvernemental a été signé par 23 des 27 pays longeant ces frontières, tel qu'il est représenté à la figure 21. Il a pour but de réduire les menaces pour les cétacés dans les eaux des mers Méditerranée et Noire. Les travaux visent à approfondir la connaissance de ces mammifères marins et à établir des lignes directrices pour atténuer les répercussions des activités humaines. Peu de recommandations explicites ont été publiées au sujet de l'atténuation du bruit lié à la marine marchande, outre la réduction de la vitesse des navires, l'entretien adéquat des hélices, la modification des horaires de navigation dans les périodes où les mammifères marins sont moins présents et la mise en œuvre de mécanismes de réduction du bruit (Erbe, 2013).

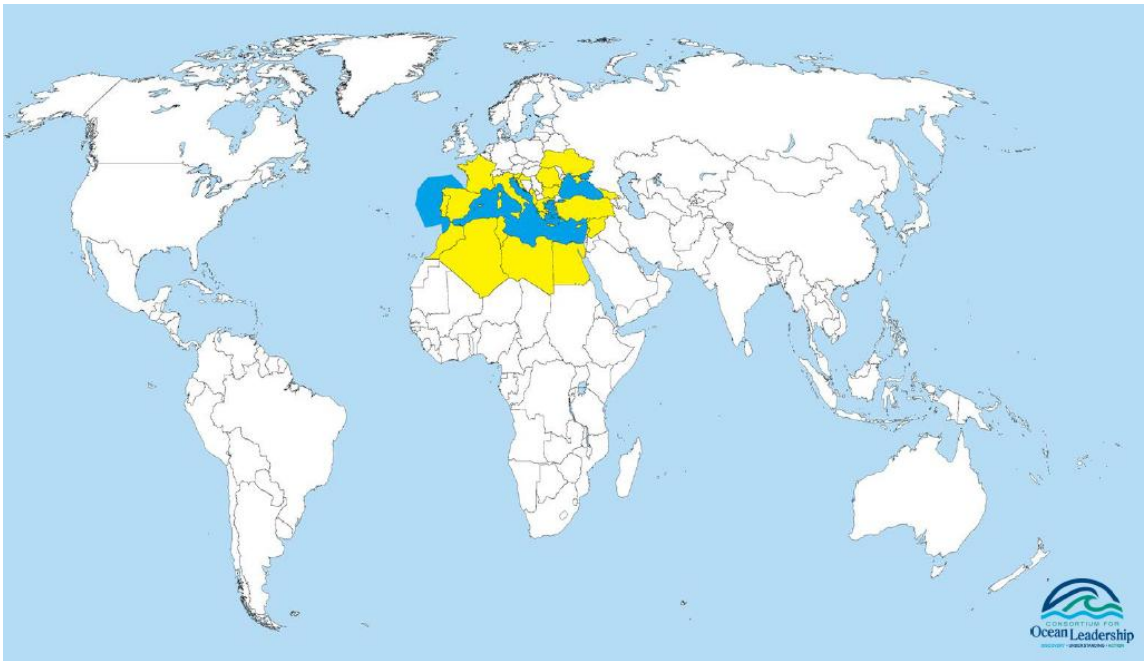
Depuis 2004, l'accord ACCOBAMS aborde l'incidence du bruit sous-marin sur les cétacés par l'intermédiaire de la résolution 2.16 : Évaluation de l'impact des bruits d'origine humaine. Les résolutions 3.10 (adoptée en 2007) et 4.17 (adoptée en 2010) comportent des lignes directrices visant à atténuer l'incidence du son anthropique (ACCOBAMS, 2013).

établir des cibles et prendre des mesures de gestion appropriées en vue d'assurer le BEE (IFAW 1/12/2013).

Publications liées à l'ACCOBAMS

Guide méthodologique sur la mise en œuvre des mesures d'atténuation du bruit http://accobams.org/images/stories/Activities/Noise/fr_guide%20complet.pdf

Lignes Directrices pour traiter l'impact du bruit d'origine anthropique sur les cétacés dans la zone de l'ACCOBAMS
https://accobams.org/images/stories/Guidelines/French/lignes%20directrices_impact%20du%20bruit%20d%20origine%20anthropique.pdf



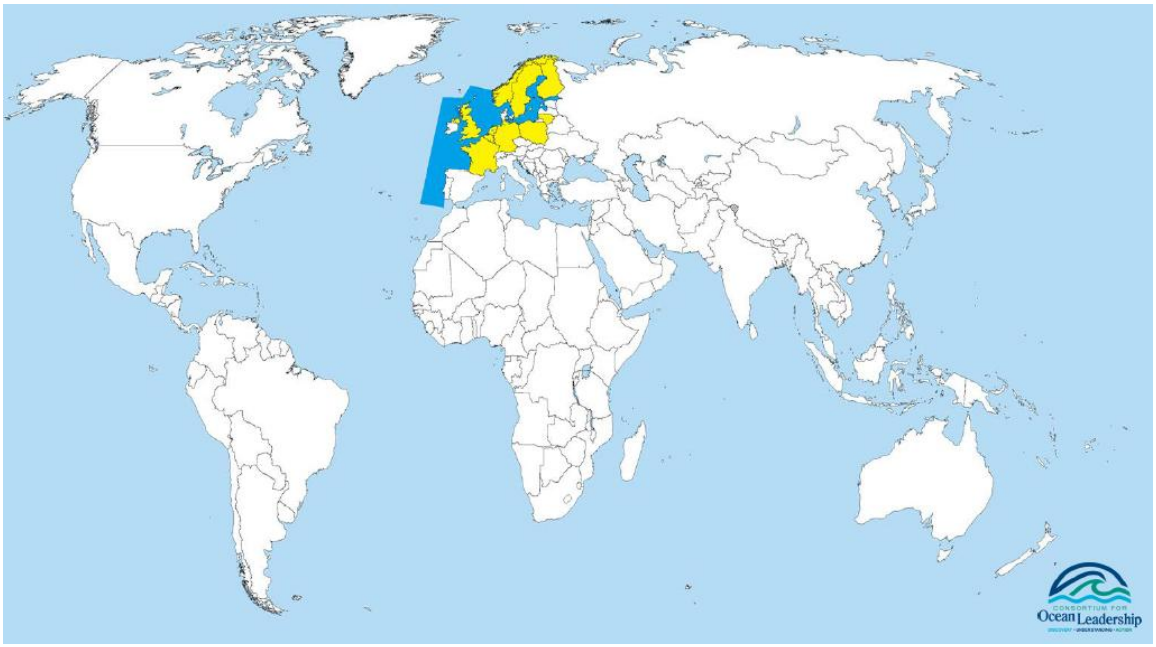
Alexis Rudd, Consortium for Ocean Leadership, 2014

Figure 21 : Représentation de l'ACCOBAMS

b) ASCOBANS

L'Accord sur la conservation des petits cétacés de la mer Baltique, du nord-est de l'Atlantique et des mers d'Irlande et du Nord (ASCOBANS) a été signé en 1992 et regroupe actuellement 10 pays membres qui longent ces mers, tel qu'il est représenté dans la figure 22. L'accord cherche à assurer et à maintenir un statut de conservation favorable pour les petits cétacés, tout en dirigeant l'attention sur des questions comme les prises accidentelles dans les engins de pêche, la détérioration des habitats et la perturbation anthropique, y compris par le bruit sous-marin. Plusieurs résolutions[37] qui ont été adoptées exigeront de toutes les parties qu'elles prennent des mesures contre le bruit sous-marin. Cela comprend les mesures d'atténuation concernant la production de levés sismiques (c.-à-d. réduire les niveaux de bruit le plus possible, surveiller la présence de mammifères marins, établir des aires d'exclusion) et le battage de pieux (c.-à-d. employer d'autres techniques, mettre en œuvre des mesures techniques pour l'absorption du son et émettre des alertes sonores afin d'éloigner les mammifères marins en période de battage de pieux).

[37] http://www.ascobans.org/en/species/threats/underwater-noise (contenu disponible en anglais seulement)



Alexis Rudd, Consortium for Ocean Leadership, 2014

Figure 22 : Représentation internationale de l'ASCOBANS

c) CDB

La **Convention sur la diversité biologique (CDB)** est entrée en vigueur le 29 décembre 1993. Elle a trois objectifs principaux : la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses éléments et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques. La CDB est composée de 196 Parties (168 signatures). La Conférence des Parties (CdP), qui est l'instance dirigeante de la CDB, a établi sept programmes thématiques qui correspondent à certains des principaux écosystèmes de la planète. L'un de ces programmes porte sur la Biodiversité marine et côtière[38]. Adopté en 1998, puis révisé et mis à jour en 2004, le programme Biodiversité marine et côtière est centré sur la gestion intégrée du milieu marin et des zones côtières, des ressources vivantes marines et côtières, des aires marines et côtières protégées, de la mariculture, des espèces aquatiques envahissantes et du bruit sous-marin. Le Secrétariat de la CDB a produit un rapport de synthèse en réaction à la décision X/29 (paragraphe 12), où la CdP à la Convention sur la diversité biologique indiquait que des progrès régionaux avaient été accomplis au chapitre de l'analyse des répercussions du bruit sous-marin sur la biodiversité marine et côtière, en plus de reconnaître le rôle de la CDB en appui à la coopération mondiale. Plusieurs documents liés à cette question ont été publiés.

Rapport du Expert Workshop on Underwater Noise and its Impacts on Marine and Coastal Biodiversity
https://www.cbd.int/doc/meetings/mar/mcbem-2014-01/official/mcbem-2014-01-02-en.pdf
(contenu disponible en anglais seulement)
Autres renseignements connexes
https://www.cbd.int/doc/?meeting=MCBEM-2014-01 (contenu disponible en anglais seulement)

[38] https://www.cbd.int/marine/

d) CMS

La **Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage** (CMS) est un traité environnemental du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Elle offre une plateforme mondiale pour la conservation et l'utilisation durable des animaux migrateurs et de leurs habitats. Les effets négatifs du bruit sous-marin ont été reconnus pour la première fois en 2002, lors de l'adoption de la résolution 7.5[39] sur les éoliennes et les espèces migratrices. Lors de conférences ultérieures des parties, la CMS a réaffirmé que le bruit anthropique constitue une menace importante pour les cétacés, et les parties ont adopté plusieurs résolutions demandant des mesures d'atténuation efficaces.

On compte actuellement 121 parties à la CMS. La résolution 9.19[40] de 2008 sur les impacts acoustiques marins anthropogéniques nuisibles pour les cétacés et autres écosystèmes, ainsi que la décision la plus récente sur ce sujet, la résolution 10.24[41], sur les nouvelles mesures visant à réduire la pollution acoustique sous-marine pour la protection des cétacés, exhortent les parties à réaliser des évaluations environnementales qui prennent en considération les effets du bruit sur l'écosystème marin et les voies de migration; d'appliquer les meilleures techniques et technologies disponibles[42] (MTD) et les meilleures pratiques environnementales (MPE); d'appliquer des techniques de réduction du bruit aux activités extracôtières et d'intégrer la question du bruit anthropique aux plans de gestion des aires marines protégées (AMP).
Depuis 2014, le groupe de travail conjoint sur le bruit relevant de l'ACCOBAMS et de l'ASCOBANS prodigue des avis spécialisés au Conseil scientifique de la CMS.

e) HELCOM

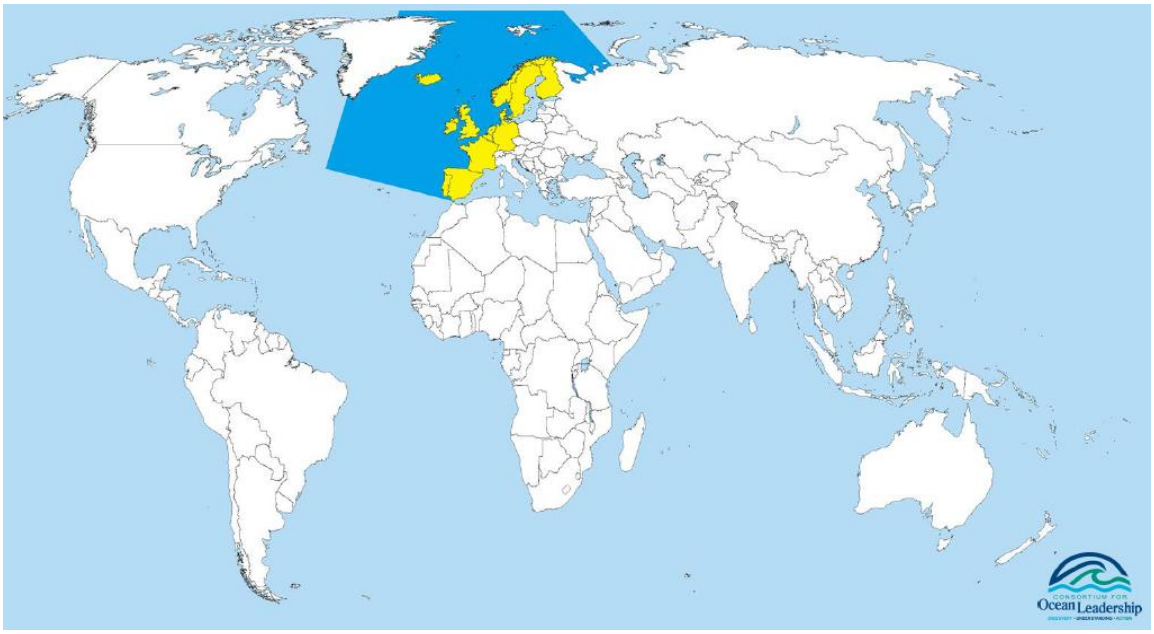
La **Commission d'Helsinki (HELCOM)**, établie dans les années 1980, vise à protéger le milieu marin de la mer Baltique contre toutes les sources de pollution par la coopération intergouvernementale. La Commission regroupe le Danemark, l'Estonie, la Finlande, l'Allemagne, la Lettonie, la Lituanie, la Pologne, la Russie, la Suède et la Communauté européenne. Les huit groupes principaux d'HELCOM[43] mettent en œuvre des politiques et des stratégies et proposent les enjeux à discuter aux réunions des chefs des délégations, où les décisions sont prises. Dans le cadre d'HELCOM, des groupes ad hoc peuvent être formés afin d'offrir un processus adaptatif et souple permettant d'aborder des questions spécifiques selon un point de vue plus thématique. L'un des projets, nommé CORESET (de 2010 à 2013), était destiné à élaborer un ensemble d'indicateurs de base pour évaluer l'efficacité de la mise en œuvre du plan d'action pour la mer Baltique et de la DCSMM mentionnée ci-dessus. Un indicateur était lié au bruit sous-marin et à ses répercussions sur les mammifères marins. La cartographie des sources sonores anthropiques et la modélisation des niveaux de bruit cumulatif faisaient partie du projet. Dans le cadre d'un nouveau projet, CORESET II, le groupe

[39] http://www.cms.int/fr/document/wind-turbines-and-migratory-species
[40] http://www.cms.int/fr/document/adverse-anthropogenic-marineocean-noise-impacts-cetaceans-and-other-biota
[41] http://www.cms.int/fr/document/further-steps-abate-underwater-noise-pollution-protection-cetaceans-and-other-migratory
[42] http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ (contenu disponible en anglais seulement)
[43] Ces groupes sont les suivants : la mise en œuvre de l'approche écosystémique maritime; la réduction des pressions du bassin versant de la mer Baltique (réaction); l'état de l'environnement et de la conservation de la nature, les pratiques agricoles durables; les pêches durables fondées sur l'écosystème; et le groupe de travail entre HELCOM et VASAB sur la planification spatiale maritime.

met en œuvre ces indicateurs et en formule d'autres. En dernier lieu, la Commission pour la protection du milieu marin de la mer Baltique étudie actuellement une proposition[44] d'un plan de travail sur la préparation d'une feuille de route pour la création d'une base de connaissances en vue d'élaborer un plan d'action régional sur le bruit sous-marin en 2017-2018.

f) Convention OSPAR

La **Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (Convention OSPAR)** a été ouverte aux signatures lors de la réunion ministérielle des anciennes commissions d'Oslo et de Paris le 22 septembre 1992. La Convention est entrée en vigueur le 25 mars 1998. Toutefois, les conventions antérieures sur lesquelles elle est fondée sont quant à elles entrées en vigueur dans les années 1970. La Convention a été signée et ratifiée par toutes les parties contractantes aux commissions initiales d'Oslo ou de Paris (Belgique, Danemark, Finlande, France, Allemagne, Islande, Irlande, Luxembourg, Norvège, Portugal, Espagne, Suède, Suisse et Royaume-Uni), ainsi que par la Communauté européenne, tel qu'illustré à la figure 23.



Alexis Rudd, Consortium for Ocean Leadership, 2014

Figure 23 : Convention OSPAR

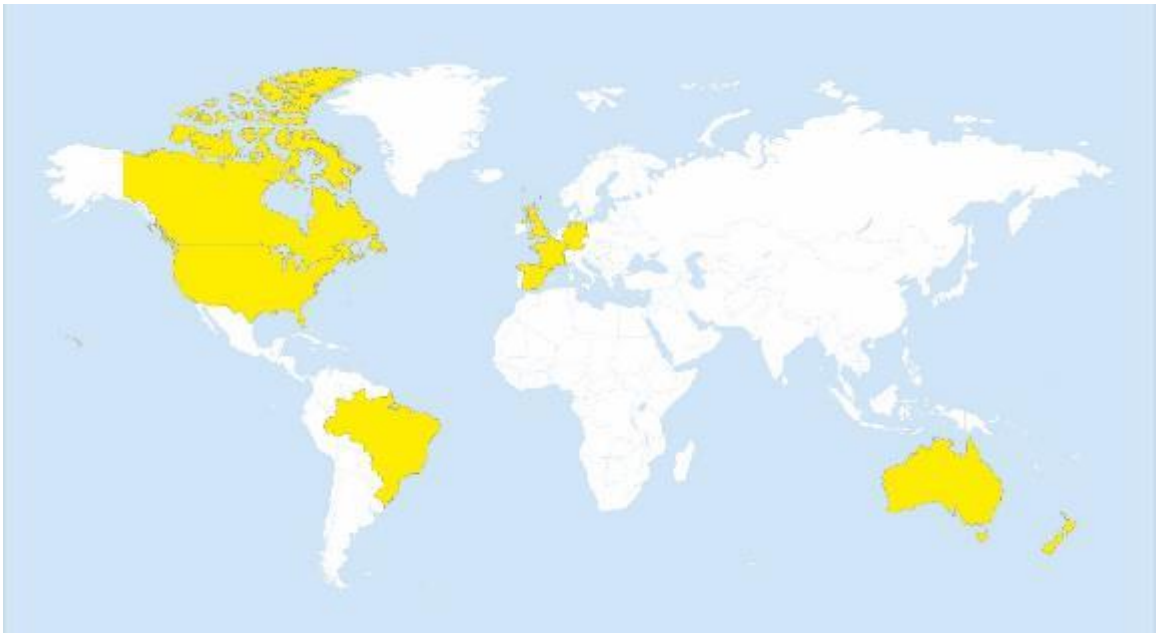
Dans la Convention OSPAR, aucun règlement n'aborde précisément le bruit en milieu marin. Par contre, les parties contractantes qui sont des États membres de l'Union européenne doivent se conformer aux règlements de l'UE. L'absence de règlement s'explique par le fait que la compréhension du bruit et de ses effets dans le milieu marin en est encore à ses débuts et présente d'importantes lacunes de connaissances au sujet des effets du bruit sous-marin sur la vie marine. En guise de première étape, les signataires de l'OSPAR se sont récemment entendus sur des indicateurs communs concernant le bruit sous-marin impulsionnel et ambiant, avec un

[44] https://portal.helcom.fi/meetings/PRESSURE%203-2015-278/MeetingDocuments/6-6%20Draft%20Regional%20Baltic%20Underwater%20Noise%20Roadmap%202015-2017.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

suivi pour aider à évaluer l'impact sur le milieu marin. L'OSPAR élabore actuellement un répertoire[45] de mesures d'atténuation du niveau et des impacts du bruit sous-marin.

2.3 RÈGLEMENTATIONS À L'ÉCHELLE NATIONALE

La présente section comporte des exemples de règlements sur le bruit sous-marin dans des pays qui ont adopté une approche plus rigoureuse relativement à des événements précis dans l'espace et le temps. Dans ces pays, aucune mesure d'atténuation particulière n'est actuellement en œuvre pour faire face au bruit lié à la navigation commerciale et aux autres types de bruit lié au trafic maritime. La figure 24 illustre une carte des pays où une loi nationale a été élaborée en ce qui concerne le bruit sous-marin. Notons qu'il ne s'agit pas d'une carte exhaustive : il pourrait y avoir d'autres pays qui abordent cette question à l'échelle nationale, mais ces initiatives ne figuraient pas dans les documents qui ont été examinés pour le présent rapport.



Alliance verte, 2015

Figure 24 : Certains des pays disposant d'une règlementation sur le bruit sous-marin

2.3.1 Australie

En Australie, les états et les territoires sont responsables de gérer le milieu marin en deçà de la limite de trois miles nautiques (NM) de la côte. En vertu de l'*Environment Protection and Biodiversity Conservation Act* (EPBCA) 1999, il appartient à l'exploitant de décider si une proposition risque d'avoir une incidence sur une question d'importance environnementale nationale et doit être renvoyée au *Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities* (SEWPaC) aux fins d'évaluation et de décision. Publié par le

[45] La section consacrée au battage de pieux est déjà disponible à l'adresse suivante : http://www.ospar.org/documents/dbase/publications/p00626/p00626_inventory_of_noise_mitigation.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

SEWPaC (2008), l'énoncé de politique 2.1 sur l'EPBCA fournit des normes et un cadre conçus pour minimiser le risque d'impacts acoustiques sur les baleines provenant des opérations sismiques maritimes. La production de levés sismiques devrait être prévue à l'écart des habitats et en dehors des périodes de mise bas, de reproduction ou d'alimentation des baleines. Il faut assurer une observation visuelle des mammifères marins, ainsi qu'une surveillance acoustique passive, qui est recommandée particulièrement en cas de faible visibilité.

Au-delà de 3 NM, soit dans les eaux du Commonwealth, ce sont les réglementations environnementales émises par la *National Offshore Petroleum Safety and Environmental Management Authority* (NOPSEMA) qui prévalent. La NOPSEMA est responsable de la surveillance et de l'application de *l'Offshore Petroleum and Greenhouse Gas Storage Act* 2006 et des *Environment Regulations* 2009. Les *Environment Regulations* exigent que les activités pétrolières réalisées dans les eaux du Commonwealth le soient d'une façon conforme avec les principes du développement durable et selon un plan environnemental (PE) établi. Avant l'exploitation, l'opérateur doit élaborer un PE aux fins d'évaluation et d'acceptation par la NOPSEMA. Contrairement à bien d'autres administrations, la NOPSEMA ne prescrit pas d'approche particulière en matière de réduction des risques pour l'environnement. Elle encourage les opérateurs à adopter une approche souple et à employer des mesures novatrices qui sont adaptées à leurs circonstances particulières. Ce règlement reconnaît que chaque situation est différente et qu'aucune approche unique ne convient à toutes les situations. De plus, il expose sommairement ce qui est raisonnablement pratique de mettre en œuvre, au fil du temps, à mesure que la technologie, l'expertise et la compréhension des impacts environnementaux évoluent.

L'*Australian Maritime Safety Authority Act 1990* précise que le rôle de *l'Australian Maritime Safety Authority* (AMSA) comprend la protection du milieu marin contre la pollution des navires et les autres dommages environnementaux causés par la navigation commerciale. Le bruit de la navigation commerciale est reconnu parmi les enjeux actuels qui sont associés aux activités environnementales de l'AMSA.

2.3.2 Allemagne

Le bruit sous-marin d'origine anthropique est considéré comme l'une des principales menaces pour le milieu marin et la vie marine (OSPAR, 2009). La *Federal Agency for Nature Conservation* (BfN) a démontré un engagement ferme à réduire au minimum le bruit sous-marin dans les mers du Nord et Baltique. Dans le cadre d'un projet de recherche global réalisé dans la zone économique exclusive (ZEE), une série d'études portaient sur le bruit sous-marin dans les mers du Nord et Baltique. Ces études visaient à élaborer des normes vérifiables à utiliser dans le cadre des évaluations de l'impact du bruit sous-marin sur la vie marine – étaient particulièrement ciblés le marsouin commun et le phoque gris, mais aussi les poissons. Pour enrichir les connaissances actuellement disponibles sur le bruit sous-marin, des hydrophones ont été utilisés afin de créer une cartographie des bruits pour les aires protégées Natura 2000 dans les mers du Nord et Baltique.

2.3.3 Nouvelle-Zélande

L'*Exclusive Economic Zone (EEZ) and Continental Shelf (Environmental Effects) Act 2012* (la loi sur la ZEE) de la Nouvelle-Zélande gère les effets environnementaux des activités qui ont lieu dans la ZEE de la Nouvelle-Zélande. La loi vise à protéger l'océan contre les risques potentiels

pour l'environnement associés à un éventail d'activités, dont le bruit sous-marin, les activités d'exploration pétrolière, l'exploration minière du fond marin, la production d'énergie marine et l'exploitation du captage de carbone. Elle vise également à restreindre les activités générant des vibrations (autres que celles produites par le fonctionnement normal d'un navire) qui sont susceptibles d'avoir un effet néfaste sur la vie marine.

À l'intérieur de la zone marine côtière (à une distance de moins de 12 nm), le bruit sous-marin émergeant d'activités telle que le battage de pieux peut aussi être réglementé en vertu de la *Resource Management Act (1991)*, des plans côtiers régionaux, ou encore par des conseils régionaux compétents.

Dans la ZEE de la Nouvelle-Zélande, les levés sismiques sont considérés comme une activité permise (c.-à-d. qu'aucune demande d'autorisation n'est nécessaire) en vertu du règlement de la loi sur la ZEE, pourvu que l'organisation qui entreprend le levé se conforme au « *2013 Code of Conduct for Minimising Acoustic Disturbance to Marine Mammals from Seismic Survey Operations* » (le Code[46]).[47]

La Nouvelle-Zélande tient également compte de la question du bruit sous-marin d'origine anthropique dans les plans de gestion des aires marines protégées (AMP). En temps normal, aucune activité de levés sismiques n'est autorisée dans une aire sensible, dans une zone d'importance écologique ou au cours de périodes critiques pour des espèces en péril telles que durant les périodes de reproduction, de mise bas, de repos, d'alimentation ou de migration. Les levés sismiques sont également prohibés là où les risques sont particulièrement évidents, comme dans les eaux confinées (telles que les baies ou les chenaux).

Pour aider à l'étude efficace du niveau de sensibilité de certaines zones au cours de la planification préalable des levés, le *Department of Conservation* (DOC) de la Nouvelle-Zélande a développé une carte[48] qui met en évidence les zones sensibles des espèces de mammifères marins. Cette carte est mise à jour régulièrement au fur et à mesure que de nouvelles connaissances sont disponibles. Lorsqu'il est démontré, au cours du processus d'évaluation de l'incidence sur les mammifères marins (EIMM), que la réalisation de levés sismiques dans des sanctuaires de mammifères marins (SMM) ou des zones d'importance écologique (ZIE) est

[46] http://www.doc.govt.nz/our-work/seismic-surveys-code-of-conduct/code-of-conduct-for-minimising-acoustic-disturbance-to-marine-mammals-from-seismic-survey-operations/ (contenu disponible en anglais seulement)

[47] En 2013, le *Department of Conservation* (DOC) de la N.-Z a élaboré le *Code of Conduct for Minimizing Acoustic Disturbance to Marine Mammals from Seismic Survey Operations* (the Code) et son document de référence afin de prévoir des mesures d'atténuation efficaces et pratiques pour réduire au minimum la perturbation acoustique des mammifères marins au cours des levés sismiques. *L'Environmental Protection Authority* (EPA) est responsable de surveiller les levés sismiques au sein de la ZEE pour déterminer la conformité avec le Code. Après trois années de fonctionnement, le Code fait actuellement l'objet d'un examen minutieux en suivant un processus à multiples intervenants. S'appuyant sur les lignes directrices de 2006, le DOC de la N.-Z. a publié le Code en 2012 dans le cadre d'efforts visant à gérer les répercussions sur les mammifères marins en vertu de la *Marine Mammals Protection Act* de 1978 (MMPA). Bien que volontaire, le Code a été mis en vigueur sous forme de règlement en 2013 dans la ZEE par l'intermédiaire de la loi sur la ZEE.

[48] http://www.doc.govt.nz/our-work/seismic-surveys-code-of-conduct/areas-of-ecological-importance-and-marine-mammal-sanctuaries/ (contenu disponible en anglais seulement)

nécessaire et inévitable, d'autres mesures telles l'ajout d'observateurs ou de plateformes d'observation, l'observation aérienne, les restrictions à l'énergie de source acoustique et le fait de concevoir les levés de manière à éviter de piéger les mammifères marins dans des zones confinées comme des voies maritimes étroites et restreintes, peuvent être requises afin de réduire au minimum les répercussions potentielles.

2.3.4 Royaume-Uni

Le *Joint Nature Conservation Committee* (JNCC) est l'organisme public qui conseille le gouvernement du Royaume-Uni (R.-U.) et les administrations décentralisées sur la conservation de la nature dans l'ensemble du R.-U. et à l'échelle internationale. Il a pour rôle de présenter des éléments de preuve, des renseignements et des conseils de sorte que l'on puisse prendre des décisions qui protègent les ressources et les écosystèmes. Le JNCC en soi est un forum qui rassemble les quatre organismes de conservation nationale du R.-U. Ses membres conseillent le gouvernement et un large éventail d'organismes afin de faciliter l'harmonisation des politiques.

En 2010, le JNCC a publié un protocole relatif au battage de pieux[49] pour réduire au minimum le risque de blessures aux mammifères marins et des lignes directrices semblables[50] pour la production de levés sismiques. Ainsi, un promoteur de développement doit déterminer les espèces qui sont présentes dans la zone des travaux et les environs, les périodes de fréquentation, en plus de tenir compte des variations saisonnières. Les agences ont également recommandé que les responsables de toutes les opérations entourant le battage de pieux doivent produire un plan de gestion environnemental (PGE), ou encore un document équivalant qui répond aux exigences de l'organisme de réglementation approprié. Certains types d'activités bruyantes sont susceptibles de produire des niveaux de bruit atteignant des seuils pouvant générer des conséquences négatives pour les mammifères marins[51]. Bien qu'accessoires aux activités déjà approuvées, de tels effets ont le potentiel d'être incompatibles avec les dispositions législatives du *Conservation of Habitats and Species Regulations 2010* (le *Habitats Regulations*, HR), qui s'applique aux eaux anglaises et galloises à l'intérieur d'une distance de 12 NM, et du *Offshore Marine Conservation (Natural Habitats, &c.) Regulations 2007* (l'*Offshore Marine Regulations*, OMR, tel qu'il a été modifié en 2009 et en 2010), qui s'applique au plateau continental du R.-U.

Le JNCC n'a pas produit de mesures d'atténuation particulières en ce qui concerne le bruit des navires. Toutefois, le gouvernement du R.-U. élabore actuellement un programme de mesure du bruit ambiant au R.-U. conformément aux exigences de la directive-cadre « Stratégie pour le milieu marin » (Sonia Mendes, JNCC, communication personnelle, 30 juillet 2015). Cela

[49] Protocole – https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/50006/jncc-pprotocol.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

[50] Lignes directrices – https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/50005/jncc-seismic-guide.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

[51] Le JNCC fait observer que d'autres animaux sauvages protégés, comme les tortues, sont présents dans les eaux où ces lignes directrices peuvent être appliquées, et il suggérerait que, bien qu'une atténuation appropriée puisse nécessiter une enquête approfondie, les protocoles recommandés pour les mammifères marins seraient également appropriés pour les tortues marines et les requins-pèlerins (JNCC, 2010).

comprendra une étude pilote avec la collecte de données à des emplacements déterminés et des recommandations visant la conception d'un programme de surveillance.

2.3.5 États-Unis

Aux États-Unis, la vie marine et les habitats marins sont protégés en vertu de la *Marine Mammal Protection Act* (MMPA), de l'*Endangered Species Act* (ESA), de la *National Marine Sanctuaries Act* (NMSA), de la *National Environmental Policy Act* (NEPA), de la *Magnuson-Stevens Fishery Conservation and Management Act* (MSA) et/ou de la *Coastal Zone Management Act* (CZMA). Seule la MMPA protège précisément les mammifères marins contre le bruit anthropique. Ces lois sont appliquées par le *National Marine Fisheries Service* (NMFS) et par le *National Ocean Service* (NOS) (ci-après appelé collectivement la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA[52])). En vertu de la MMPA et de l'ESA, la NOAA ne considère pas un déplacement temporaire du seuil (DTS)[53] comme une blessure, ne qualifiant donc pas les DTS parmi les sources de harcèlement de niveau A[54]. Néanmoins, la définition générale *d'injury* (blessure) dans le règlement de la NMSA comprend à la fois le déplacement permanent du seuil (DPS) et le déplacement temporaire du seuil (DTS)[55], ainsi que d'autres changements néfastes de caractéristiques physiques ou comportementales.

L'article 7 des mandats de l'ESA prévoit que le *Bureau of Ocean Energy* Management, Regulation and Enforcement (BOEM) et toutes les autres agences fédérales des É.-U. consultent le secrétaire au commerce (par l'entremise du NMFS) et/ou de l'intérieur (par l'entremise du U.S. *Fish and Wildlife Service,* USFWS) afin de veiller à ce que toute « mesure d'une agence » ne soit pas susceptible de compromettre l'existence d'espèces en péril ou menacées, ou encore de causer la destruction ou une modification néfaste de l'habitat essentiel d'une espèce en péril ou menacée. De plus, le NMFS a mis en place des niveaux de seuils acoustiques provisoires en lien avec le battage de pieux et les espèces protégées de poissons.

Les règlements de la NOAA suivent actuellement un processus d'examen en vue de leurs nouvelles lignes directrices[56] (*Draft Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound*

---

[52] La NOAA n'a pas compétence sur tous les mammifères marins. Le U.S. *Fish and Wildlife Service* a compétence sur les lamantins, les morses, les outres et les ours polaires, tel qu'il est décrit aux pages suivantes :
http://www.fws.gov/alaska/fisheries/mmm/itr.htm (contenu disponible en anglais seulement)
http://www.fws.gov/international/pdf/marine-mammals.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

[53] DPS : Un déplacement permanent du seuil est un déplacement permanent du seuil auditif, c.-à-d. que le seuil demeure élevé même après une période de temps prolongée.

[54] En vertu des modifications apportées en 1994 à la MMPA, le harcèlement est défini comme tout acte de poursuite, de tourment ou d'agacement qui a le potentiel de blesser (harcèlement de niveau A) ou de perturber (harcèlement de niveau B) un mammifère marin ou un stock à l'état sauvage. Le harcèlement de niveau B comprend la perturbation des modèles comportementaux, p. ex. la migration, la respiration, l'allaitement, la reproduction, l'alimentation ou la mise à l'abri.

[55] DTS: Un déplacement temporaire du seuil respecte les limites normales de la variabilité et de la tolérance physiologiques, et il ne représente pas une blessure physique (Ward 1997). Le seuil auditif revient éventuellement à la normale, et, dans certains cas, il peut en découler des dommages nerveux qui détériorent les facultés auditives par d'autres mécanismes.

[56] Avant ces lignes directrices, la NOAA se fiait principalement à deux niveaux seuils génériques pour évaluer les répercussions auditives (c.-à-d. l'apparition du déplacement permanent du seuil (DPS)) pour la

on Marine Mammals) pour l'évaluation de l'effet du son anthropique sur l'audition des mammifères marins[57]. Les lignes directrices présentent des niveaux de seuils acoustiques relatifs à l'apparition du déplacement permanent du seuil (DPS) et du déplacement temporaire du seuil (DTS) pour toutes les sources sonores. Les lignes directrices sont élaborées dans le but d'être utilisées par les analystes et les gestionnaires de la NOAA ainsi que par d'autres groupes et intervenants concernés, y compris d'autres agences fédérales, dans le but de mieux prédire la réaction d'un mammifère marin à l'exposition au son. En effet, le niveau de réaction pourrait faire en sorte d'affecter la validité de certaines critères et exigences en vertu d'une ou de plusieurs des lois de la NOAA[58] (la MMPA, l'ESA et la NMSA).

Pour traiter de l'impact du bruit sous-marin et pour formuler des mesures de gestion adéquates, la NOAA est en train d'élaborer une stratégie complète sur le bruit océanique[59]. Le succès de la mise en œuvre de cette stratégie viserait :

- à réduire les effets chroniques et cumulatifs du bruit;
- à combler les lacunes critiques dans les connaissances et ainsi mieux éclairer les décisions de gestion;
- à développer des outils accessibles au public pour soutenir la planification de l'évaluation et de l'atténuation dans le cas des activités produisant du bruit à grande échelle spatiale et temporelle;
- à promouvoir la compréhension publique des répercussions du bruit aux É.-U. et à l'international.

En terminant, la marine des É.-U. a accepté, en 2015, de renoncer entièrement, ou d'imposer d'importantes restrictions, à ses essais d'explosifs prévus et à son entraînement sur les sonars de portée moyenne dans les aires désignées d'importance particulière pour la survie du rorqual bleu, des baleines à bec, du pseudorque en danger de disparition et d'autres mammifères marins qui sont mis en danger par l'entraînement de la marine des É.-U. Cette entente est synonyme de réels progrès, s'accompagnant de l'engagement ferme, par la marine des É.-U., de prendre les mesures de protection les plus significatives. Cet engagement a été longtemps demandé par le Natural Resources Defense Council (NRDC) et d'autres intervenants, appuyés par la communauté scientifique.

---

plupart des sources sonores sous-marines : un pour les cétacés (180 dB_{rms}), et un pour les pinnipèdes (190 dB_{rms}). Ces seuils génériques ont été élaborés à la fin des années 1990 à l'aide des meilleurs renseignements disponibles à l'époque. Pour d'autres sources de sons, comme le sonar naval tactique et les explosifs sous-marins, on s'est fié à des niveaux de seuils acoustiques développés plus récemment. Depuis l'adoption de ces seuils originaux, la compréhension des effets du bruit sur l'audition des mammifères a grandement évolué, rendant nécessaire de réexaminer l'état actuel des niveaux de seuils scientifiques et acoustiques.

[57] Les lignes directrices ne mettent à jour que les seuils acoustiques des mammifères marins pour le DPS et le DTS. D'autres seuils relatifs au harcèlement comportemental ne sont pas abordés dans ces lignes directrices, et ils seront mis à jour dans de futures lignes directrices. http://www.nmfs.noaa.gov/pr/acoustics/draft%20acoustic%20guidance%20July%202015.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

[58] Cela englobe les activités comme la construction, sans toutefois réglementer le bruit produit directement par la navigation commerciale. Pour cela, la NOAA a collaboré avec l'OMI.

[59] http://cetsound.noaa.gov/ons (contenu disponible en anglais seulement)

2.3.6 Autres pays

Dans plusieurs autres pays, des règlements nationaux ont été élaborés pour la production de levés sismiques. Ces pays comprennent le Canada[60], l'Espagne[61] et le Brésil[62], de même que d'autres pays de l'Asie et de la côte du Pacifique[63]. Les politiques et les cadres de réglementation concernant les mammifères marins et le bruit sous-marins sont soit inexistants, soit à un stade d'élaboration précoce dans la plupart des pays africains (Marine Mammal and Noise, 2007).

2.4 CONCLUSION

Pour la plupart des pays, l'atténuation du bruit se rapporte au bruit impulsionnel et à forte énergie qui est introduit dans le milieu marin. L'utilisation d'une « zone d'exclusion », qui nécessite d'éteindre ou de couper une source sonore puissante si des mammifères marins sont détectés à courte distance, constitue habituellement le dénominateur commun. La plupart des efforts de gestion sont consacrés à la conception de protocoles pour assurer le maintien des zones d'exclusion et la gestion des démarrages progressifs des sources sonores, , en tenant peu compte du fait que le rayon de diffusion sonore autour des sources de bruit puissantes dépasse largement la bande étroite d'espace d'eau comprise dans les zones d'exclusion conçues pour protéger.

Dans le cas du bruit continu à basse fréquence, il est actuellement difficile de présenter une évaluation quantitative de l'efficacité et du caractère adéquat des mesures prises et/ou prévues pour protéger la vie marine contre les effets néfastes potentiels. Puisque les blessures aux espèces marines qui découlent du bruit lié à la navigation commerciale sont généralement indirectes et sont principalement axées sur la perturbation, le masquage du son et l'augmentation des hormones de stress, l'identification et la détermination de seuils acoustiques précis où le bruit peut être considéré comme nuisible constitue un véritable défi.

Les mesures d'atténuation relatives au bruit lié à la navigation commerciale nécessiteront une approche multisectorielle en matière de gestion, la mise en œuvre des meilleures méthodes et

---

[60] L'*Énoncé des pratiques canadiennes d'atténuation des ondes sismiques en milieu marin* présente des exigences en matière d'atténuation minimales pour la production de levés sismiques, et les normes sur le battage de pieux sont mises en œuvre à l'échelle régionale, souvent en fonction de critères désuets. (http://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/seismic-sismique/index-fra.html). Pour obtenir un aperçu des règlements sur le bruit océanique au Canada, suivez le lien suivant : http://awsassets.wwf.ca/downloads/nowlan_wwf_canada_ocean_noise_regulation_backgrounder_for_workshop_june_2013.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

[61] http://www.lab.upc.edu/papers/BestPracticesNoiseLAB.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

[62] Les politiques et les cadres réglementaires concernant les mammifères marins et le bruit se trouvent soit à un stade de développement précoce, soit n'ont pas encore été abordés dans la plupart des pays d'Amérique latine (que l'on définit largement comme ceux des Amériques du Sud et centrale, les Caraïbes et le Mexique).

[63] Ces pays comprennent la Chine (et Hong Kong), Taïwan, les Philippines, le Vietnam, la Laos, le Cambodge, la Thaïlande, la Malaisie, Singapour, Brunei, l'Indonésie et le Timor-Oriental. Bien que la plupart de ces pays confèrent une protection légale complète aux mammifères marins, la mise en œuvre et l'application des lois existantes sont généralement déficientes, et peu d'efforts ont été déployés pour évaluer et gérer les répercussions potentielles du bruit sous-marin généré par l'humain dans la région.

technologies disponibles pour la réduction du bruit et la réduction au minimum du risque de dédoublement des efforts.

En terminant, il importe de reconnaître que certains des acteurs clés issus du secteur du transport maritime qui évoluent dans les eaux canadiennes (armateurs domestiques et internationaux, ports et terminaux) participent déjà à des initiatives visant à mieux comprendre la contribution des navires commerciaux aux niveaux croissants de bruit sous-marin ambiants, ou encore ont affirmé s'y intéresser vivement. Malgré le manque d'informations disponibles pour ces intervenants, bon nombre sont déjà conscients des effets néfastes du bruit lié aux activités maritimes sur la vie marine. À cette fin, ils espèrent que les ministères chargés de la question du bruit sous-marin s'efforceront d'approfondir les connaissances afin que l'on soit en mesure d'agir en pleine connaissance de cause.

PARTIE 3
LE BRUIT ABORDÉ À TRAVERS ATELIERS, CONFÉRENCES ET PROJETS DE RECHERCHE

3.1 INTRODUCTION

Les préoccupations mondiales croissantes par rapport aux effets du bruit sous-marin d'origine anthropique sur la santé des animaux marins ont engendré quantité d'ateliers, de conférences et d'événements partout dans le monde. Les scientifiques, les responsables des politiques et d'autres intervenants tentent de faire avancer la compréhension globale en faisant part des recherches les plus récentes, en établissant de nouvelles collaborations et/ou expertises, ainsi qu'en présentant aux autres pays un modèle d'intendance à suivre. En raison du nombre important d'événements qui ont eu lieu au cours des dix dernières années sur le sujet, ils peuvent difficilement être tous énumérés ici. Toutefois, dans cette section se trouvent certains de ces rassemblements, conférences et/ou des textes qui en découlent qui ont été portés à l'attention de l'auteure.

3.2 ATELIERS INTERNATIONAUX SUR LE BRUIT

2004

FÉVRIER
[Traduction] *Atelier de la NOAA sur le bruit d'origine anthropique et les mammifères marins*
Cet atelier a été organisé afin de présenter les renseignements contextuels dont la NOAA a besoin pour élaborer un programme de recherche qui abordera les questions liées au bruit anthropique dans les océans. Des experts de la Marine des É.-U., d'instituts de recherche universitaire, de l'industrie et de la NOAA se sont rassemblés au *Southwest Fisheries Science Center* de NOAA *Fisheries* à La Jolla, en Californie, les 19 et 20 février 2004, dans le but de passer en revue les recherches acoustiques en cours et prévues consacrées au bruit anthropique, à la NOAA et ailleurs.
Rapport final : http://www.pifsc.noaa.gov/tech/NOAA_Tech_Memo_361.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

2005

OCTOBRE
[Traduction] *Les effets du bruit d'origine anthropique sur les mammifères marins : ébauche de stratégie de recherche*
Ce rapport est fondé sur les activités et les procédures d'un groupe d'experts sur le bruit d'origine anthropique et les mammifères marins qui ont été convoqués à l'atelier conjoint entre *Marine Board-ESF* et la *National Science Foundation* (U.S.) lors de l'événement Tubney House, du 4 au 8 octobre 2005, à Oxford, avec le soutien logistique et financier du Marine Board-ESF.
Rapport final: http://www.esf.org/fileadmin/Public_documents/Publications/MBpp13.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

2007

MARS
[Traduction] *Les mammifères marins et le bruit : approche rigoureuse en matière de recherche et de gestion*
Rapport final : http://www.mmc.gov/reports/workshop/pdf/fullsoundreport.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

AOÛT
Première conférence internationale sur les effets du bruit sur la vie aquatique
Cette conférence rassemblait plus de 250 scientifiques, organismes de réglementation et représentants de l'industrie de plus de 40 pays dans le cadre de discussions concernant des façons d'aborder les répercussions éventuelles du bruit sous-marin. Les délibérations de la conférence ont par la suite été publiées dans un numéro spécial de *Bioacoustics*[64].

2008

AVRIL
[Traduction] *Atelier international sur le bruit lié à la navigation commerciale et les mammifères marins,* Allemagne
Rapport final : http://www.okeanos-foundation.org/assets/Uploads/Hamburg-shipping-report-2.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

2009

AOÛT
[Traduction] *Atelier sur l'évaluation des répercussions cumulatives du bruit sous-marin avec d'autres facteurs de stress d'origine anthropique sur les mammifères marins : des idées à l'action*
Californie, É.-U.
Rapport final : http://www.okeanos-foundation.org/assets/Uploads/CIReportFinal3.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

2010

JUILLET
[Traduction] *Atelier sur les mammifères marins et le bruit*, Washington, D.C.
À l'appui de la participation accrue des intervenants et à la suite des recommandations de son propre rapport de 2009 à ce sujet, le U.*S. Committee on Ocean Policy Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology* (JSOST) a parrainé un atelier interactif tenu les 13 et 14 juillet 2010 avec des intervenants gouvernementaux et non gouvernementaux afin de solliciter des commentaires sur des questions clés liées (i) aux mammifères marins et à l'analyse des effets du bruit anthropique et (ii) à la formulation de mesures de surveillance et d'atténuation.
Rapport final : http://www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/acoustics/mm_sound_workshop_report.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

[64] *Bioacoustics*, 2008, volume 17, n° 1, p. 350

AOÛT
Deuxième conférence internationale sur les effets du bruit sur la vie aquatique
La conférence visait principalement à définir l'état actuel des connaissances. Toutefois, les délégués ont aussi évalué les progrès réalisés au cours des trois années qui ont suivi la première conférence. Lors de la deuxième conférence, un accent a été mis sur la présentation des résultats des recherches récentes, sur le partage des idées, sur la discussion concernant les approches expérimentales et sur l'analyse des questions réglementaires.
Pour plus de renseignements : http://noiseeffects.umd.edu/index.htm (contenu disponible en anglais seulement)

OCTOBRE
Groupe de travail intersession d'ASCOBAN sur l'évaluation de la perturbation acoustique, Allemagne
Rapport final : http://www.ascobans.org/sites/default/files/document/AC17_4-08_ReportWGAcousticDisturbance_1.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

NOVEMBRE
[Traduction] *Effets du stress sur les mammifères marins exposés au bruit*
L'Office of Naval Research a parrainé un atelier portant sur les *effets du stress sur les mammifères marins exposés au bruit*, qui a eu lieu à Arlington, en Virginie, les 4 et 5 novembre 2009. L'atelier rassemblait 20 chercheurs, vétérinaires et employés d'agences fédérales octroyant des permis venus discuter de l'état actuel de la recherche sur le stress lié au bruit chez les mammifères marins. Cet atelier avait pour but de rassembler une section transversale de chercheurs des domaines de la physiologie du stress et de la recherche comportementale dans le but de déterminer des connaissances scientifiques de pointe en matière de physiologie du stress en ce qui concerne les mammifères marins, de déterminer les besoins en recherche liée au stress chez les mammifères marins, et d'évaluer les technologies disponibles ou en développement qui permettent de mesurer les indicateurs de stress, ultimement chez les mammifères marins en liberté.
Rapport final : http://www.onr.navy.mil/Science-Technology/Departments/Code-32/All-Programs/Atmosphere-Research-322/~/media/Files/32/ONR_StressWorkshop_FINAL.ashx
(contenu disponible en anglais seulement)

2012

JANVIER
Le 31 janvier et le 1er février 2012, le Fonds mondial pour la nature Canada (WWF-Canada) a été l'hôte d'un atelier sur le bruit océanique dans l'océan Pacifique du Canada, ayant pour but d'assurer une meilleure compréhension de la pollution par le bruit dans l'océan et de la façon dont elle est gérée. Parmi les participants, on trouvait des experts des É.-U., de l'Australie et du R.-U.
Rapport final :
http://awsassets.wwf.ca/downloads/wwf_ocean_noise_workshop_report_final.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

2013

FÉVRIER

[Traduction] *Atelier sur le bruit sous-marin*

HR Wallingford et Baker Consultants ont organisé un atelier visant à discuter de la question de la pollution par le bruit sous-marin liée à l'énergie marine renouvelable à l'occasion de la 10e conférence de Renewable UK sur les vagues et les marées. L'atelier visait à faciliter l'échange de connaissances entre l'industrie, les organismes de réglementation et les universitaires. Un sommaire de l'atelier est présenté ci-dessous.

Renseignements : http://www.hrwallingford.com/projects/predicting-the-impact-of-underwater-noise-on-marine-life?A=SearchResult&SearchID=879456&ObjectID=3954495&ObjectType=35 (contenu disponible en anglais seulement)

AOÛT

Troisième conférence internationale sur les effets du bruit sur la vie aquatique

La réunion de 2013 sur le bruit aquatique a initié les participants aux données de recherche les plus récentes, aux questions réglementaires et à une réflexion sur les effets du bruit causé par l'homme, en plus de favoriser des discussions interdisciplinaires critiques entre les participants. L'accent était mis sur le brassage d'idées et de constats pour l'ensemble des espèces et des sources de bruit. À l'instar de la conférence précédente, la *troisième conférence internationale sur les effets du bruit sur la vie aquatique* encourageait la discussion sur les répercussions du bruit sous-marin, sur la réglementation de celui-ci et sur l'atténuation de ses effets. Avec plus de 100 contributions d'éminents chercheurs, une vaste gamme de sources de bruit sous-marin ont été considérés.

2014

FÉVRIER

[Traduction] *Atelier d'experts sur le bruit sous-marin et son incidence sur la biodiversité maritime et côtière*

À sa onzième réunion, la Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique, dans sa décision XI/18 A, a demandé au secrétaire exécutif de collaborer avec les Parties, les autres gouvernements et les organisations compétentes, y compris l'Organisation maritime internationale (OMI), la Convention sur les espèces migratrices (CMS), la Commission baleinière internationale (CBI), les collectivités autochtones et locales ainsi que d'autres intervenants pertinents, et ce, dans le but d'organiser un atelier d'experts en vue d'approfondir et de partager les connaissances sur le bruit sous-marin et ses répercussions sur la biodiversité marine et côtière, ainsi qu'en vue d'élaborer des lignes directrices et des trousses d'outils pratiques pour réduire au minimum le bruit sous-marin d'origine anthropique et en atténuer les répercussions néfastes importantes sur la biodiversité marine et côtière, y compris les mammifères marins.

Rapport final :
https://www.cbd.int/doc/meetings/mar/mcbem-2014-01/official/mcbem-2014-01-02-en.pdf
(contenu disponible en anglais seulement)

AVRIL

[Traduction] *Prévoir les champs sonores – une modélisation mondiale du paysage sonore pour outiller le processus de gestion des cétacés et du bruit anthropique*

Un atelier de deux jours a été parrainé par la Commission baleinière internationale (CBI), le *International Quiet Ocean Experiment* (IQOE), la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) des É.-U., *l'Office of Naval Research Global*, le *Netherlands Organization for Applied Scientific Research* (TNO) et le *Netherlands Ministry of Infrastructure and the Environment*. Vingt-six experts internationaux issus de onze pays se sont rassemblés pour discuter de techniques de cartographique des champs sonores sous-marins à l'échelle régionale et des océans dans le but d'aider les décideurs cherchant à décrire, à surveiller et à gérer les répercussions potentielles du bruit anthropique chronique ou cumulatif sur les animaux marins.

Rapport final :
https://www.st.nmfs.noaa.gov/Assets/turtle/documents/Predicting%20Sound%20Fields%20Report_Final.pdf (contenu disponible en anglais seulement)

JUILLET

Ocean Leadership a été l'hôte d'une réunion avec des dirigeants de l'industrie, des architectes navals et des scientifiques de la Marine dont le but était de s'appuyer sur les lignes directrices de l'Organisation maritime internationale (OMI) sur le bruit dans l'océan afin de discuter de la question du bruit sous-marin des navires et de formuler un plan pour les prochaines étapes en vue de faire avancer le dossier. Renseignements : http://oceanleadership.org/ocean-leadership-hosts-underwater-sound-workshop/ (contenu disponible en anglais seulement)

SEPTEMBRE

Atelier : [Traduction] *Effets de la pollution par le bruit sur la vie marine et les oiseaux*

Renseignements : http://www.sfaep.org/event/workshop-effects-noise-pollution-marine-life-birds/ (contenu disponible en anglais seulement)

2015

MARS
Atelier de la *World Organization of Dredging Associations* (WODA), Paris, France
[Traduction] *Le bruit sous-marin issu du dragage : traduire la science en conseils pratiques*
Renseignements : http://www.cedaconferences.org/UWS (contenu disponible en anglais seulement)

MAY
Ocean Noise 2015
Les préoccupations scientifiques et sociales croissantes quant aux effets du bruit sous-marin sur les écosystèmes marins ont récemment été reconnues par la mise en place de plusieurs initiatives internationales visant à mesurer l'incidence environnementale du bruit océanique sur de grandes échelles spatiales et temporelles. La conférence *Ocean Noise 2015* a rassemblé d'éminents experts internationaux de la mesure, de la modélisation et de la cartographie du bruit, des effets physiologiques et comportementaux ainsi que des procédures de réglementation et d'atténuation.
Information: http://oceanoise2015.com/ (contenu disponible en anglais seulement)

2016

FÉVRIER
Atelier du *Marine Environmental Observation Prediction and Response Network* (MEOPAR)
[Traduction] *Les navires et les baleines – Utilisation des dispositifs AIS et de l'acoustique pour évaluer l'exposition et le risque*
MEOPAR propose d'organiser un atelier de deux jours centré sur la surveillance des navires et des baleines (détection et identification) à l'aide de dispositifs AIS et de l'acoustique, de même qu'une discussion sur les risques associés aux collision avec les navires et les risques liés aux champs sonores auxquels les baleines (principalement les baleines à fanons) sont exposées, ainsi que la modélisation de ces risques.

JUILLET
Quatrième conférence internationale sur les effets du bruit sur la vie aquatique
La quatrième conférence internationale sur les effets du bruit sur la vie aquatique aura lieu à Dublin, en Irlande, du 10 au 16 juillet 2016. Cette réunion suit les réunions très fructueuses tenues à Nyborg, au Danemark (2007); à Cork, en Irlande (2010); et à Budapest, en Hongrie (2013). Ces réunions ont rassemblé des scientifiques, des organismes de réglementation, des environnementalistes et des membres de l'industrie venus en apprendre davantage sur les effets du bruit d'origine humaine sur les organismes aquatiques ainsi que discuter de questions connexes.
Renseignements : http://www.an2016.org/ (contenu disponible en anglais seulement)
Récapitulation de la première réunion tenue à Nyborg :
http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-4419-7311-5#section=1024310&page=1
(contenu disponible en anglais seulement)
Un autre livre, qui est le résultat de la réunion tenue à Budapest en 2013, sera publié par Springer au début de 2016 : http://www.springer.com/us/book/9781493929801 (contenu disponible en anglais seulement)

3.3 LA RECHERCHE SUR LE BRUIT AU CANADA

Bon nombre de projets de recherche sur le bruit sous-marin sont en cours partout au Canada. Ces projets sont essentiels à l'atteinte du but qui consiste à avoir une connaissance approfondie de l'impact du bruit généré par la navigation commerciale sur la vie marine. Il est difficile de suivre tous les projets qui sont en cours et à venir, particulièrement pour les projets de recherche où les chercheurs hésitent à révéler des renseignements détaillés sur leurs travaux avant d'en faire la publication dans une revue scientifique. Toutefois, cette section présente certaines des initiatives de chercheurs et de groupes de recherche qui ont accepté de faire part des renseignements dont ils disposent et ce, avant la remise de ce rapport à Transports Canada en date du mois d'avril 2016.

3.3.1 Pêches et Océans Canada

Pêches et Océans Canada (MPO) exerce le rôle fédéral de gestion des pêches du Canada et de la protection des eaux du pays. En vertu de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP), le MPO doit produire des stratégies de rétablissement et des plans d'action visant les espèces aquatiques reconnues comme étant menacées ou en voie de disparition. Ces stratégies de rétablissement et ces plans d'action exposent en détail les étapes à franchir afin d'aider à la protection des espèces désignées. De plus, depuis des années, le ministère reconnaît que pour prévenir la disparition d'espèces sauvages, il importe de protéger les habitats de celles-ci. La LEP présente de nouvelles exigences relatives à la détermination des habitats essentiels – et de nouvelles mesures destinées à protéger ceux-ci. Bon nombre de populations de baleines sont protégées en vertu de la LEP, et la dégradation des habitats par la perturbation acoustique causée par le bruit sous-marin fait partie des menaces énumérées. Le tableau 8 présente une description approximative de quelques projets du MPO.

Table 8 : Initiatives du MPO qui sont liées au bruit sous-marin

#	Titre	Description du projet	Personne-ressource
1.	La surveillance acoustique passive des espèces en péril sur la côte ouest du Canada	Un grand nombre de secteurs de la côte ouest du Canada sont éloignés et difficiles d'accès, ce qui a conduit à des lacunes quant aux connaissances sur la présence et la fréquentation d'espèces de cétacés inscrites en vertu de la LEP. Dans le cadre de ce projet, en cours depuis 2006, des données sont recueillies provenant d'un certain nombre de secteurs côtiers et extracôtiers partout dans les eaux de la côte ouest canadienne à l'aide de divers enregistreurs autonomes, et ce, dans le but de combler ces lacunes. Ces données acoustiques servent à déterminer les zones et les saisons importantes pour les cétacés inscrits en vertu de la LEP, y compris les épaulards résidents, les épaulards migrateurs et extracôtiers, le rorqual bleu, le rorqual commun, le rorqual à bosse, la	Dr John K. Ford John.k.ford@dfo-mpo.gc.ca James Pilkington James.Pilkington@dfo-mpo.gc.ca

#	Titre	Description du projet	Personne-ressource
		baleine noire du Pacifique Nord et le rorqual boréal. Au fil des années, ce projet a favorisé des collaborations avec Parcs Canada (réserve d'aire marine de conservation de *Gwaii Haanas),* le programme des réserves marines nationales de faune (RMNF) (RMNF proposée pour les îles Scott), le programme des zones de protection maritime (ZPM du mont sous-marin Bowie) et le *Marine Environmental Observation Prediction and Response Network* (MEOPAR).	
2.	Exposition du rorqual bleu au bruit anthropique dans son habitat de l'Estuaire et du Golfe du Saint-Laurent	Développement et application d'un nouveau modèle probabiliste de l'exposition au bruit de la navigation à partir du trafic AIS, nommé PSSEL, validé par un réseau d'observatoires acoustiques. Détermination et utilisation des signatures acoustiques ANSI de la flotte qui navigue présentement dans la Voie Maritime du Saint-Laurent. Réalisation d'un Atlas de la probabilité l'exposition à des seuils critiques de bruit de navigation, en fonction du trafic actuel et futur.	D[r] Yvan Simard Yvan.simard@dfo-mpo.gc.ca
3.	Effets de la navigation maritime dans l'Arctique sur les environnements sonores sous-marins de l'écosystème des mammifères marins et Probabilité d'exposition au bruit de navigation le long des corridors maritimes dans le Nord	Estimer le bruit ambiant au cours du cycle annuel et cartographier la probabilité d'exposition au bruit de navigation le long des tronçons des corridors maritimes dans le Nord, proposés par le MPO-GC, qui traversent des ZIEB sensibles, en tirant avantage de nouveaux modèles probabilistes d'exposition au bruit de la navigation et des niveaux mesurés émis par les sources.	D[r] Yvan Simard Yvan.simard@dfo-mpo.gc.ca
4.	Enregistrement et suivi des mammifères marins et leur environnement sonore sous-marin au large des côtes du Nunavik dans le Détroit d'Hudson au cours de	Ces projets visent à établir: a) les caractéristiques des niveaux actuels de bruit sous-marin tout au long de l'année; b) adapter au Détroit d'Hudson le nouveau modèle de probabilité d'exposition au bruit de la navigation à partir d'observations de trafic (PSSEL) pour identifier les zones et les périodes où les niveaux de bruit peuvent	D[r] Yvan Simard Yvan.simard@dfo-mpo.gc.ca

#	Titre	Description du projet	Personne-ressource
	cycles annuels complets et Niveaux sonores et mammifères marins dans le corridor maritime du Détroit d'Hudson	excéder des seuils critiques pour les mammifères marins, pour différents scénarios de trafic maritime; c-e) suivi pluriannuel, changements climatiques et écologie de la fréquentation du Détroit les mammifères marins .	
5	Atlas probabiliste du bruit lié à la marine marchande et SEL	Ce projet sur trois ans nouvellement financé (CFI-MERIDIAN) vise à produire une série à longueur d'année de cartes probabilistes tridimensionnelles à haute résolution de la probabilité du bruit de la navigation par bandes de fréquence de la troisième octave pour la large bande où cette source de bruit est dominante. La probabilité d'exposition à des niveaux de bruit différents (pdfSEL), qui offre la structure temporelle de l'exposition dans une période donnée, est l'un des résultats utiles possibles de cet Atlas numérique destiné à répondre aux besoins en matière de planification de l'espace marin (PEM). Cette modélisation acoustique fondée sur la réalité de terrain, alimentée par les données de la navigation commerciale provenant des dispositifs AIS et par un modèle de NS des navires développé à partir de mesures ANSI de la flotte commerciale naviguant actuellement sur le Saint-Laurent, découle de la série de méthodes et d'outils développés pour le rorqual bleu dans la zone d'étude.	D[r] Yvan Simard Yvan.simard@dfo-mpo.gc.ca
6.	Efforts acoustiques dans les eaux de plateau du sud du Labrador, de l'extrémité des Grands Bancs au sud de la passe Flamande et dans quatre lieux situés le long de l'extrémité nord du chenal Laurentien	Depuis 2009, D[r] Jack Lawson déploie des récepteurs acoustiques autonomes (appelés AURAL) dans divers secteurs des eaux du plateau du sud du Labrador, de l'extrémité des Grands Bancs au sud de la passe Flamande et dans quatre lieux situés le long de l'extrémité nord du chenal Laurentien. Ces déploiements ont servi à développer, pour ces secteurs, un « bilan » de l'énergie acoustique qui comprend des composantes abiotiques, biologiques et anthropiques (telles que les activités sismiques et de navigation). Les efforts sont	D[r] Jack Lawson jack.lawson@dfo-mpo.gc.ca

#	Titre	Description du projet	Personne-ressource
		communiqués à des collègues du golfe et de la plate-forme Néo-Écossaise afin de décrire la présence et la répartition des baleines, mais aussi pour décrire les activités anthropiques comme la navigation commerciale et l'exploration sismique. Les efforts sont également communiqués à des collègues du nord-est des É.-U. ([traduction] « Analyse occidentale à grande échelle des données acoustiques passives existantes concernant la baleine à fanons »). L'objectif consiste également à décrire la présence et les patrons de migration des baleines.	
7.	Surveillance acoustique passive des cétacés et du bruit dans la zone de protection marine (ZPM) du Gully et les secteurs adjacents du plateau néo-écossais	À mesure que la présence et les activités humaines s'intensifient au large de la Nouvelle-Écosse, il est davantage nécessaire de recueillir des données sur l'environnement acoustique et qui indiquent quand, où et comment les mammifères marins utilisent ces secteurs, et ce, afin de comprendre et d'atténuer les répercussions potentielles des activités anthropiques sur les mammifères marins et les habitats importants. La zone de protection maritime (ZPM) du Gully est un secteur situé au large de la Nouvelle-Écosse qui abrite des mammifères marins abondants et diversifiés; toutefois, la fréquentation saisonnière des cétacés dans le secteur et l'importance relative de la ZPM comparativement au talus adjacent demeurent inconnues pour la plupart des espèces. Le projet avait pour principal objectif de renforcer les efforts de surveillance acoustique passive (SAP) dans la ZPM du Gully et les secteurs adjacents du plateau néo-écossais afin d'enquêter sur la présence à longueur d'année de mammifères marins, en plus de décrire les sources de bruit naturelles et anthropiques dans la région. Un ensemble de données acoustiques presque continues d'une période de deux ans ont été recueillies dans trois sites situés dans la ZPM du Gully	D[re] Hilary Moors-Murphy hilary.moors-murphy@dfo-mpo.gc.ca

#	Titre	Description du projet	Personne-ressource
		ou à proximité à l'aide d'enregistreurs acoustiques autonomes (appelés AMAR, © JASCO Applied Sciences) entre octobre 2012 et septembre 2014. Les enregistrements présentaient un cycle de travail situé entre 13 minutes à un taux d'échantillonnage de 16 kHz et 2 minutes à un taux d'échantillonnage de 250 ou 375 kHz. L'analyse des vocalises de baleines à fanons et de baleines à dents ainsi que des sources de bruit ambiant et anthropique est en cours. L'achèvement du projet est prévu en 2016.	
8.	Surveillance acoustique passive des zones de protection maritime et des espèces en péril	Des lacunes sont toujours existantes quant à notre compréhension du moment et du lieu où les baleines fréquentent la plate-forme Néo-Écossaise tout au long de l'année. Ce projet vise à poursuivre les efforts de surveillance acoustique passive dans la zone de protection maritime du Gully et à élargir les efforts à d'autres secteurs d'intérêt, y compris le bassin d'Émeraude, le banc de Sainte-Anne et le Stone Fence. Les données seront recueillies à l'aide de cinq enregistreurs acoustiques autonomes multicanaux (appelés AMAR, © JASCO Applied Sciences) déployés presque continuellement sur une période d'au moins deux ans (de l'été 2015 à l'automne 2017). Les données recueillies au cours de ce projet contribueront aussi à d'autres projets collaboratifs, dont le projet « Whales, Habitat and Listening Experiment (WHaLe) » (Expérience relative aux baleines, à l'habitat et à l'écoute) dirigé par l'Université Dalhousie et le projet « [traduction] Modélisation et surveillance acoustiques sur la côte est du Canada » dirigé par JASCO Applied Sciences.	D[re] Hilary Moors-Murphy hilary.moors-murphy@dfo-mpo.gc.ca
9.	Effets de l'exploration sismique sur la capturabilité du crabe des neiges, améliorer la compréhension du paysage sonore marin	Il s'agit d'une étude du domaine scientifique où, pendant quatre ans, sera recueilli de l'information sur les effets des activités d'exploration sismique sur la capturabilité commerciale du crabe des neiges. L'étude est financée par le Fonds	D[r] Corey Morris Corey.Morris@dfo-mpo.gc.ca

#	Titre	Description du projet	Personne-ressource
	et de l'effet des activités sismiques sur la pêche commerciale (morue)	pour l'étude de l'environnement (FEE) et a lieu au large de la bordure orientale des Grands Bancs de Terre-Neuve-et-Labrador, le long de la pente continentale, qui est une zone de pêche commerciale de crabes et une zone d'exploration pétrolière. L'industrie pétrolière et gazière, l'industrie de la pêche, le gouvernement et le milieu universitaire travaillent de concert afin de réaliser des études sur le déplacement, la capturabilité, le son, la physiologie et la génomique. Cette recherche contribuera à éclairer l'industrie et les gestionnaires sur les effets potentiels de l'exploration sismique sur la capturabilité du crabe des neiges.	
10.	Plan d'action sur le bruit pour les bélugas, population du Saint-Laurent	Dans le cadre d'une initiative à venir par le service des espèces en péril du MPO, dans la région du Québec, un plan d'action sera rédigé afin d'énumérer des moyens de réduire l'incidence du bruit lié à la navigation commerciale sur la population de bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent.	M. Hugues Bouchard, MPO hugues.bouchard@dfo-mpo.gc.ca

3.3.2 La Marine royale canadienne

La Marine royale canadienne est engagée à protéger l'environnement par l'intermédiaire de son *ordonnance administrative de la défense 4003-0, Protection et gérance de l'environnement*, qui indique que les citoyens doivent connaître et respecter les lois et les règlements environnementaux fédéraux, en plus de faire preuve de diligence raisonnable. Les commandants et les autres autorités supérieures doivent s'assurer que les membres des Forces armées canadiennes sous leur commandement sont renseignés adéquatement sur les affaires environnementales liées à leurs fonctions et se voient affecter les ressources adéquates pour s'acquitter correctement de leurs responsabilités environnementales. Il faut en outre respecter toute autre loi ou tout autre règlement en vigueur qui vise à protéger les écosystèmes marins. La responsabilité de s'assurer que ces règlements sont respectés revient tant à l'opérateur de la plate-forme de sonar qu'au lieutenant-colonel. De lourdes sanctions pécuniaires et une peine d'emprisonnement potentielle sont prévues en guise de « mesures d'application de la réglementation ». Le tableau 9 présente une description approximative des quelques projets de la Marine royale canadienne.

Tableau 9 : Initiatives de la Marine royale canadienne qui sont liées au bruit sous-marin

#	Titre	Description du projet	Personne-ressource
11	Suivi du système d'observation de l'océan	La Marine royale canadienne s'intéresse à faire le suivi des endroits où des systèmes d'écoute sous-marine sont déployés et de quels types ils sont, autant à l'échelle régionale au Canada qu'à l'échelle mondiale. La Marine possède actuellement une base de données de lieux englobant environ 3 000 capteurs différents de par le monde, ainsi que des renseignements liés au propriétaire et au type de capteur, en plus de renseignements paramétriques comme la réponse en fréquence. Le principal partenaire pour ce projet est le *Naval Oceanographic Office* de la marine des É.-U.	Capt Dugald Thomson Dugald.Thomson@forces.gc.ca
12	Modélisation et mesure de la propagation du sons dans le détroit de Georgie	Une étude de modélisation dépendant de la distance a été amorcée afin de déterminer l'affaiblissement de propagation dans la bande de 10 Hz à 10 kHz pour un site particulier sur une distance d'environ 50 km, et ce, pour un récepteur situé près du port de Vancouver, là où les instruments VENUS sont déployés. La modélisation a tenu compte des profils de vitesse du son sur une année complète. Les mesures physiques ont été recueillies et analysées pour vérifier le rendement du modèle, qui a été jugé en bonne concordance.	Capt Dugald Thomson Dugald.Thomson@forces.gc.ca
13	Plage acoustique au port de Halifax	Un système d'écoute acoustique consistant en deux hydrophones calibrés situés à l'entrée du port de Halifax sert à évaluer la signature sonore complète des navires de la marine (protocole détaillé et complexe s'échelonnant sur plusieurs journées) ainsi que des exercices de visualisation rapide. Les niveaux sources pour l'octave 1/3 sont estimés au moyen des instruments calibrés et d'un calcul de l'affaiblissement de la transmission à haute précision.	Capt Dugald Thomson Dugald.Thomson@forces.gc.ca

3.3.3 MEOPAR

Le *Marine Environmental Observation Prediction and Response Network* (MEOPAR) est une équipe de scientifiques canadiens qui effectuent des projets de recherche associés à l'évolution des changements océaniques. Ses membres s'emploient à mieux comprendre et prédire l'incidence des dangers en milieu marin sur les activités humaines et sur les écosystèmes, en plus d'améliorer la capacité de réponse et de résilience aux dangers. Ces équipes collaborent

avec des partenaires fédéraux et provinciaux, ainsi qu'avec l'industrie, du Canada ou de l'étranger. Elles collaborent à de grands projets collaboratifs de recherche multidisciplinaires, de même qu'à des activités de recherche axées sur l'observation et la prédiction de base. Établi en 2012 et situé à l'Université Dalhousie, MEOPAR est financé par l'intermédiaire du programme Réseaux de centre d'excellence du Canada. Le tableau 10 présente une description approximative de quelques projets du MEOPAR.

Tableau 10 : Initiatives de MEOPAR qui sont liées au bruit sous-marin

#	Titre	Description du projet	Personne-ressource
14	Modélisation des déplacements des navires : Application pour l'exposition au bruit dans l'écosystème marin	L'exposition des animaux au bruit propre aux navires devrait augmenter alors que s'intensifie l'activité des navires en raison du prolongement des passages dépourvus de glace dans l'Arctique ainsi que des agrandissements de ports prévus et de la construction de nouveaux terminaux portuaires sur la côte du Pacifique du Canada. Dans le cadre de cette recherche, on examine et on améliore l'utilité et la modélisation du trafic de navires, d'après les données des dispositifs AIS et d'autres données, à titre d'indicateur de bruit visant à permettre au gouvernement, et à l'industrie de prendre de meilleures décisions pour atténuer les répercussions du bruit en milieu marin.	D[re] Rosaline Canessa Université de Victoria rosaline@uvic.ca
15	WHaLE : Whales, Habitat and Listening Experiment	Les navires océaniques représentent une menace pour les grandes baleines partout dans le monde. En collaboration avec leurs partenaires, les participants à l'expérience WHaLE projettent d'utiliser des échosondeurs à haute fréquence fixés à un planeur (pour la détection des proies de baleines) et d'avoir recours à la surveillance acoustique passive (pour la détection des vocalises de baleines) pour trouver et définir l'habitat des baleines et pour développer, mettre à l'essai et mettre en œuvre un système canadien d'alerte des baleines où des données seront transmises aux utilisateurs d'appareils mobiles. Ces données pourront aussi être transmises aux navires au moyen d'un message par dispositif AIS. Des essais auront lieu sur les côtes est et ouest du Canada. La recherche a pour principal objectif de réduire le risque de collisions des navires océaniques avec les grandes baleines à fanons en transmettant à l'industrie maritime et au public de meilleurs renseignements sur les emplacements des baleines, particulièrement en temps quasi réel par	D[r] Chris Taggart Université Dalhousie chris.taggart@dal.ca

#	Titre	Description du projet	Personne-ressource
		voie de communication satellite.	
16	Modélisation de l'environnement acoustique et des interactions entre les baleines et les navires dans l'estuaire du Saint-Laurent	Dans l'estuaire du Saint-Laurent, la navigation commerciale représente une menace pour les mammifères marins, en particulier pour le rétablissement d'espèces menacées, telles que le béluga du Saint-Laurent et la baleine bleue, que l'on trouve communément dans ces eaux. Dans les pires scénarios, les interactions entre les baleines et les navires peuvent entraîner des collisions qui peuvent être mortelles pour les animaux, en plus de causer des dommages aux navires. Un modèle socioécologique, appelé le simulateur de trafic maritime et de mammifères marins (3MTSim), a été développé afin d'aborder les interactions complexes entre la marine marchande et les baleines dans l'estuaire du Saint-Laurent. Dans le cadre du projet, on intégrera le modèle de propagation du son sous-marin au simulateur 3MTSim, en guise de première étape, en vue d'intégrer à l'avenir des modèles plus complexes.	D[r] Jerôme Dupras Université du Québec en Outaouais jerome.dupras@uqo.ca

3.3.4 Autres organisations

Ces organisations indépendantes et des sociétés de conseils cherchent à approfondir les connaissances sur le paysage sonore de l'océan. Cela vaut pour *Ocean Networks Canada*, JASCO Applied Sciences, le *Wildlife Conservation Society Canada* (WCS), le L'administration portuaire de Vancouver-Fraser et *Eastern Charlotte Waterways*. Le tableau 11 présente une description approximative de quelques projets.

Tableau 11 : Initiatives de d'autres organisations canadiennes qui sont liées au bruit sous-marin

#	Titre	Description du projet	Personne-ressource
17	Programme ECHO – système de surveillance acoustique des navires à l'approche du port de Vancouver	Un système évolué d'écoute sous-marine en temps réel consistant en deux réseaux d'hydrophones a été installé à l'approche du port de Vancouver afin de suivre et de mesurer les niveaux de source acoustique des navires en visite. Le système offre des mesures se conformant aussi près que possible à la norme ANSI S12.64-2009, et il assure un classement simple des navires en fonction de leurs émissions de bruits par rapport à d'autres navires de taille et de catégorie identiques.	M. David Hannay, JASCO Applied Sciences David.Hannay@jasco.com

#	Titre	Description du projet	Personne-ressource
		L'objectif global consiste à faire en sorte que les données sur le rendement au chapitre des émissions de bruit des navires soient à la disposition des propriétaires de navires, à chercher des corrélations des données entre le niveau source et la conception, l'entretien et les conditions opérationnelles des navires, ainsi qu'à élaborer éventuellement un programme incitatif où les navires plus silencieux seront récompensés.	
18	Programme ECHO – système de détection des mammifères marins à l'approche du port de Vancouver	JASCO Applied Sciences, le port de Vancouver, Transports Canada et Ocean Networks Canada ont installé une station d'écoute consistant en deux réseaux d'hydrophones près de la route maritime donnant accès au port de Vancouver. Le système mesure les niveaux de bruit sous-marin, détecte et suit automatiquement les mammifères marins qui vocalisent. L'un des buts de ce système consiste à démontrer la faisabilité de la détection automatique des mammifères marins près des routes maritimes afin de développer des systèmes qui pourraient servir à des applications d'atténuation des impacts en temps réel.	Mr. Xavier Mouy, JASCO Applied Sciences Xavier.Mouy@jasco.com
19	Projet NEMES visant à développer de la modélisation de bruit des navires intégrant des données AIS	Le projet NEMES, financé par MEOPAR, consiste à évaluer la question de la description de l'exposition des habitats marins sensibles au bruit des navires dans la mer Salish. Dans le cadre de ce projet, on compare et on évalue les nouvelles données des dispositifs AIS acquises par satellite par rapport aux données terrestres des dispositifs AIS et aux détections acoustiques des navires par les stations de surveillance sous-marine. L'objectif ultime consiste à intégrer les données des dispositifs AIS à des modèles acoustiques en temps réel pour être en mesure de produire des cartes du bruit des navires en temps réel. Le projet tient compte de tout le trafic de navires, de type commercial ou non.	D[r] Harald Yurk, JASCO Applied Sciences Harald.Yurk@jasco.com
20	Stations d'écoute de l'Arctique	*Wildlife Conservation Society Canada* (WCS) – Dans le cadre du programme Beringia dans l'Arctique, ils évaluent les menaces posées par l'augmentation du trafic maritime international pour les mammifères marins dans les mers de Beaufort, de Béring et des Tchouktches, et on cherche des solutions stratégiques multilatérales.	D[r] Stephen Insley sinsley@wcs.org

#	Titre	Description du projet	Personne-ressource
21	Extérieur de la Baie de Fundy – étude sur la fluctuation du bruit industriel	*Eastern Charlotte Waterways* s'est associé à des chercheurs de l'Université du Nouveau-Brunswick pour quantifier, pour la première fois, les niveaux de bruit en mer libre à l'extérieur de la Baie de Fundy. Dans le cadre du projet, ils ont mesuré la distribution temporelle et spatiale des niveaux de bruit à des fréquences situées entre 4 Hz et 20 kHz dans le milieu marin situé entre la voie maritime du dispositif de séparation du trafic de la baie de Fundy et la baie Passamaquoddy, de mai à novembre 2015.	M. Donald Killorn Eastern Charlotte Waterways dkillorn@ecwinc.org
22	Modélisation et suivis acoustiques de la côte est du Canada	Ce projet de grande envergure porte sur le bruit ambiant, les mammifères marins, le bruit anthropique et la propagation du son ambiant qui est financé par le FEE. Le projet comprend une étude sur deux ans à des stations désignées, ainsi qu'une analyse d'ensembles de données dont on fait apport des collaborateurs, y compris les membres du projet WHaLE de MEOPAR à l'Université Dalhousie et les membres des projets de surveillance acoustique passive des ZPM du MPO. Un élément clé du projet et des collaborations consiste en une évaluation des paramètres utilisés pour décrire les paysages sonores de façon appropriée.	M. Bruce Martin, JASCO Applied Sciences Bruce.Martin@jasco.com

PARTIE 4
RECOMMANDATIONS DE RECHERCHES ET DE DÉVELOPPEMENTS FUTURS

4.1 INTRODUCTION

Le présent rapport sur le bruit anthropique a fait ressortir que de nombreux efforts sont en cours partout au Canada pour approfondir la connaissance des répercussions potentielles du bruit lié à la navigation commerciale sur la vie marine; que les efforts de mesure du bruit des navires sont en croissance pour englober diverses régions; et qu'il faut encore beaucoup de travail pour parvenir à une compréhension approfondie de la façon dont la vie marine est touchée par les répercussions cumulatives du bruit anthropique. Les recommandations qui suivent visent à mettre en lumière les constatations les plus importantes du rapport et à cerner les lacunes en matière de connaissances qui sont apparues évidentes. Ces recommandations ont été élaborées avec l'aide inestimable des membres du groupe de travail de l'Alliance verte sur le bruit sous-marin et sont basées sur les réflexions de nombreux autres collaborateurs.

Les recommandations suivantes sont en partie inspirées des travaux réalisés par le Secrétariat de l'Alliance verte en vue d'établir un indicateur de rendement sur le thème du bruit sous-marin dans le cadre de son programme environnemental nord-américain. Les recommandations s'inspirent également de celles présentées dans le rapport sur l'atelier de 2013 de WWF-Canada[65] à l'intention des planificateurs et des organismes de réglementation maritimes, qui visait à contribuer à trouver des solutions pour la gestion du bruit sous-marin dans la région canadienne du Pacifique.

Mesure acoustique et surveillance

RECOMMANDATION 1

Établir, sur le long terme, des programmes de surveillance du bruit sous-marin océanique qui couvrent la bande de fréquences de 1 à 200 000 Hz et ce, dans des zones sensibles de grande importance biologique où les activités liées à la navigation commerciale sont importantes.

Le suivi acoustique à long terme du bruit sous-marin est la seule méthode reconnue pour avoir une connaissance approfondie et quantitative du paysage sonore dans une zone donnée afin de pouvoir formuler des mesures d'atténuation appropriées. Reconnaissant que la propagation du bruit sous-marin varie entre autres selon la profondeur, la bathymétrie, la température et le courant, les stratégies de gestion du bruit sous-marin devraient s'appliquer à des zones spécifiques plutôt que d'être élaborées en fonction d'espèces en particulier.

[65] En 2013, WWF-Canada a été l'hôte d'un atelier de deux jours qui offrait une tribune où discuter de diverses méthodes pour réduire au minimum et atténuer le bruit sous-marin ainsi que pour développer des outils à l'usage des planificateurs et des organismes de réglementation au cours des processus de planification, de l'examen des évaluations environnementales et de la planification de la restauration des espèces inscrites en vertu de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP). Le rapport complet se trouve ici : http://www.wwf.ca/newsroom/reports/oceans/ (contenu disponible en anglais seulement).

R1.1 Les **données existantes** sur le bruit sous-marin d'origine anthropique **devraient être rassemblées, organisées et analysées afin d'établir une base de données centralisée**, de préciser les limites des recherches effectuées à ce jour et de mieux comprendre le bruit dans les océans. À l'heure actuelle, les données sur le bruit peuvent être difficiles à analyser et à comparer parce qu'elles sont la propriété d'organisations distinctes. Il serait avantageux de disposer d'une seule base de données afin de renforcer la capacité des parties intéressées à accéder aux différents ensembles de données et à s'en servir pour divers projets de recherche, pour des publications scientifiques, ou encore à des fins éducationnelles, de gestion et de réglementation.

R1.2 **Établir des niveaux de référence de bruit ambiant** pour les zones clés en s'appuyant sur les données existantes recueillies au cours de diverses évaluations environnementales et de plusieurs initiatives de recherche (MPO, JASCO Applied Sciences, Ocean Networks Canada, Ocean Initiatives, Cetacealab, Administration portuaire de Vancouver-Fraser et autres).

R1.3 **Faire le suivi des niveaux de bruit sous-marin dans des zones géographiquement différentes** en accordant une priorité aux zones abritant des espèces menacées ou d'importance commerciale.

Bruit lié à la navigation commerciale

RECOMMANDATION 2

Un programme pancanadien de suivi des niveaux du bruit des navires devrait être dirigé par un seul organisme fédéral en vue de mieux comprendre la contribution des activités liées à la navigation commerciale à l'environnement du paysage sonore marin.

Le trafic maritime constitue le principal contributeur de bruit sous-marin à basse fréquence. Reconnaissant que la propagation du son varie d'un endroit à l'autre et que les populations d'espèces marines varient également d'une zone géographique à une autre, l'incidence du bruit rayonné découlant des activités liées à la navigation commerciale sera différente d'un point de vue de ses caractéristiques de propagation et de son étendue géographique selon l'endroit où la source sonore se trouve.

R2.1 **Amorcer un travail de collaboration** auprès d'organismes spécialisés dans la collecte de données acoustiques afin de **s'entendre sur des méthodes acceptées[66] pour recueillir des données sur le bruit des navires[67]**.

[66] Les méthodes devraient être conformes aux actuelles méthodes internationalement acceptées pour recueillir des données sur le bruit des navires (consulter les sections 1.2.3 et 1.5.1 du présent rapport).

[67] Un projet pilote qui comprend un système avancé d'écoute sous-marine en temps réel consistant en deux réseaux d'hydrophones a déjà été déployé au large du port de Vancouver afin de mesurer les niveaux de source acoustique des navires en visite. Le système rend possibles les mesures qui se rapprochent le plus possible de la norme ANSI S12.64-2009, de cote C, en plus de viser à mettre en place une cotation plus simple des navires en fonction de leurs émissions de bruit et par rapport aux autres navires de taille et de catégorie identiques. L'objectif d'ensemble consiste à permettre à l'Administration portuaire Vancouver-Fraser d'aviser les propriétaires de navires de leur rendement au chapitre des émissions de bruit, ainsi que de déterminer les navires dont le système de propulsion peut nécessiter des travaux d'entretien (référence : David Hannay, JASCO Applied Sciences).

R2.2 **Amorcer ou collaborer à des projets qui visent à mesurer le bruit des navires** dans des lieux canadiens significatifs où la navigation commerciale est importante et peut avoir une incidence substantielle sur les populations d'espèces marines menacées. Les résultats devraient être cartographiés afin d'indiquer l'importance du bruit lié à la navigation commerciale par rapport à d'autres sources de bruit anthropique dans chacun des trois océans. Ainsi serait facilitée la détermination des zones plus à risque d'être impactée par la navigation commerciale.

R2.3 Mener des études pour **approfondir la connaissance des liens de cause à effet entre le bruit produit par un navire et l'efficacité énergétique du navire.**

R2.4 **Amorcer ou collaborer à des projets qui visent à comprendre le rapport entre le bruit des navires commerciaux et leur conception** – la longueur, le tirant d'eau, le nombre de coques, l'hélice, entre autres – et le fonctionnement et l'entretien des navires (vitesse moyenne, vitesse de création de la cavitation).

R2.5 **Faire la relation entre les stations de mesure du bruit et le dispositif AIS afin de faire le suivi des niveaux sources des navires individuels.** Cette fusion de données se veut un outil habilitant pour mesurer les niveaux de bruit rayonné de navires individuels et de catégories de navires. Les données transmises rendront possibles des stratégies d'atténuation permettant de réduire le bruit sous-marin sur les routes maritimes.

R2.6 **Renforcer les efforts de modélisation** en rendant accessibles de nouveaux renseignements au moyen du dispositif AIS, p. ex. des renseignements sur les conditions de charge de chaque navire[68].

R2.7 **Étendre le dispositif AIS** aux petites embarcations afin que les données sur celles-ci puissent être intégrées dans une carte plus complète du bruit lié à la navigation.

R2.8 **Amorcer ou collaborer à des projets qui ont pour objectif de mettre à l'essai des mesures d'atténuation reconnues pour réduire le bruit des navires**, p. ex. comparer le bruit rayonné avant et après l'entretien de la coque et de l'hélice.

Le bruit des navires et la vie marine

RECOMMANDATION 3

Améliorer le niveau de connaissances actuelles des possibles liens de cause à effet entre les sources sonores sous-marines ambiantes générales et identifiables et leurs effets à court et à long terme sur les organismes marins.

Il y a de plus en plus de connaissances disponibles en ce qui a trait aux répercussions que peuvent avoir les bruits anthropiques sur les espèces marines, y compris sur les impacts qui ne sont pas de l'ordre de blessures physiques tels que les effets cumulatifs. Toutefois, le besoin de connaître des méthodes pour mieux gérer les bruits sous-marins est toujours d'actualité. En raison de l'évolution rapide de la recherche sur le sujet, il s'avère essentiel de maintenir une communication régulière entre les divers groupes de recherche. Pour relever ce défi, un effort multidisciplinaire sera nécessaire de la part de biologistes et d'acousticiens en vue d'établir un programme de suivi, d'approche théorique et d'analyse rigoureux. Le programme devrait avoir pour but d'obtenir des connaissances approfondies utiles concernant le lien de cause à effet

[68] La profondeur de la principale source du bruit (c.-à-d. l'hélice) variera selon la conception particulière d'un navire et les conditions de charge au cours d'un trajet particulier. En rendant ce genre de renseignements disponibles au moyen du dispositif AIS, on assurerait une meilleure compréhension du bruit rayonné.

entre le bruit rayonné des navires et les effets néfastes potentiels sur les animaux marins. Pour répondre à cette recommandation, une connaissance de la répartition spatiale des espèces est essentielle, de même qu'une collaboration régulière avec les personnes concernées au MPO, en raison du fait que des résultats d'études déjà menées ne sont peut-être encore pas disponibles car non publiées.

- **R3.1 Mener des recherches pour comprendre les effets néfastes à long terme du bruit chronique** sur les mammifères marins et les autres animaux marins. Pour certaines espèces de baleines, des données sont disponibles, tandis que pour d'autres, il existe très peu de renseignements.
- **R3.2 Mener des recherches pour en savoir davantage sur les caractéristiques des signaux de communication** des mammifères marins, les conditions dans lesquelles les animaux produisent ces signaux et de quelle façon les animaux pourraient modifier leur communication dans des circonstances différentes.
- **R3.3 Mener des recherches sur les changements de comportement subtils** qui découlent du masquage et des générateurs de stress liés au bruit.
- **R3.4 Inclure du travail de modélisation quand il est question des effets du bruit sur l'audition et le comportement**.

Sensibilisation et participation de l'industrie

RECOMMANDATION 4

Encourager les programmes environnementaux existants pour les acteurs de l'industrie, incluant les ports, à traiter de l'enjeu du bruit sous-marin. De plus, toutes les initiatives de l'industrie qui visent à mettre en œuvre des pratiques exemplaires pour réduire les émissions de bruit de l'industrie devraient être reconnues et soutenues.

Les mesures de réduction de la vitesse des navires (en tenant compte des vitesses sécuritaires) constituent un des moyens pour réduire le bruit des navires, de la même façon que le fait l'entretien de l'hélice des navires. La réduction des émissions de bruit d'un navire devrait être envisagée comme solution à long terme plutôt que de déterminer des zones spatiales et temporelles où il y aurait des limitations sur les activités bruyantes. En effet, les options envisagées ayant un impact sur toute la flotte et en toute circonstance aura beaucoup plus d'incidence positive que d'agir localement dans des zones bien délimitées.

- **R4.1 Aider les administrations portuaires situées dans les zones reconnues comme étant un habitat important pour les mammifères marins à se fixer des cibles de réduction liées au bruit par navire et à l'échelle régionale** et à créer des programmes de reconnaissance et/ou d'encouragement destinés à récompenser les navires les plus silencieux (p. ex. réduire les frais portuaires pour réduire au minimum la production de bruit anthropique).
- **R4.2 Encourager les compagnies de transport maritime et les architectes navals avec qui elles collaborent à suivre les lignes directrices existantes visant à réduire les émissions de bruit** (telle que les « Lignes directrices pour la réduction du bruit sous-marin de la navigation commerciale » de l'OMI, le guide de la *Society of Naval Architects and Marine Engineers* (SNAME) intitulé « Marine Vessel Environmental Performance Assessment Guide: General Measures: Ocean Health and Aquatic Life – Underwater Noise » (Guide d'évaluation de la performance environnementale des

navires : Mesures générales : La santé des océans et la vie aquatique – Bruit sous-marin) ou les notations existantes des sociétés de classification des navires qui concernent les mesures visant à réduire le bruit des navires, et ce, en vue de réduire les émissions de bruit sous-marin. Même si certaines technologies de réduction du bruit ont déjà prouvé leur efficacité à bord des navires de recherche, de pêche et de la Marine, le rapport efficience-viabilité de telles technologies n'a pas encore été démontré dans le cas des grands navires commerciaux.

R4.3 Encourager les centres de formation professionnelle du milieu maritime à développer des cours afin de sensibiliser les gens aux problématiques complexes qui entourent le bruit sous-marin d'origine anthropique, ses répercussions sur le milieu marin et les éduquer sur les mesures de gestion appropriées.

R4.4 Soutenir l'élaboration de lignes directrices sur les pratiques de gestion exemplaires concernant le bruit sous-marin et faire participer l'industrie au moment d'élaborer ces pratiques afin que les acteurs concernés puissent davantage se les approprier et participer concrètement à leur mise en œuvre.

Éducation, communication et sensibilisation

RECOMMANDATION 5

Des programmes et des outils éducatifs devraient être développés et destinés au public et à l'industrie afin de les sensibiliser à l'enjeu des bruits sous-marins d'origine anthropique, à leurs répercussions sur la vie marine et aux mesures d'atténuation applicables.

Tant et aussi longtemps que le public ne sera pas conscient du problème potentiel, il sera très difficile, pour les intervenants, d'avoir la crédibilité nécessaire pour obtenir l'attention des décideurs. Il faudrait maintenir et promouvoir le dialogue entre les intervenants concernés. De plus, devrait être supportés les ateliers de travail visant à encourager un dialogue continu et le développement de relations multisectorielles entre les gestionnaires, les planificateurs, l'industrie, les scientifiques, les chercheurs et les groupes communautaires et de conservation quant aux meilleures façons d'intégrer la gestion du bruit sous-marin aux pratiques de gestion exemplaires.

R5.1 Appuyer toute initiative qui visant à renforcer la collaboration multipartite (p. ex. l'industrie, la science, le gouvernement, les organisations non gouvernementales, les autochtones).

R5.2 Mettre sur pied un groupe de travail composé de plusieurs organismes afin de traiter de la question du bruit sous-marin en rassemblant des personnes clés de divers ministères canadiennes en vue de hiérarchiser les interventions.

R5.3 Planifier des ateliers éducatifs à l'intention de l'industrie en incluant les observateurs de mammifères marins, les armateurs, les compagnies de battage de pieux, les exploitants de traversiers, les exploitants de remorqueurs et les autres producteurs de bruit sous-marin.

R5.4 Appuyer une initiative de « consortium du bruit » par l'intermédiaire du réseau MEOPAR afin de garantir et de maintenir un réseau d'échange d'information et d'expertise sur le bruit anthropique et ses répercussions sur la vie marine.

RÉFÉRENCES

ACCOBAMS-MOP5/2013/Doc24 – *Methodological Guide: Guidance on Underwater Noise Mitigations Measures*.

ACCOBAMS-MOP5/2013/Doc22 – *Anthropogenic Noise and Marine Mammals. Review of the effort in addressing the impact of anthropogenic underwater noise in the ACCOBAMS and ASCOBANS areas.*

ANDRÉ et coll. (2001), « Low-Frequency Sounds Induce Acoustic Trauma in Cephalopods », *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol 9, n° 9, p. 489-493.

AVERSON, P.T., D.J. VENDITTIS. (2000), « Radiated Noise Characteristics of a Modern Cargo Ship », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 107.

BASSET, Christopher, B. POLAGYE (2012), « A Vessel Noise Budget for Admiralty Inlet, Puget Sound, Washington (U.S.) », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 132.

CBD (2012), *Scientific synthesis on the impacts of underwater noise on marine and coastal biodiversity and habitats*. Montréal, Canada.

CLARK, C.W., T.W. ELLISON, B.L. SOUTHALL, L. HATCH, S.M. VAN PARIJS, A. FRANCKEL et D. PONIRAKIS (2009), « Acoustic Masking in Marine Ecosystems: Intuitions, Analysis, and Implication », *Marine Ecology Progress Series Journal*, vol. 395, p. 201-222.

Cluster Maritime Français (2014), *Impact du bruit en mer : Bruit sous-marin, enjeux économiques et environnementaux*, Cluster Maritime Français.

Commission OSPAR (2009) *Overview of the impacts of anthropogenic underwater sound in the marine environment*, London, R.-U., Commission OSPAR.

Commission OSPAR (2009), *Assessment of the environmental impact of underwater noise*, OSPAR.

COSEPAC (2011), *Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le rorqual à bosse (Megaptera novaeangliae) au Canada*, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa, 32 p.

CPMM – Comité de la protection du milieu marin (2009), *Noise from Commercial Shipping and its Adverse Impact on Marine Life*, CPMM 59/19, 25 p.

DAHL, P., J. MILLER, D. CATO et R. ANDREW (2007), « Underwater Ambient Noise », *Acoustics Today*, vol. 3, p. 23-33.

DAKIN, T., K. HEISE (2016), *Guidelines for Installing Cabled Hydrophones for Monitoring Marine Mammals, Vessels and Other Sources of Underwater Noise*, ONC Innovation Centre, Ocean Networks Canada, Université de Victoria, 30 p.

DOTINGA, H. et A. ELFERINK (2010), « Acoustic Pollution in the Oceans: The Search for Legal Standards », *Ocean Development and International Law*, vol. 31, n° 1-2, p. 152-182.

DOW PINIAK W.E., Dow, S.A. ECKERT, C.A. HARMS et E.M. STRINGER (2012), *Underwater Hearing Sensitivity of the Leatherback Sea Turtle (Dermochelys coriacea): Assessing the Potential Effect of Anthropogenic Noise*, département de l'Intérieur des É.-U., Bureau of Ocean Energy Management, administration centrale, Herndon, VA. OCS Study BOEM 2012-01156., 35 p.

ERBE, C. (2012), *Effects of Underwater Noise on Marine Mammals*, JASCO Australia, 6 p.

ERBE et coll. (2012), *Mapping ship noise for spatial planning*, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 131, n° 5, novembre 2012.

ERBE, C. (2013), « International Regulation of Underwater Noise », *Acoustics Australia*, vol. 41, n° 1, 8 p.

FERRERA, C.R., R.C. VOGT, R.S. SOUSA-LIMA (2013), « Turtle Vocalizations as the First Evidence of Posthatching Parental Care in Chelonians », *Journal of Comparative Psychology*, vol. 127, n° 1, 24–32.

FERRERA, C.R., R.C. VOGT, R.S. SOUSA-LIMA, B.M.R. TARDIO, V. CAMPOS (2014), « Sound Communication and Social Behavior in an Amazonian River Turtle (*Podocnemis expansa*) », *Herpetologica*, juin 2014, vol. 70, n° 2, p. 149-156.

HASTINGS, M.C., A.N. POPPER, J.J. FINNERAN, P.J. LANFORD (1996), « Effect of Low Frequency Underwater Sound on Hair Cells of the Inner Ear and Lateral Line of the Teleost fish Astronotus ocellatus », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 99, p. 1759-1766.

HEGMANN, G., C. COCKLIN, R. CREASEY, S. DUPUIS, A. KENNEDY, L. KINGSLEY, W. ROSS, H. SPALING et D. STALKER (1999), *Guide du praticien sur l'évaluation des effets cumulatifs*, préparé par AXYS Environmental Consulting Ltd. et le Groupe de travail sur l'évaluation des effets cumulatifs à l'intention de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale, Hull, Québec.

HEISE, K. et H.M. ALIDINA (2012), *Summary report: ocean noise in Canada's Pacific workshop, January 31- February 1 2012*, Vancouver, BC. WWF-Canada, Vancouver.

HILDEBRAND, J.A. (2005), *Impact of anthropogenic sound*, dans REYNOLDS, J.E. et coll. (ed.), *Marine mammal research: Conservation beyond crisis*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, p. 101-124.

HILDEBRAND, J.A. (2009), « Anthropogenic and Natural Sources of Ambient Noise in the Ocean », *Marine Ecology Progress Series*, vol. 395, p. 5-20.

IFAW (2008), *Ocean Noise: Turn it Down - A report on ocean noise pollution*.

Joint Nature Conservation Committee (JNCC) (2010), *Statutory nature conservation agency protocol for minimizing the risk of injury to marine mammals from piling noise*, Joint Nature Conservation Committee, Aberdeen, R.-U.

Joint Nature Conservation Committee (JNCC) (2010), *Guidelines for minimizing the risk of injury and disturbance to marine mammals from seismic surveys*, Joint Nature Conservation Committee, Aberdeen, R.-U.

KUJUWA, S.G., M.C. LIBERMAN (2009), « *Adding Insult to Injury: Cochlear Nerve Degeneration after "Temporary" Noise-Induced Hearing Loss* », *The Journal of Neuroscience*, vol. 29, n° 45, p. 14077-14085.

LAVENDER, A.L., S.M. BARTOL, I.K. BARTON (2012), *Hearing Capabilities of Loggerhead Sea Turtle (Caretta caretta) throughout Ontogeny*, dans: POPPER, A.N., A.D. Hawkins AD (rédacteurs), *The Effect of Noise on Aquatic Life*. Springer Science + Business Media, LLC, New York, p. 89-92

LAVENDER, A.L., S.M. BARTOL, I.K. BARTOL (2014), « Ontogenetic Investigation of Underwater Hearing Capabilities in Loggerhead Sea Turtles (Caretta caretta) Using a Dual Testing Approach », *The Journal of Experimental Biology*, vol. 217, 2580-2589

LAWSON, J.W., V. LESAGE (2013), *Cadre provisoire visant à quantifier et cumuler les risques de répercussions des grands projets de développement sur les populations de mammifères marins : étude de cas prenant pour exemple le transport maritime lié associé au projet de mine de fer de la rivière Mary*, Secrétariat canadien de consultation scientifique du MPO, document 2012/154 iv + 22 p.

Marine Mammals and Noise (2007), *A Sound approach to Research and Management*, *A Report to Congress from the Marine Mammal Commission*, mars 2007.

MARTIN, KJ et coll. (2012), « Underwater hearing in the loggerhead turtle (Caretta caretta): a comparison of behavioral and auditory evoked potential audiograms », *The Journal of Experimental Biology*, vol. 215, 3001-3009.

McCarthy, E. (2004), *International regulation of underwater sound: establishing rules and standards to address ocean noise pollution*, Springer.

MCCAULEY, R.D., J. FEWTRELL, A.N. POPPER (2003), « High Intensity Anthropogenic Sound Damages Fish Ears », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 113, n° 1.

MCDONALD, M.A., J.A. HILDEBRAND et S.M. WIGGINS (2006), « Increases in Deep Ocean Ambient Noise in the Northeast Pacific West of San Nicolas Island, California *», The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 120, p. 711-718.

MCKENNA, M., D. ROSS, S. WIGGINS et J. HILDEBRAND. (2012), « Underwater Radiated Noise from Commercial Ships *»*, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 131, p. 92-113

MORIYASU et coll. (2004), *Effets des bruits d'origine sismique et marins sur les invertébrés : une revue de littératures*. Secrétariat canadien de consultation scientifique. Document de recherche 2004/126.

National Research Council of the U.S. National Academies (NRC) (2003), *Ocean noise and Marine mammals* (National Academy Press, Washington, DC), p. 6, 65-67, 89, 93, 128.

NOLAN, D. (2011), Noise. Dans Nolan. D. (Ed.), *Environmental and Resource Management Law*. Wellington, Nouvelle-Zélande, Lexus Nexis NZ Limited.

NOWACEK, D.P., L.H. THORNE, D.W. JOHNSTON et P.L. TYACK (2007), « Response of Cetaceans to Anthropogenic Noise », *Mammal Review*, vol. 37, p. 81-115.

OKEANOS Foundation (2008), *Shipping Noise and Marine Mammals - A Background Paper Produced by Participants of the International Workshop on Shipping Noise and marine Mammals*

Organisation maritime internationale (IMO) (2014), *Lignes directrices pour la réduction du bruit sous-marin de la navigation commerciale aux conséquences néfastes sur la vie marine*, CIRC/CPMM/01/833.doc

PATTERSON, A.M., J.H. SPENCE, R.W. FISCHER (2012), *Evaluation of Underwater Noise from Vessels and Marine Activities*, Noise Control Engineering, INC (NCE), Billerica, É.-U., 9 p.

POPPER, A.N. et coll., ASA S3/SCI1.ATR (2014) « Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles », *Springer Briefs in Oceanography*, DOI 10.1007/978-3-319-06659-2_6, Acoustical Society of America

REGNAULT, M. et J.P. LAGARDÈRE (1983), « Effects of Ambient Noise on the Metabolic Level of *Crangon crangon* (*Decapoda*, *Natantia*) », *Marine Ecology Progress Series*, vol. 11, n° 1, p. 71-78

Renilson Marine Consulting Pty Ltd. (2009), *Reducing underwater noise pollution from large commercial vessels*, commandé par le Fonds international pour la protection des animaux.

RICHARDSON, W.J., C.R. GREEN, Jr., D.H. THOMPSON (1995), *Marine Mammals and noise*, vol. 1, Academic Press, San Diego, Californie, É.-U.

RICHARDSON, W.J. et Bernd WÜRSIG (1997), « Influences of man-made noise and other human actions on cetacean behavior », *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, vol. 29, p. 1-4, 183-209

ROBINSON, S.P., P.A. LEPPER, R.A. HAZELWOOD (2014), *Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement*, National Measurement Office, Marine Scotland, The Crown Estate, NPL Good Practice Guide No. 133, ISSN: 1368-6550, 2014

ROLLAND, R.M., S.E. PARKS, K.E. HUNT, M. CASTELLOTE, P.J. CORKETON, D.P. NOWACEK, S.K. WASSER et S.D. KRAUS (2012), « Evidence that Ship Noise increases Stress in right Whales », *Proceedings of the Royal Society of London B*, vol. 279, p. 2363-2368

ROSS, D.G. (1976), *Mechanics of Underwater Noise* (Permagin, Elmsford, NY), p. 272, 279-280

ROSS, D.G. (1987), *Mechanics of Underwater Noise*, Los Atlos, CA., Peninsula Publishing

ROSS, D.G., (1993), *On Ocean Underwater Ambient Noise*, Acoust. Bull, vol. 18, p. 5-8

ROSS, D. (2005), « Ship sources of ambient noise », *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 30, p. 257-261.

SCOTT, K. (2004), « International Regulation of Undersea Noise », *The International and Comparative Law Quarterly*, vol. 53, n° 2, p. 287-323.

SOUTHALL, B.L. (2005), rapport final du symposium international de la NOAA : *Shipping Noise and Marine Mammals: A Forum for Science, Management, and Technology*, les 18 et 19 mai 2004, Arlington, VA, É.-U.

SOUTHALL, B.L. et coll. (2007)*, «* Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations »*, Journal of Aquatic Mammals*, vol. 33, p. 412-522

TAUTZ, J. et D.C. SANDEMAN (1980), « The Detection of Waterborne Vibration by Sensory Hairs on the Chelae of the Crayfish », *Journal of Experimental Biology*, vol. 33, p. 351-356

UNEP (2012), *Scientific Synthesis on the Impacts of Underwater Noise on Marine and Coastal Biodiversity and Habitats*, UNEP/CBD/SBSTTA/16/INF/12

VEIRS, S., V. VEIRS, J. WOOD (2015), *Ship Noise in an Urban Estuary Extends to Frequencies Used for Echolocation by Endangered Killer Whales*. PeerJ PrePrints |https://dx.doi.org/10.7287/peerj.preprints.955v2 | CC-BY 4.0 (accès ouvert) | consulté le 16 avril 2015, publié le 16 avril 2015.

WAGSTAFF, R.A. (1973), *RANDI: Research Ambient noise directionality model*. Naval Undersea Center, Tech. Pub.

WENZ, G.M. (1962), « *Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources* », *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 34, n° 12.

WILLIAMS, R., A.J. WRIGHT, E. ASHE, L.K. BLIGHT, R. BRUINTJES, R. CANESSA, C.W. CLARK, S. CULLUS-SUZIKI, D.T. DAKIN, C. ERBE, P.S. HAMMOND, N.D. MERCHANT, P.D. O'HARA, J. PURSER, A.N. RADFORD, S.D. SIMPSON, L. THOMAS, M.A. WALE (2015), « Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management », *Ocean and Coastal Management*, vol. 115, p. 17-24.

WRIGHT, A.J. et coll. (2007), « Do Marine Mammals Experience Stress Related to Anthropogenic Noise? », *International Journal of Comparative Psychology*, vol. 20, p. 274-316.

WWF-Canada (2013), *Finding Management Solutions for Underwater Noise in Canada's Pacific*, Aquarium de Vancouver et WWF-Canada, Vancouver, Colombie-Britannique.

Sites Web consultés

1- http://mrvanarsdale.com

2- http://oceanexplorer.noaa.gov

3- http://wildwhales.org/noise-and-cetaceans

4- http://www.dosits.org/tutorials

5- https://teacheratsea.wordpress.com/tag/vessel-noise

6- http://www.nmfs.noaa.gov/pr/pdfs/acoustics/session2_fischer.pdf

ANNEXE 1
INDICATEURS SUGGÉRÉS DANS LA DCSMM ET PRINCIPALES MESURES REQUISES

La version originale du texte traduit ci-dessous a été tirée directement du document 1-12-2013 de l'IFAW

Trois indicateurs ont été suggérés en 2010 pour le descripteur 11 (Erbe, 2013), nécessitant ce qui suit.

1) L'enregistrement des sons impulsionnels de basse ou moyenne fréquence (de 10 Hz à 10 kHz) dépassant soit un niveau d'exposition au bruit (SEL) de 183 dB pour 1 µPa^{2}s à 1 m., soit un niveau de pression sonore de crête (SPLpk) de 224 dB pour 1 µPa à 1m, ainsi que la distribution spatiale et temporelle de tels événements
2) Le suivi et la limitation possible du nombre de navires munis de systèmes de sonar (de 50 à 200 kHz) pour réduire l'incidence potentielle sur les cétacés utilisant de hautes fréquences qui habitent les eaux côtières de l'UE
3) La surveillance des sons de basse fréquence continus en vue de maintenir le niveau de bruit ambiant moyen annuel dans les bandes de 1/3 octave à 63 Hz et à 125 Hz, selon ce qui a été mesuré par un ensemble statistiquement représentatif de stations d'observation, en deçà de la valeur de référence de l'année 2012 ou de 100 dB pour 1 µPa de valeur quadratique moyenne (rms).

Il a par ailleurs été suggéré de cartographier le bruit pour analyser les bilans sonores. Un niveau à basse fréquence de moins de 100 dB pour 1 µPa rms est très ambitieux et n'est pas réalisable dans les zones de grande navigation commerciale.

Mesures à prendre à l'égard du descripteur 11.1.1 (sons impulsionnels à basse ou moyenne fréquence)

1. Les États membres devraient transmettre des données au registre des sources de bruit conformément aux recommandations du sous-groupe technique (SGT). Le registre renfermera beaucoup de détails, et il faudra tout de même concevoir des moyens d'utiliser les renseignements du registre pour l'indicateur le plus approprié. Toutefois, la meilleure façon d'élaborer un indicateur convenable consiste à s'appuyer sur les données d'un registre détaillé qui comprend aussi les sources de bruit moins intenses. Ainsi, les États membres devraient transmettre des données détaillées sur toutes les sources.
2. Le SGT a recommandé que des renseignements sur toutes les sources soient inclus dans le registre, y compris les sources militaires, afin que l'on puisse aborder les véritables effets cumulatifs. Même si la DCSMM accorde une exemption aux activités dont l'unique but est la défense ou la sécurité nationale, la mise en œuvre sera beaucoup plus efficace si les États fournissent de telles données.
3. Le SGT sur le bruit a mis l'accent sur les effets qui causent un déplacement « considérable », que l'on définit comme un déplacement d'une proportion élevée d'individus sur une période et une échelle spatiale qui sont pertinentes aux fins de la DCSMM. Même si d'autres répercussions peuvent être aussi importantes que le déplacement, par exemple, le fait que de nombreux animaux vivent un niveau de stress plus élevé avant de quitter leur habitat choisi, il est beaucoup plus facile d'étudier le déplacement que les autres réactions. Lors de la plupart des études sur les effets des sources sonores visées par l'indicateur 11.1.1, on a surveillé le déplacement au lieu de tenter de mesurer le stress ou d'autres réactions. Le SGT a toutefois fait observer que le choix d'aborder le « déplacement » n'empêche pas les États membres individuels de l'UE d'aborder d'autres effets (p. ex. les effets comportementaux ou physiologiques). Au moment d'établir des cibles, il sera important de reconnaître que l'absence de déplacement ne veut pas nécessairement dire qu'il y a absence d'incidence, et que même une légère réaction de déplacement peut être représentative d'une réaction qui revêt une importance biologique beaucoup plus grande que le déplacement lui-même (p. ex. le stress).

4. L'Allemagne a déjà imposé des limites de bruit à la construction extracôtière qui comprend le battage de pieux. La façon la plus efficace de s'attaquer aux répercussions de la pollution par le bruit sous-marin consiste à limiter ce bruit à sa source. La réglementation allemande a encouragé le développement de méthodes de réduction du bruit, et les autres États devraient suivre cet exemple.

Mesures à prendre à l'égard du descripteur 11.2.1 (sons à basse fréquence continus)

1. L'Organisation maritime internationale (OMI) est l'organisme mondial qui sera responsable de mettre en œuvre les mesures de réduction du bruit lié à la marine marchande. L'OMI en a reconnu la nécessité, et elle devrait mettre au point des lignes directrices techniques non obligatoires pour réduire au minimum le bruit de la navigation commerciale et ses effets néfastes sur la vie marine. On trouve également des cibles mondiales largement acceptées pour réduire la contribution de la marine marchande au bruit ambiant. En plus de formuler les cibles et les indicateurs pour le bruit ambiant dans la DCSMM, les États membres devraient soutenir le processus de l'OMI et mettre en œuvre les recommandations de ce dernier. En particulier, l'OMI a demandé aux États membres d'examiner leurs flottes afin de déterminer les navires les plus bruyants, de sorte que ceux-ci puissent être assujettis à des mesures de réduction du bruit. Le fait d'effectuer plus de mesures des niveaux de bruit de navires individuels permettra aussi d'obtenir les données nécessaires pour élaborer les approches de modélisation nécessaires pour l'indicateur 11.2.1.
2. Le SGT sur le bruit a fait observer qu'une tendance des niveaux de bruit ambiant n'est pas à elle seule suffisante pour déterminer le BEE, puisque ce sont les niveaux eux-mêmes qui ont une incidence sur le milieu. Néanmoins, en l'absence de données suffisantes pour établir des limites qui permettraient d'assurer un BEE, une cible préliminaire pour une tendance en baisse serait appropriée dans la DCSMM. L'OMI a reconnu que l'incertitude scientifique ne devrait pas être une raison de retarder les mesures de réduction du bruit lié à la marine marchande, et d'autres organisations, comme le Comité scientifique de la CBI, ont appuyé les cibles de réduction du bruit lié à la marine marchande.

Les responsables de l'IFAW accueillent favorablement le financement des projets SONIC (« Suppression of underwater noise induced by cavitation » (Suppression du bruit sous-marin causé par la cavitation) – http://www.sonic-project.eu/, contenu disponible en anglais seulement) et AQUO (« Achieve quieter oceans by shipping noise footprint reduction » (Rendre les océans plus silencieux en réduisant l'empreinte du bruit lié à la marine marchande) – http://www.aquo.eu/, contenu disponible en anglais seulement) issus du septième programme-cadre de l'Union européenne. On devra s'appuyer sur ces projets pour s'assurer que les évolutions recommandées qui en découlent sont mises en œuvre