



Document d'information sur le bruit sous-marin et ses impacts



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Canada

Avis aux lecteurs

La physique du son sous-marin est bien comprise par la communauté scientifique. Toutefois, le fonctionnement du son en milieu marin et les effets connexes du bruit sur les animaux marins demeurent une question très difficile à décrire. En fait, de nombreux aspects liés aux répercussions ne sont pas encore entièrement connus. Les lecteurs sont invités à consulter la liste des références du présent document pour en savoir plus sur le bruit sous-marin.

Bien que ce document ait été principalement fondé sur les conclusions de la science occidentale sur le son et le bruit sous-marin et leurs impacts, le gouvernement du Canada reconnaît la nécessité et l'importance des systèmes de connaissances autochtones pour comprendre et gérer la gestion du bruit sous-marin. Les lecteurs peuvent consulter « la Stratégie canadienne sur le bruit sous-marin » pour plus d'informations sur les efforts du gouvernement du Canada pour mieux comprendre et gérer le bruit sous-marin.

Les termes **en gras** sont définis dans la section [Glossaire](#) du document.

Publié par :

Pêches et Océans Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0E6

Also available in English

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du ministère des Pêches et des Océans, 2024

Title: Document d'information sur le bruit sous-marin et ses impacts. Nu. 23-2345

Cat. Fs23-741/2024F-PDF ISBN 978-0-660-71710-4

Couverture, en haut: Scientifique écoutant en temps réel les sons des mammifères marins et d'autres espèces de la faune marine ; océan Arctique, bassin du Canada. Crédit: Jeremy Potter NOAA/OAR/OER.

Couverture, en bas: Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*). Crédit: Elianne Dipp.



Trois cargos au loin. Crédit: Administration portuaire Vancouver-Fraser et John Sinal Photography.

Table of Contents

1	L'importance du son dans l'océan	4
2	La science du son.....	5
3	Comprendre le son dans le milieu marin.....	6
4	Activités humaines et sources de son sous-marin	9
5	Catégories d'impacts sur la faune marine.....	12
6	Réaction de différentes espèces marines au bruit sous-marin	14
7	Impacts du bruit sous-marin sur les pratiques culturelles et sociétales humaines.....	16
8	Réduction des répercussions complexes du bruit sous-marin.....	17
	Glossaire.....	18
	Références.....	20



L'importance du son dans l'océan

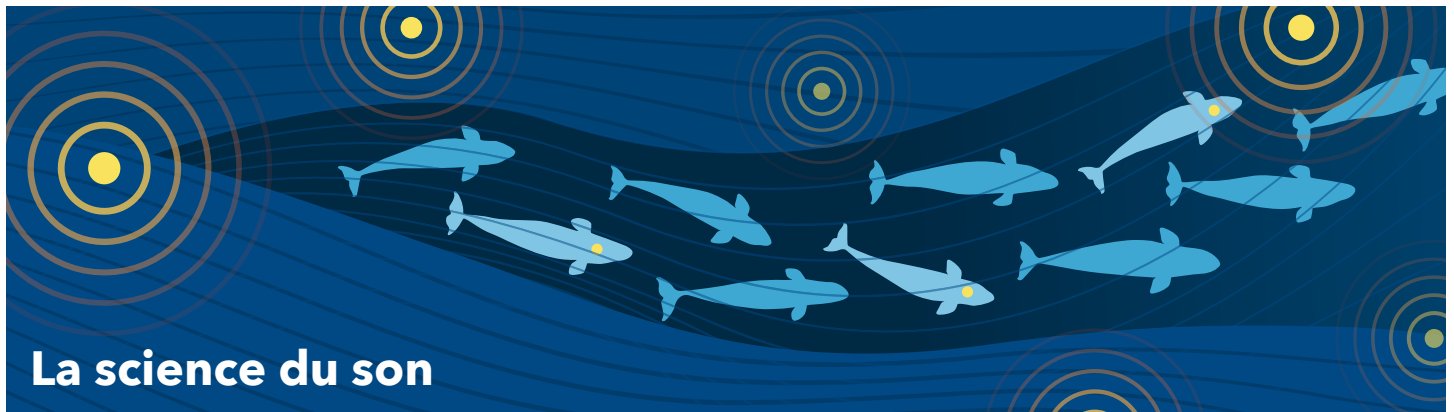
Le son est essentiel à la vie sous-marin. Bien que la communication acoustique soit importante pour de nombreux animaux terrestres, elle l'est encore plus pour les animaux marins, car le son se déplace très efficacement sous-marin.¹ L'océan possède un riche paysage sonore naturel, composé de sons **biotiques** et **abiotiques**. Les sons biotiques naturels comprennent les vocalisations des baleines, les sifflements des dauphins, les grognements des poissons et d'autres sons produits par la faune marine pour communiquer, chercher de la nourriture, s'accoupler et éviter les prédateurs.² Les sons abiotiques proviennent de sources non vivantes, comme les vagues, les craquements de la glace et les volcans sous-marins. Cette combinaison de sons fait de l'océan un environnement extrêmement dynamique où la capacité des animaux marins d'envoyer et de recevoir des signaux sonores est essentielle à leur survie.^{3,4,5}



Fous de Bassan (*Morus bassanus*) chassant des poissons sous l'eau.
Crédit: Sallye photography.



Oiseaux de mer survolant les vagues frappant un iceberg. Crédit: Fondation SOI.



La science du son

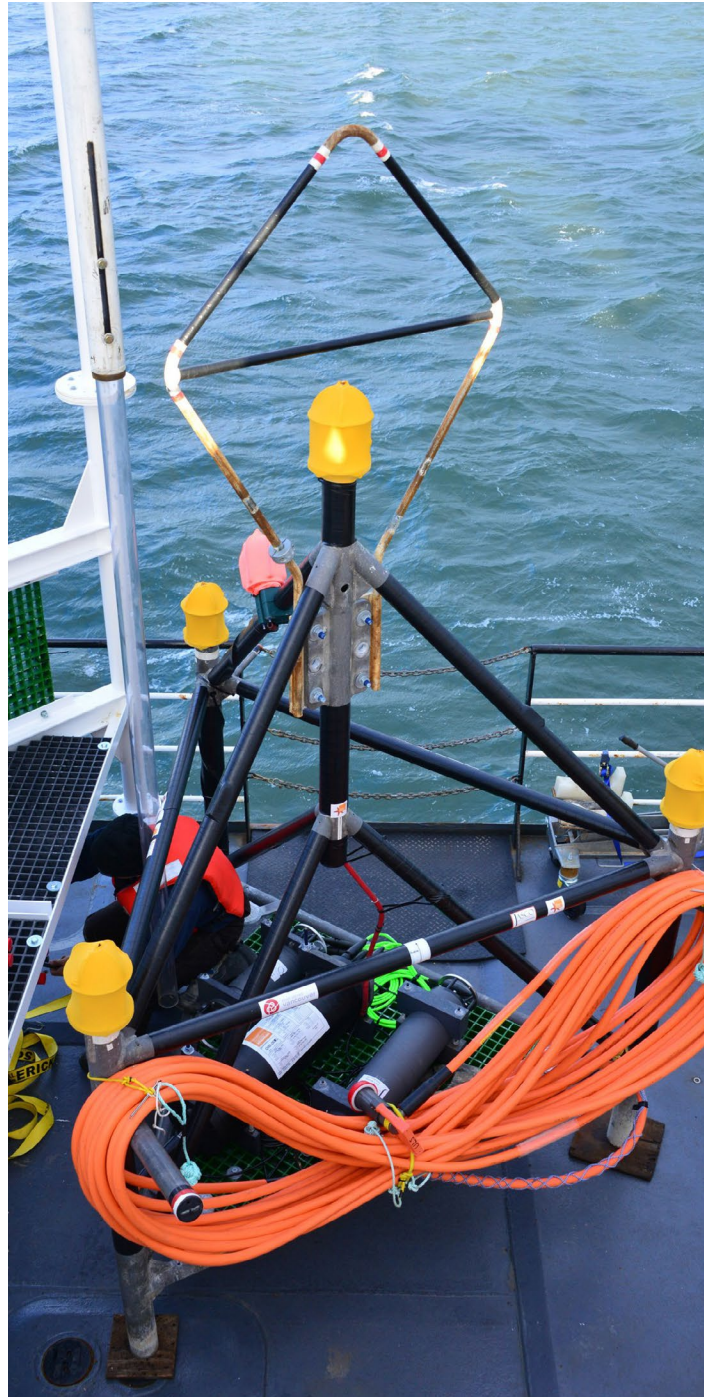
Le son est une énergie créée par la vibration des molécules. À mesure que l'énergie est transférée d'une molécule à l'autre, le mouvement génère des ondes de pression acoustique qui peuvent se déplacer à travers un milieu, comme l'air ou l'eau. En résumé, « son » est le terme utilisé pour décrire ce qu'entend un récepteur lorsqu'il reçoit et interprète ces ondes de pression.

Le son est souvent décrit par son **amplitude** (ou son volume) et sa **fréquence** (ou son hauteur). Pour l'oreille humaine, les fréquences plus élevées sont perçues comme des sons plus aigus; les plus grandes amplitudes sont perçues comme des sons plus forts. À mesure qu'il traverse un milieu, le son perd de l'énergie, ce qui limite la distance sur laquelle il peut se déplacer.⁶ Les sons forts ont plus d'**énergie acoustique** que les sons plus doux. Les sons à basse fréquence perdent moins d'énergie pendant leur déplacement, ce qui leur permet de se déplacer plus loin que les sons à plus haute fréquence.⁷ C'est pourquoi on utilise couramment des dispositifs forts et à basse fréquence comme les cornes de brume pour communiquer sur de longues distances. De même, la vocalisation d'un rorqual bleu, qui est aussi très forte et à basse fréquence, peut être détectée à des centaines de kilomètres de distance.⁸

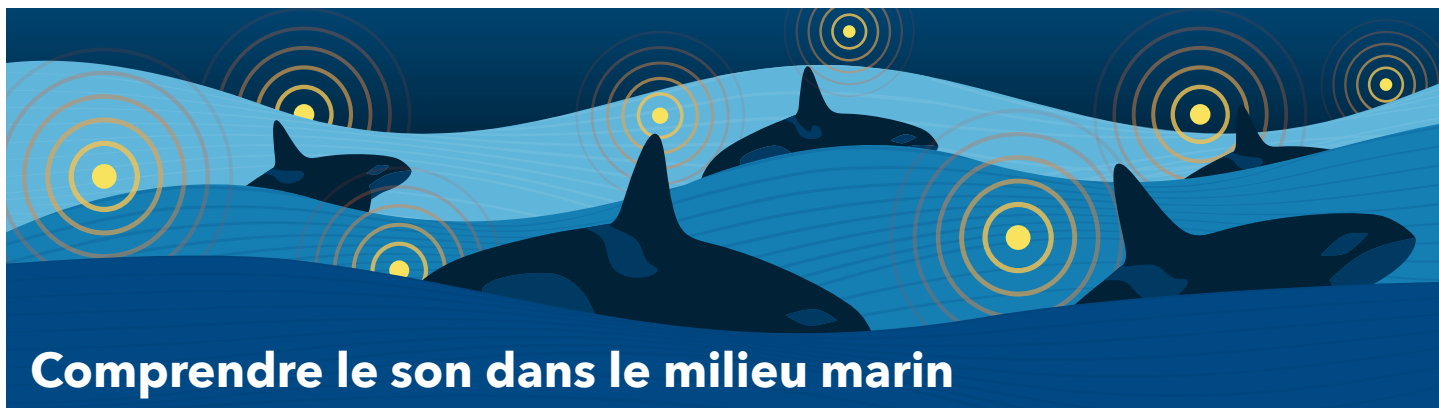
Le saviez-vous?

Les niveaux sonores (le volume du son) sont mesurés en **décibels** (dB), une unité relative sur l'**échelle logarithmique**.

Un son mesuré à 70 dB a 100 fois plus d'énergie acoustique qu'un son mesuré à 50 dB.



Station d'écoute d'hydrophone. Crédit: Ocean Networks Canada.



Le son se comporte différemment dans l'eau par rapport à l'air en raison des propriétés physiques différentes de ces deux milieux. Le son peut se déplacer environ 4,5 fois plus vite dans l'eau de mer que dans l'air (1 450 à 1 550 mètres/seconde dans l'eau salée contre 343 mètres/seconde dans l'air).⁷ La vitesse du son augmente également avec la **salinité** de l'eau; l'océan transmet donc le son de manière extrêmement efficace. Cette caractéristique fait du son un moyen de communication très efficace et fiable dans l'eau, surtout lorsqu'on le compare à la vue (la vision est souvent limitée à des dizaines de mètres au mieux sous l'eau)^{9,10} ou à l'odeur (les odeurs sont souvent entremêlées en raison de la turbulence des eaux de l'océan).¹¹

D'autres facteurs, comme la température et la pression de l'eau (qui varient en fonction de la profondeur), la salinité, la composition et la structure du fond marin, et d'autres **conditions océanographiques**, y compris la quantité de glace et l'**état de la mer**, peuvent également influencer la vitesse et la distance des sons. L'étude de ces relations permet aux scientifiques de mieux comprendre les caractéristiques du son en milieu marin.

Le saviez-vous?

L'échelle des décibels est mesurée différemment dans l'air que dans l'eau, à l'aide d'une pression de référence différente. Cela signifie que la comparaison du décibel exact entre l'air et l'eau peut être trompeuse, car un niveau de décibels « silencieux » dans l'air peut être relativement « fort » dans l'eau.



Température, salinité et pression

La température, la salinité et la pression ont une incidence sur la vitesse du son qui se déplace sous l'eau. La vitesse du son augmente avec la température et la pression, qui elles-mêmes varient fortement selon la profondeur (**figure 1**). Du fait des effets interdépendants de la température et de la pression, c'est à une profondeur d'environ 500 à 1 000 m, où la température et la pression sont relativement basses, que le son se déplace le plus lentement. Cette zone horizontale de vitesse minimale est appelée canal SOFAR (pour « SOund Fixing And Ranging » [en anglais]), aussi appelé « chenal sonore profond ». De même, le son se déplace plus rapidement dans l'eau plus salée. Dans les régions recevant des apports d'eau douce (comme les estuaires ou la fonte des glaciers), le son dans l'eau se déplacerait plus lentement que dans les autres zones marines si tous les autres facteurs sont les mêmes.

Le saviez-vous?

Les ondes sonores peuvent parcourir de grandes distances en perdant une énergie minimale dans le canal SOFAR.

Ce canal est particulièrement important pour les communications des baleines et l'étude des sons sous-marins.



Otarie (*Otariinae*) plongeant dans l'eau. Crédit: Samuel Crimshaw.

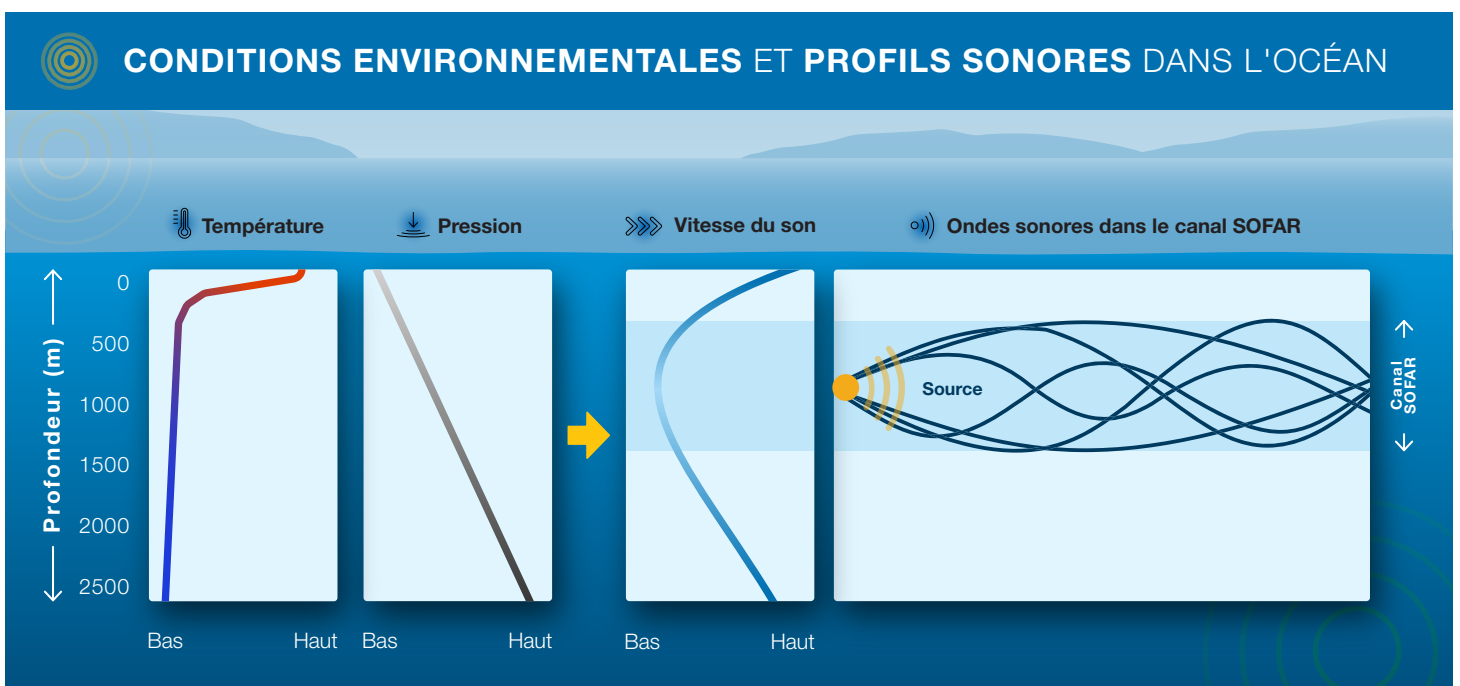


Figure 1 : Température, pression et profil de vitesse du son en fonction de la profondeur de l'eau et de la propagation du son dans le canal SOFAR (adapté de Webb (2017))¹².

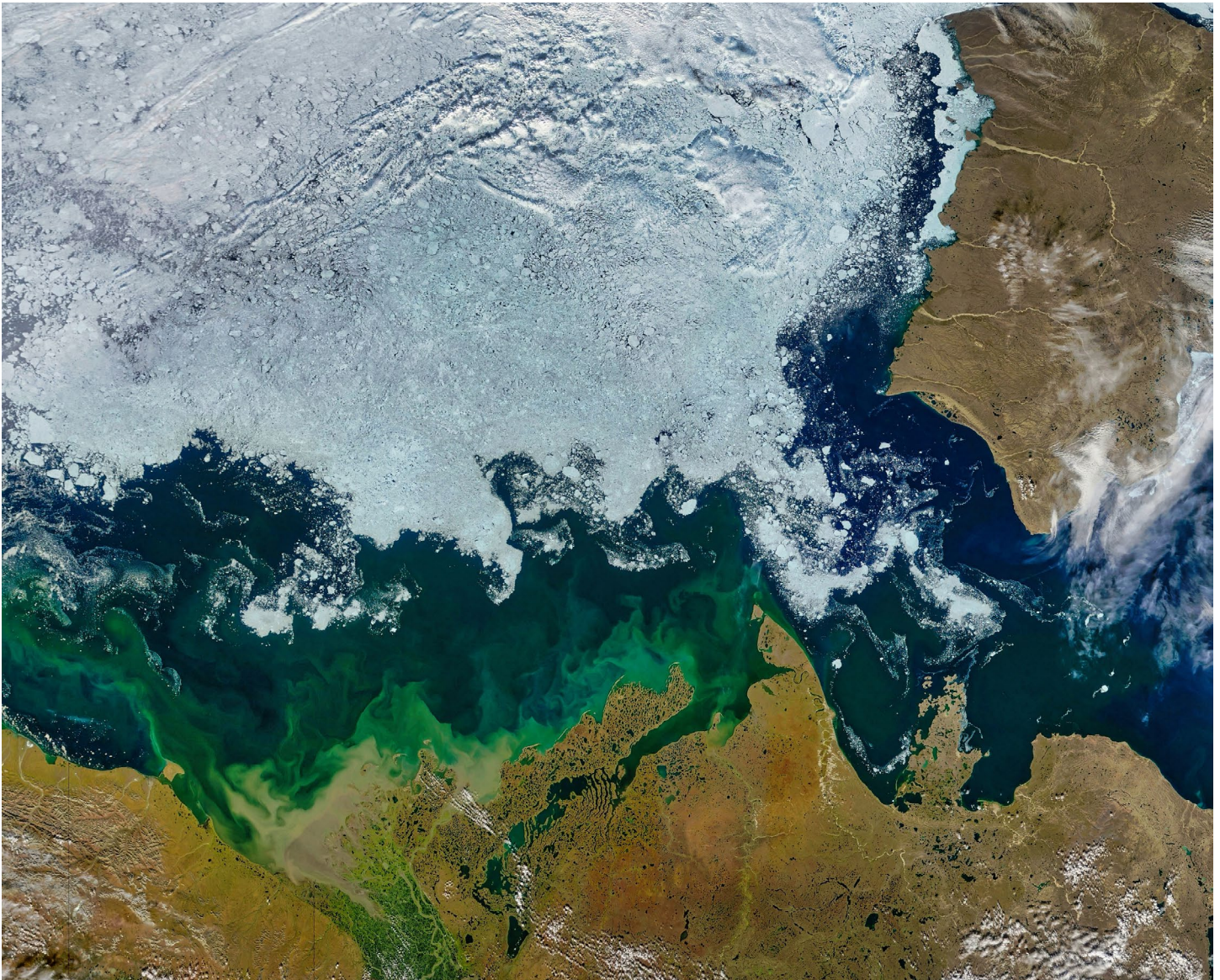
Profondeur de l'eau, composition du fond marin, couverture de glace et autres conditions océanographiques

Le son se déplace différemment selon la profondeur de l'eau. Chaque fois que les ondes sonores interagissent avec la surface de l'océan ou le fond marin, une partie ou la totalité de l'énergie acoustique est réfléchi ou absorbée.¹³ Dans les eaux peu profondes, les ondes sonores ont davantage d'interactions avec la surface et le fond marin, ce qui entraîne une perte accrue d'énergie acoustique. La quantité d'absorption ou de réflexion du son dépend de la composition du fond marin et de l'état de la mer.¹³ Lorsque la mer est couverte de glace, le son est partiellement absorbé par la glace de mer et est réfléchi ou dispersé selon que la surface inférieure de la glace est plus ou moins lisse. Ainsi, le son perd de l'énergie plus rapidement et ne se déplace pas aussi loin dans les régions polaires en présence de glace de mer.^{14,15}

Le saviez-vous?

L'acidité de l'océan influence également sur l'absorption du son. À mesure que l'acidification de l'océan s'accroît, on prévoit que l'absorption du son diminuera.

Une étude a révélé que le son pourra se déplacer plus efficacement sous l'eau plus acide et que les signaux pourraient avoir des amplitudes plus grandes de 5 dB sur de longues distances (~200 km).¹⁶



Fleuve Mackenzie et baie de Mackenzie, Yukon, Canada. Crédit : BEST-BACKGROUNDS.



Activités humaines et sources de son sous-marin

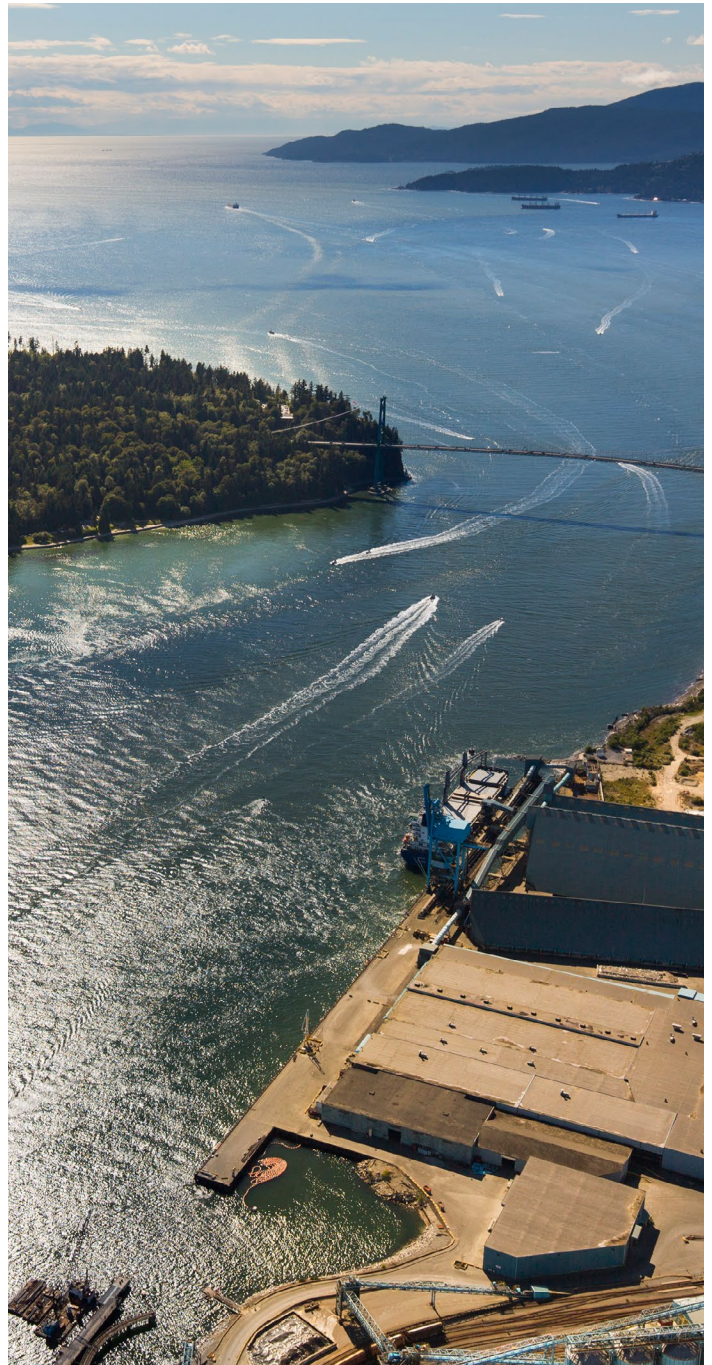
Le développement de l'économie maritime mondiale au cours des 200 dernières années a augmenté le nombre de sources et le volume sonore globale des sons sous-marin d'origine humaine (ou **anthropique**), ce qui a complètement changé le paysage sonore sous-marin côtier et extracôtier (**figure 2**).¹⁷

Bien que de nombreuses activités humaines dans le milieu marin produisent des sons sur un large éventail de fréquences, six grandes catégories d'activités, décrites ci-après, sont à l'origine de la majorité des sons sous-marin. Lorsqu'on examine les sons créés par ces activités, il est important de tenir compte de quatre aspects de la source de bruit :

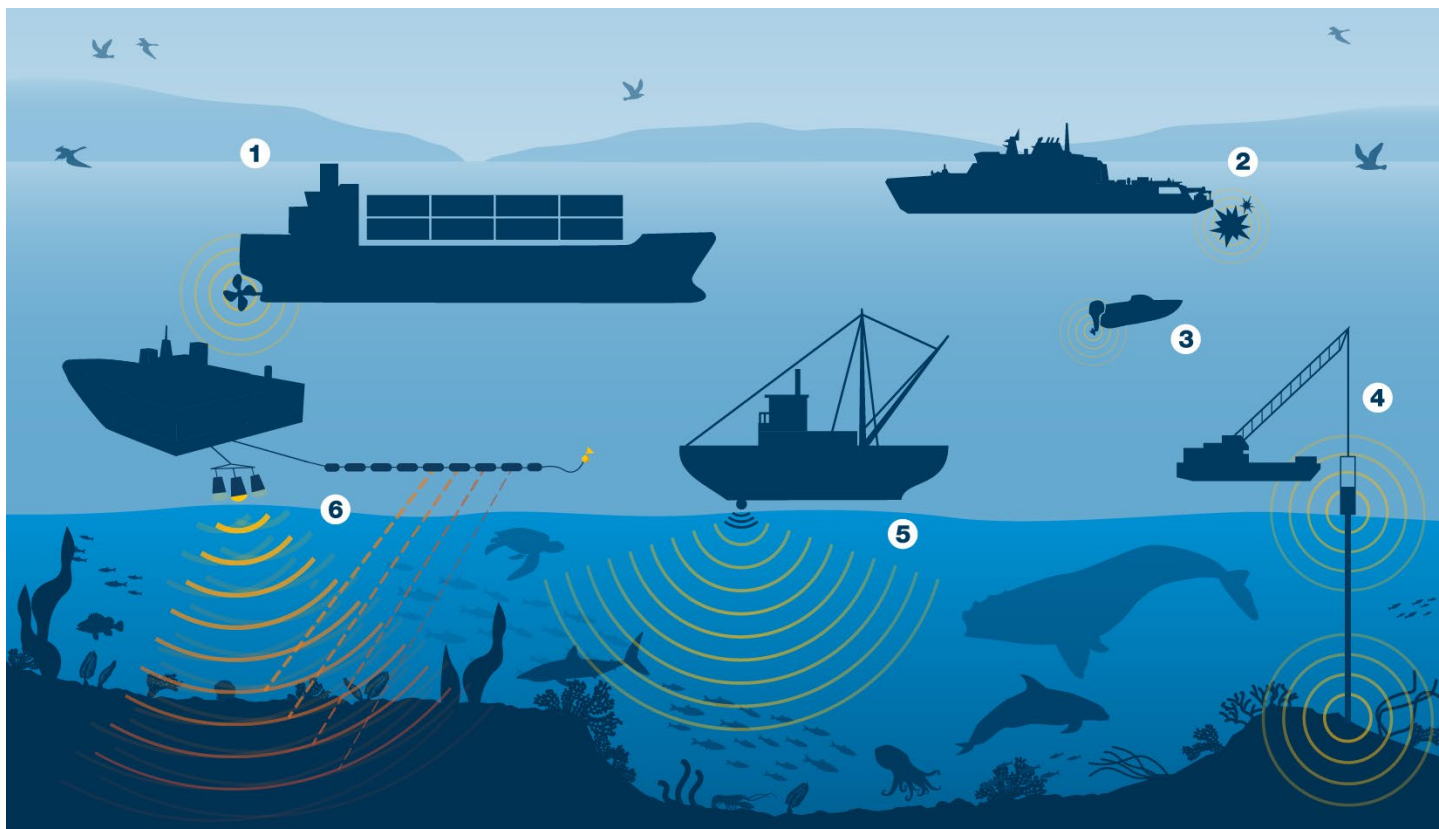
1. l'amplitude (ou le volume sonore) de la source;
2. la gamme de fréquences de la source;
3. si la source produit un bruit **continu** ou **impulsionnel**; et
4. l'étendue de la source, y compris la fréquence de l'activité dans une zone où elle peut avoir une incidence sur la vie marine.

Qu'est-ce que le « bruit sous-marin »?

Dans le contexte du présent document et de « la Stratégie canadienne sur le bruit sous-marin », le bruit sous-marin est défini comme le bruit généré par l'activité humaine et transmis sous la surface de l'eau; il a un large éventail d'effets sur les animaux marins, notamment en limitant les communications acoustiques et en causant des changements comportementaux et physiologiques, des blessures physiques et même la mort.



Navires traversant le First Narrows/Lions Gate Bridge, Vancouver, CB.
Crédit: Administration portuaire Vancouver-Fraser et William Jans Photograph.



🌀 SOURCES ANTHROPIQUES DE BRUIT SOUS-MARIN

Figure 2 : Grandes catégories d'activités humaines qui produisent la majorité des sons sous-marin.

Grands bâtiments

Les grands navires océaniques, comme les porte-conteneurs, les vraquiers, les navires de charge côtiers, les traversiers et les navires de croisière, constituent collectivement la plus importante source anthropique de sons à basse fréquence émis sous-marin.¹⁷ Bien que ces navires produisent divers sons, la source la plus importante est le son continu à basse fréquence émis par l'hélice du navire.^{18,19} Cette gamme de basses fréquences est essentielle pour de nombreuses espèces marines, qui l'utilisent pour communiquer et se localiser, parfois sur de grandes distances.¹⁷ Ces sons contribuent à l'arrière-plan du son anthropique sur de vastes zones géographiques.^{20,21}

Petits bâtiments

Les navires plus petits, comme les bateaux de pêche, les embarcations de plaisance et les navires de tourisme (à l'exception des navires de croisière), constituent une autre source importante de son continu sur une vaste gamme de fréquences. Ces navires sont abondants et se trouvent souvent près du rivage, dans des eaux

de moins de 200 mètres où l'absorption et la réflexion du son sont importantes. Certains petits navires, comme les remorqueurs, produisent des niveaux sonores comparables à ceux des grands bâtiments, mais d'autres, comme les navires de tourisme et les embarcations de plaisance, produisent moins de bruit individuellement que les grands bâtiments; cependant,

Le saviez-vous?

À mesure que l'océan continue de se réchauffer sous l'effet des changements climatiques, on prévoit que la réduction de la glace de mer entraînera également une augmentation importante du bruit sous-marin dans l'Arctique.

Bien qu'une grande partie de cette augmentation provienne de l'intensification du trafic maritime, on s'attend également à une augmentation des bruits abiotiques (comme les bris de glace, **les vélages d'icebergs**, etc.).

leur nombre élevé et leur présence dans des eaux moins profondes peuvent contribuer à une augmentation importante du bruit anthropique dans les zones côtières.^{22,23,24,25,26,27}

Levés sismiques

Les **levés sismiques** marins sont souvent utilisés pour la recherche géologique et l'exploration pétrolière et gazière. Ces levés utilisent des canons à air qui libèrent rapidement de l'air comprimé. Les bulles d'air qui s'effondrent créent un son impulsionnel très fort et intense dirigé vers le fond marin; les ondes réfléchies servent à identifier les **caractéristiques géologiques souterrain**.²⁸ L'**intensité** et la gamme de fréquences des levés sismiques varient selon le but des levés.^{29,30}

Activités industrielles et de construction

Le battage de pieux, le dragage, le forage, le creusement de tunnels, les énergies marines renouvelables et les écluses sont autant d'exemples d'activités industrielles et de construction qui contribuent au son sous-marin et le long des côtes. Ce groupe diversifié d'activités peut produire des sons impulsionnels à haute intensité (p. ex. battage de pieux par impact) et des sons continus à faible intensité (p. ex. dragage, battage de pieux à l'aide de vibrofonceurs) dans le milieu marin.^{9,31}

Activités militaires

Les opérations militaires, comme les essais de choc contre les navires (où des explosifs sont délibérément activés près d'un nouveau navire pour simuler un quasi-accident pendant une bataille), les exercices de tir réel et les opérations utilisant un sonar militaire, génèrent toutes des niveaux sonores très élevés. Les opérations comportant des explosions sont des sons impulsionnels, tandis que le sonar naval est un bref son continu qui est souvent répété fréquemment. Ces activités produisent certains des sons anthropiques les plus forts et les plus intenses dans le milieu marin.^{21,32}

Échosondeurs et sonars

L'utilisation d'échosondeurs et de sonars à des fins scientifiques, industrielles et récréatives augmente constamment. Ces systèmes créent généralement un signal acoustique impulsionnel pour chercher de l'information sur des objets (comme des poissons) dans la colonne d'eau, sur le fond marin ou dans les sédiments. Contrairement aux canons à air sismiques, ces signaux utilisent un **transducteur** pour créer une onde sonore plutôt que de l'air comprimé. De plus, les échosondeurs et les sonars transmettent généralement des signaux dans des bandes de fréquences beaucoup plus élevées que les canons à air sismiques (**figure 3**). L'utilisation de ces systèmes dans le milieu marin est répandue et ils peuvent fonctionner à des fréquences très variées.³³



Navire de transport se déplaçant entre des éoliennes extracôtières. Crédit: TwiXteR.



Catégories d'impacts sur la faune marine

En tout temps et en tout lieu, la combinaison de sons naturels et anthropiques peut créer un paysage sonore très variable. Bien que les animaux marins se soient adaptés aux changements des sons marins naturels, le bruit sous-marin anthropique fort et intense est relativement nouveau.^{17,34,21} Même si le son est une vibration qui traverse un milieu, le bruit est un son spécialement indésirable ou nuisible.³⁵ Le bruit sous-marin peut interférer avec des fonctions biologiques et écologiques essentielles et avoir ainsi divers impacts sur la faune marine.^{36,37} Il est important de noter que l'impact du bruit sur le comportement des animaux marins est probablement fonction du contexte.³⁸ Par exemple, l'âge, le sexe, l'emplacement et l'activité des animaux ainsi que leur exposition antérieure au bruit peuvent tous influencer sur la façon dont ils réagiront au bruit anthropique.^{39,40,41}



Troupeau d'otaries de Steller (*Eumetopias jubatus*) sous l'eau sur l'île de Vancouver, CB. Credit: William Drumm.

Il existe quatre catégories générales d'impacts du bruit sous-marin sur la vie marine :

Masquage

Les sons provenant de différentes sources à des fréquences semblables peuvent interférer les uns avec les autres, ce qui rend difficile l'interprétation exacte des signaux sonores. Le **masquage** se produit lorsque le bruit interfère avec un son ou un signal d'intérêt et réduit la capacité de l'animal à détecter, reconnaître ou comprendre ce son. Le bruit sous-marin anthropique peut masquer certains sons naturels comme ceux émis par des proies, des prédateurs et des partenaires de reproduction, qui sont vitaux pour les mammifères marins. Les chercheurs ont découvert que les animaux ont de la difficulté à utiliser le son pour communiquer lorsque le bruit anthropique est fort et émis à des fréquences, temps et espaces similaires à ceux des signaux acoustiques de l'animal (**figure 3**).^{42,43} Compte tenu de la nature généralisée des activités anthropiques, le masquage pourrait être l'un des impacts les plus étendus et importants sur la communication acoustique des organismes marins.⁴⁴

Imaginez-vous à un festival de musique où deux groupes jouent près l'un de l'autre :

Dans quelle mesure pouvez-vous différencier les chansons?

Pouvez-vous bien communiquer verbalement avec la personne qui se trouve à côté de vous?

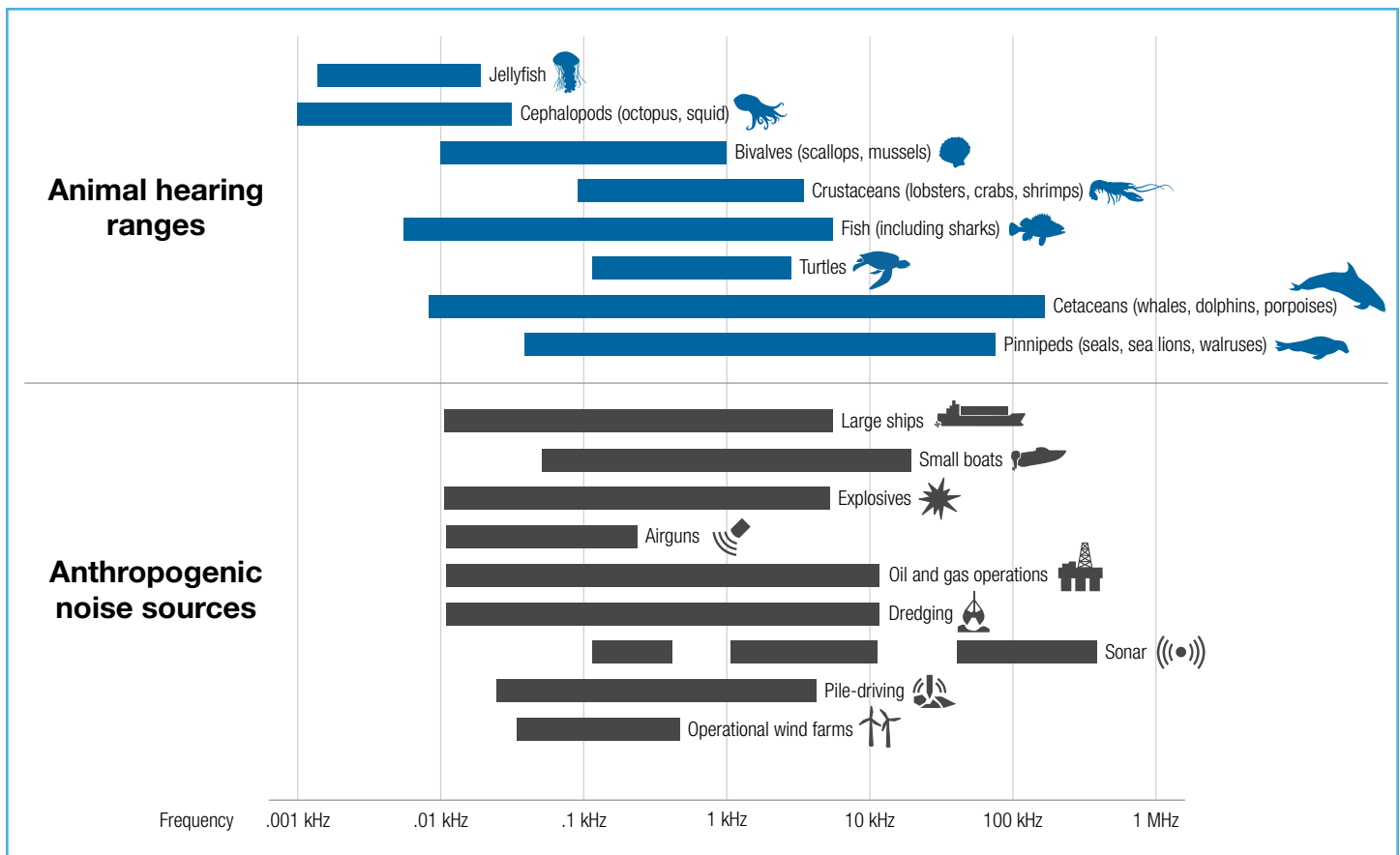


Figure 3 : Fréquences des champs auditifs des animaux et sources de bruits anthropiques (adapté de Duarte et al. (2021)¹⁷ et Vergara et al. (2021)⁴⁵).

Blessure physique

Une exposition à un bruit intense peut causer des blessures physiques, notamment une déficience auditive temporaire ou permanente, voire la mort. Même si toutes les espèces animales ont des **champs auditifs** différents, il a été démontré que les animaux exposés à un son intense ne peuvent plus détecter les signaux sur l'ensemble de leur champ auditif pendant un certain temps après l'exposition.^{46,47} Si l'ampleur de cette déficience diminue normalement au fil du temps, il arrive parfois que l'exposition au bruit entraîne des dommages auditifs irréversibles.⁴⁸ Cette incapacité permanente à détecter les signaux à certaines fréquences pourrait nuire aux fonctions vitales des animaux au point où leur survie serait menacée.

Effets physiologiques

Le bruit peut avoir divers effets physiologiques, y compris une augmentation du stress,^{49,50,51} une modification des **taux métaboliques**,⁵² une diminution des réactions du système immunitaire⁵³ et une réduction des taux de reproduction.⁵⁴ Des expositions prolongées et

des augmentations répétées du stress pourraient avoir des répercussions à long terme sur la santé des animaux marins.⁵⁵

Changements de comportement

L'exposition au bruit peut entraîner des changements de comportement et des interruptions des activités normales,^{56,57} y compris des changements dans les communications acoustiques (ou les vocalisations), l'arrêt des interactions alimentaires ou sociales, des changements dans le déplacement ou le comportement de plongée et l'abandon temporaire ou permanent de l'habitat.^{58,59,60} À long terme, un changement de comportement permanent pourrait avoir une incidence sur la capacité d'un animal de trouver de la nourriture et de se reproduire.⁶¹ Dans les cas graves, le bruit peut également causer des réactions aiguës et graves, comme la panique, la fuite, la débandade ou l'échouement, qui peuvent provoquer des blessures ou la mort de l'animal.¹⁰



Réaction de différentes espèces marines au bruit sous-marin

Une liste croissante d'études scientifiques confirme que le bruit généré par les activités humaines dans l'océan ou à proximité peut avoir une multitude d'effets négatifs sur de nombreuses espèces marines différentes. La recherche menée à ce jour porte en majorité sur les **cétacés**,⁶² mais de nombreuses autres études cherchent désormais à comprendre les impacts du bruit sous-marin sur d'autres espèces marines. En fait, la récente analyse de 538 études sur les effets du bruit sous-marin anthropique a confirmé que le bruit a un effet négatif sur de nombreuses espèces différentes d'animaux marins¹⁷ au niveau de l'individu, de la population et de la communauté en influençant les interactions entre les individus d'une même espèce et de différentes espèces.^{63,64,65}

Les sections suivantes présentent certains des effets du bruit sur les mammifères marins, les poissons marins, les invertébrés, les tortues de mer et les oiseaux de mer :

Mammifères marins

Des études sur le terrain ont révélé que les mammifères marins réagissent de diverses façons à l'exposition aux bruits sous-marins. Par le passé, la recherche primaire tendait à se concentrer davantage sur l'évaluation des réactions physiologiques, des blessures physiques et de la mortalité, mais elle s'est élargie ces dernières années pour tenir compte des effets du bruit sur le comportement et les communications acoustiques. La déficience auditive, le masquage, le stress accru et la désertion des aires d'alimentation de prédilection ne sont que quelques-uns des effets observés chez un grand nombre de mammifères marins.^{66,67,68} Les conséquences de ces impacts ne sont pas toujours bien comprises, mais pourraient comprendre une capacité réduite à chercher de la nourriture, une diminution des liens sociaux et une incapacité à éviter les prédateurs.^{69,70} Tous ces effets peuvent avoir des **effets cumulatifs** et en cascade sur la survie et la reproduction des espèces, tant sur le plan individuel que sur celui de la population.^{17,71,72} Pour les cétacés en général, bien que la **figure 3** montre qu'ils communiquent sur une grande gamme de fréquences, la plupart des espèces de cétacés n'utilisent qu'une gamme de fréquences plus étroite et sont souvent classées en trois groupes : les cétacés communiquant à basses fréquences (mysticètes), les cétacés communiquant à hautes fréquences (odontocètes et la plupart des dauphins) et les cétacés communiquant à très hautes fréquences (marsouins et quelques dauphins).⁴⁸ Ces différences sont également importantes pour tenir compte de l'impact du bruit sur les cétacés, car ils sont sensibles à différents types de bruit en fonction de leur champ auditif.



Béluga (*Delphinapterus leucas*) faisant surface. Crédit: slowmotiongli.



Poissons marins

Des recherches ont montré qu'en réaction au bruit, les poissons marins peuvent modifier leur comportement, subir des niveaux de stress élevés, être moins capables de détecter les prédateurs et de chercher de la nourriture, et souffrir d'une perte auditive temporaire.^{73,74,75,47,56} Étant donné le nombre d'espèces de poissons différentes et la variété des habitats qu'elles occupent, la recherche sur les impacts du bruit devrait également tenir compte des physiologies individuelles et des cycles biologique.^{76,77} Par exemple, le bruit peut avoir une incidence sur le développement des oeufs des poissons qui pondent dans des nids stationnaires par rapport aux poissons qui naissent vivants.⁷⁸ De plus, la présence d'une **vessie natatoire** chez les poissons marins peut également avoir une incidence sur leur sensibilité au bruit. Les poissons dotés d'une vessie natatoire ont une sensibilité auditive plus élevée et ont tendance à utiliser davantage le son pour la communication; ils peuvent aussi être plus touchés par le bruit sous-marin que ceux qui n'en ont pas.⁷⁹



Tortues de mer

Comparativement aux mammifères marins et aux poissons, la recherche s'est très peu intéressée aux tortues de mer.⁸⁰ Bien que des recherches récentes montrent qu'un bruit sous-marin excessif peut provoquer une déficience auditive temporaire chez les tortues d'eau douce,⁸¹ la nature hautement migratoire des tortues de mer complique l'étude des effets potentiels du bruit sous-marin sur ce groupe d'animaux.⁸²

Photo, dans le sens des aiguilles d'une montre, en partant du haut à la droite : Poisson chassant le hareng. Crédit: Rich Carey. Pieuvre géante du Pacifique (*Enteroctopus dofleini*) au fond de l'océan. Crédit: Martin Voeller. Colonie de guillemots de Brünnich (*Uria lomvia*) sur l'eau. Crédit: Mike Sudoma. Tortue verte (*Chelonia mydas*) nageant sous l'eau. Crédit: Baptiste RIFFARD.



Invertébrés marins

Le terme **invertébrés marins** englobe un grand nombre d'animaux qui vivent dans divers habitats océaniques, y compris la colonne d'eau et le fond marin.⁸³ Ces espèces (qui comprennent les coraux, les éponges, les oursins et les mollusques comme le calmar et les moules) sont sensibles au son transmis par la colonne d'eau et le fond marin.^{84,85,86,87} Selon plusieurs études, le bruit sous-marin peut avoir divers effets sur ces espèces : les animaux peuvent être distraits de la recherche de nourriture ou d'abri, subir une augmentation des produits chimiques liés au stress, avoir des embryons malformés ou présenter des cellules auditives endommagées.^{88,89,90} Le bruit sous-marin de grande amplitude, comme celui des levés sismiques, peut également entraîner une diminution de l'abondance des invertébrés marins, comme le zooplancton.⁹¹



Oiseaux de mer

Il existe très peu d'études sur les effets potentiels du bruit sous-marin dans l'océan sur les oiseaux de mer, mais une étude récente a révélé que les oiseaux plongeurs, comme les Guillemots marmettes, peuvent être exposés au bruit sous-marin et à ses effets lorsqu'ils se nourrissent.⁹² Il convient de noter que, bien que les oiseaux de mer ne passent que peu de temps sous-marin, la recherche montre qu'ils sont sensibles au son émis dans l'air et sous l'eau.^{93,94} Des évaluations plus complètes des répercussions potentielles sur les oiseaux de mer sont donc nécessaires.



Impacts du bruit sous-marin sur les pratiques culturelles et sociétales humaines

Le bruit sous-marin anthropique n'a pas seulement des impacts importants sur la faune, il a aussi des répercussions sur de nombreuses pratiques culturelles et sociétales des collectivités côtières et autochtones.^{95,96} Par exemple, les collectivités côtières et les Autochtones qui pratiquent la chasse et la pêche de subsistance dépendent fortement de la présence de certaines espèces marines importantes dans des habitats précis et à des moments précis pour ces activités. La présence de bruit sous-marin peut éloigner ces espèces, perturber les pratiques traditionnelles et avoir une incidence sur l'exercice des droits ancestraux protégés par la Constitution.⁹⁷



Bateau d'observation des baleines près d'un mammifère marin faisant surface.
Crédit: Ruth Troughton.



Communauté des Premières nations travaillant avec Pêches et Océans Canada à la collecte de saumons rouges (*Oncorhynchus nerka*) pour la production en éclosion. Crédit: Pêches et Océans Canada.



En plus de comprendre comment l'activité humaine crée du bruit et les caractéristiques de ces différents sons, il est également essentiel de comprendre les répercussions sur la faune marine lorsque plus d'une activité humaine se produit au même endroit au même moment. Le bruit simultané provenant de multiples activités humaines peut s'ajouter à d'autres **agents de stress marins** et interagir avec eux pour accroître les effets cumulatifs sur les organismes marins.

Même si des travaux de recherche sont en cours au sujet des répercussions individuelles du bruit sur les espèces, il demeure extrêmement difficile de quantifier les impacts cumulatifs ou les effets de l'interaction de diverses sources de bruit sur un animal en particulier. Les propriétés physiques du bruit, la biologie et le comportement des animaux qui y sont exposés et les circonstances entourant leur exposition sont tous des considérations importantes qui peuvent interagir avec les effets cumulatifs du bruit sous-marin sur la vie marine et les influencer.

Plusieurs exemples tirés de la littérature scientifique montrent que les conditions et la santé de la faune touchée peuvent souvent s'améliorer rapidement lorsque les niveaux de bruit diminuent.⁹⁸



Orque résident du sud (*Orcinus orca*). Crédit : Pêches et Océans Canada.

Selon une étude de 2012, une diminution de six décibels du bruit sous-marin, liée à la diminution du trafic maritime dans la baie de Fundy après les événements du 11 septembre 2001, a entraîné une réduction du stress chez les baleines noires de l'Atlantique Nord.⁵¹ Plusieurs autres études ont révélé que la réduction du bruit produit par la navigation commerciale pendant la pandémie de COVID-19^{99,100,101,102} avait contribué à la présence anormale de mammifères marins dans des ports achalandés et des zones côtières où on ne les observe pas habituellement.^{103,104}

Ces résultats de recherche particuliers indiquent qu'une meilleure compréhension des répercussions du bruit peut aider à mener des efforts ciblés à l'égard des causes du bruit sous-marin. Bien que d'autres recherches soient nécessaires, les preuves circonstancielles recueillies au cours de ces périodes de réduction importante du bruit sous-marin donnent à penser que les espèces marines réagissent positivement à la réduction du bruit sous-marin anthropique.

Le présent document donne un aperçu général et succinct des caractéristiques du son, du bruit sous-marin et ses impacts. Les lecteurs sont encouragés à approfondir ce sujet et à participer à l'une des initiatives de collaboration actuelles et futures du gouvernement du Canada visant à lutter contre ce facteur de stress. Compte tenu de la complexité du bruit sous-marin, il est essentiel de poursuivre les recherches afin de mieux comprendre ce sujet. Cela soutiendra les efforts conjoints des gouvernements, des organisations et des communautés pour gérer efficacement les sources de bruit anthropiques afin d'atténuer de manière significative leurs répercussions sur la faune marines.

Abiotique : désigne quelque chose qui est physique plutôt que biologique, dépourvu de vie.¹⁰⁵ Dans le contexte d'un écosystème, les facteurs abiotiques pourraient inclure la lumière du soleil, la température, les régimes de vent et les précipitations.

Agents de stress marins : facteurs qui influent sur la santé et les fonctions des écosystèmes marins.¹⁰⁶ Ils peuvent être naturels, comme des tremblements de terre ou des tempêtes, ou causés par les humains, comme la pêche, la pollution ou les changements climatiques. L'impact cumulatif de diverses pressions dans l'océan peut entraîner une réduction de la capacité des écosystèmes marins à résister à ces défis et à s'en remettre. Ils peuvent finir par entraîner un déclin de la biodiversité dans les milieux marins.¹⁰⁷

Amplitude : désigne la hauteur de l'onde de pression sonore ou « l'intensité sonore » d'un son.¹⁰⁸ Elle est souvent mesurée sur l'échelle des décibels (dB). De légères variations d'amplitude (ondes de pression « courtes ») produisent des sons faibles ou silencieux, tandis que de grandes variations (ondes de pression « hautes ») produisent des sons forts ou intenses. Par exemple, imaginez une vague à la surface d'un étang. L'amplitude serait la hauteur maximale de l'eau au-dessus ou au-dessous de son niveau de calme.

Anthropique : causé ou généré par les humains.

Biotique : désigne tout ce qui est lié aux organismes vivants ou qui en résulte, en particulier dans leurs relations écologiques.¹⁰⁹ C'est le contraire d'abiotique, qui fait référence aux organismes non vivants dans un écosystème.

Caractéristique géologique souterrain : structure ou formation géologique située sous la surface de la terre. Ces caractéristiques peuvent comprendre des formations rocheuses, des gisements minéraux et d'autres structures géologiques qui ne sont pas visibles de la surface.¹¹⁰ Les caractéristiques géologiques de la subsurface peuvent être étudiées à l'aide de diverses techniques géophysiques, comme les levés sismiques.

Cétacés : baleines, dauphins et marsouins.

Champ auditif : gamme particulière de fréquences sonores auxquelles certaines espèces sont le plus réceptives.

Conditions océanographiques : caractéristiques physiques et chimiques de l'océan qui varient dans l'espace et le temps. Elles comprennent des facteurs comme la température, la salinité, les courants, les vagues, les marées, la concentration et l'épaisseur de la glace et les vents de surface.¹¹¹

Décibel : unité utilisée pour mesurer l'intensité d'un son ou le niveau de puissance d'un signal électrique. Il s'agit d'une unité relative et non absolue. Le décibel est utilisé pour décrire les sons en termes d'intensité sonore.¹¹² Pour les sons sous-marins, on utilise une pression de référence de 1 micropascal (μPa) pour décrire les sons en termes de décibels.

Échelle logarithmique : façon de mesurer des données qui croissent de façon exponentielle. Il s'agit d'une unité relative et non absolue. Les chiffres sur l'axe sont des logarithmes ou des puissances d'un nombre de base, ce qui entraîne une augmentation exponentielle de la valeur entre les unités.¹¹³ Par exemple, sur une échelle logarithmique en base 10, la distance de 1 à 10 est la même que la distance de 10 à 100 ou de 100 à 1 000.

Effets cumulatifs : changements totaux de l'animal, de l'environnement, de la santé, des conditions sociales et économiques attribuables à diverses activités humaines et à divers processus naturels qui se produisent au fil du temps et à différents endroits. Ils comprennent les effets additifs d'un projet ou d'un aménagement lorsqu'ils sont combinés à d'autres activités passées, présentes et futures prévisibles.¹¹⁴

Énergie acoustique : l'énergie qui traverse une substance sous forme d'ondes sonores est appelée énergie acoustique.¹¹⁵ Lorsque le son traverse un milieu, il crée des ondes de vibrations dont l'énergie varie en fonction de l'amplitude des ondes sonores.

État de la mer : état général de la surface de l'océan lié aux vagues et aux houles à un certain endroit et à un certain moment. Il est influencé par de nombreux facteurs comme les vents, le courant et la glace de mer.¹¹⁶ L'état de la mer influe sur les niveaux sonores ambiants, de sorte que les niveaux sont plus bas lorsque la mer est calme et plus élevés lorsqu'elle est agitée. Il peut également influencer la vitesse du son dans l'eau, qui à son tour influe sur la distance que le son peut parcourir avant qu'il ne devienne trop faible pour être détecté.⁹

Fréquence : le son se déplace dans un milieu comme l'eau sous forme d'onde, d'où le terme « onde sonore ». La fréquence, aussi appelée « hauteur », indique la fréquence à laquelle une onde sonore se répète en une seule seconde. Mesurée en hertz (Hz), ou cycles par seconde; les nombres plus élevés signifient des sons plus aigus et les nombres plus bas, des sons plus graves.¹⁰

Intensité : quantité d'énergie contenue dans une onde sonore, mesurée dans une zone donnée à un moment donné; se traduit également par la perception subjective de la pression acoustique et de l'intensité sonore.

Invertébrés marins : animaux marins sans colonne vertébrale, qui comprennent notamment les mollusques et crustacés (p. ex. homards, crabes, palourdes, mollusques), les holothuries, les oursins, les coraux et bien d'autres.

Levé sismique : opération géophysique qui utilise une source d'air sismique pour générer des ondes acoustiques qui se propagent dans l'eau et les sédiments, qui sont réfléchies ou réfractées sur les couches de la subsurface des sédiments et sont ensuite enregistrées par des hydrophones à la surface.¹¹⁷

Masquer (ou masquage) : phénomène où un ou plusieurs sons, habituellement un son plus fort, influencent la perception d'un autre. En raison de cette interférence, l'auditeur a du mal à saisir et à identifier avec précision le son d'intérêt, ce qui le rend moins distinct et plus difficile à comprendre.⁴² Le masquage peut se produire sous l'eau lorsque le bruit de fond, comme les vagues, le vent, la pluie ou les activités humaines, nuit à la détection ou à la communication des sons produits par des animaux marins ou des dispositifs marins.⁶⁴

Salinité : quantité de sel dissous dans un plan d'eau. La vitesse du son dans l'eau a tendance à augmenter à mesure que la salinité augmente.¹¹⁸

Son continu : type de son qui dure longtemps et qui n'a pas de caractéristiques impulsionnelles.¹¹⁹

Son impulsionnel : signal acoustique avec un démarrage et un arrêt instantanés. Les sons impulsionnels sous-marins sont générés par certaines activités humaines, comme les levés géophysiques, le battage de pieux par impact, les dispositifs de dissuasion acoustique, les échosondeurs multifaisceaux et la détonation d'explosifs.¹²⁰

Taux métabolique : quantité d'énergie qu'un organisme dépense au cours d'une période donnée.¹²¹ Il s'agit de la rapidité avec laquelle les combustibles tels que les sucres sont décomposés pour permettre le fonctionnement des cellules de l'organisme. Le taux métabolique varie d'une espèce à l'autre et dépend des conditions environnementales et du niveau d'activité d'un organisme.

Transducteur : dispositif qui convertit les signaux électriques en ondes sonores ou vice versa, dans le but de générer ou de recevoir des bruits sous-marins.^{122,123}

Vêlage d'iceberg : processus ou événement qui se produit lorsque de grandes plaques de glace se détachent d'un glacier et tombent dans l'eau.¹²⁴ Les ondes sonores générées par le vêlage peuvent être détectées par des microphones, des séismomètres et des hydrophones, et peuvent renseigner sur la fréquence des vêlages et la taille des icebergs.¹²⁴ Le vêlage des icebergs est l'une des principales sources de bruit sous-marin naturel dans les régions polaires; il peut être extrêmement bruyant et être perçu à des milliers de kilomètres de distance.¹²⁵

Vessie natatoire : organe intérieur rempli d'air utilisé par certains poissons pour contrôler leur flottabilité. La vessie natatoire est également liée à l'oreille interne; elle peut être utilisée pour produire différents sons et agit comme mécanisme de détection des changements de pression acoustique.⁷⁹

Références

1. Weir, C. R., & Dolman, S. J. (2007). Comparative review of the regional marine mammal mitigation guidelines implemented during industrial seismic survey, and guidance towards a worldwide standard. *Journal of International Wildlife Law and Policy*, 10(1), 1–27. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13880290701229838> (en anglais seulement)
2. Looby, A., Riera, A., Cox, K., & Vela, S. (2022). *Grunts, boops, chatters and squeals — fish are noisy creatures*. <https://theconversation.com/grunts-boops-chatters-and-squeals-fish-are-noisy-creatures-178460> (en anglais seulement)
3. Holt, M. M., Noren, D. P., Dunkin, R. C., & Williams, T. M. (2015). Vocal performance affects metabolic rate in dolphins: implications for animals communicating in noisy environments. *Journal of Experimental Biology*, 218(11), 1647–1654. <https://doi.org/10.1242/jeb.122424> (en anglais seulement)
4. Moore, S. E., Reeves, R. R., Southall, B. L., Ragen, T. J., Suydam, R. S., & Clark, C. W. (2012). A new framework for assessing the effects of anthropogenic sound on marine mammals in a rapidly changing arctic. *BioScience*, 62(3), 289–295. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.3.10> (en anglais seulement)
5. Thomsen, F., Mendes, S., Bertucci, F., Breitzke, M., Ciappi, E., Cresci, A., Debusschere, E., Ducatel, C., Folegot, F., Juretzek, C., Lam, F.-P., O'Brien, J., & dos Santos, M. E. (2021). Addressing underwater noise in Europe: Current state of knowledge and future priorities. In *Future Science Brief 7 of the European Marine Board* (Issue October). <https://doi.org/10.5281/zenodo.5534224> (en anglais seulement)
6. Brabandere, S. De. (2019). *What Do You Hear Underwater?* Scientific American. <https://www.scientificamerican.com/article/what-do-you-hear-underwater/> (en anglais seulement)
7. URI Graduate School of Oceanography. (2021). *DOSITS: Discovery of Sound in the Sea*. Discovery of Sound in the Sea. <https://dosits.org/> (en anglais seulement)
8. Samaran, F., Adam, O., & Guinet, C. (2010). Detection range modeling of blue whale calls in Southwestern Indian Ocean. *Applied Acoustics*, 71(11), 1099–1106. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.05.014> (en anglais seulement)
9. Hildebrand, J. (2004). *Sources of Anthropogenic Sound in the Marine Environment*. <https://www.mmc.gov/wp-content/uploads/hildebrand.pdf> (en anglais seulement)
10. Nolet, V. (2017). Understanding Anthropogenic Underwater Noise. *Transport Canada Green Marine Alliance*, 3, 1–6. <https://tc.canada.ca/en/initiatives/oceans-protection-plan/understanding-anthropogenic-underwater-noise> (en anglais seulement)
11. Erbe, C., & Farmer, D. M. (2000). A software model to estimate zones of impact on marine mammals around anthropogenic noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 108(3), 1327. <https://doi.org/10.1121/1.1288939> (en anglais seulement)
12. Webb, P. (2017). *Introduction to Oceanography*. <https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/chapter/6-4-sound/> (en anglais seulement)
13. Vagle, S., Burnham, R. E., O'Neill, C., & Yurk, H. (2021). Variability in Anthropogenic Underwater Noise Due to Bathymetry and Sound Speed Characteristics. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10), 1047. <https://doi.org/10.3390/jmse9101047> (en anglais seulement)
14. Halliday, W. D., Barclay, D., Barkley, A. N., Cook, E., Dawson, J., Hilliard, R. C., Hussey, N. E., Jones, J. M., Juanes, F., Marcoux, M., Niemi, A., Nudds, S., Pine, M. K., Richards, C., Scharffenberg, K., Westdal, K., & Insley, S. J. (2021). Underwater sound levels in the Canadian Arctic, 2014–2019. *Marine Pollution Bulletin*, 168, 112437. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112437> (en anglais seulement)
15. Hebbbar, A. A., Schröder-Hinrichs, J.-U., Mejia, M. Q., Deggim, H., & Pristrom, S. (2020). *Governance of Arctic Shipping* (A. Chircop, F. Goerlandt, C. Aporta, & R. Pelot (Eds.)). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-44975-9> (en anglais seulement)
16. Duda, T. F. (2017). Acoustic signal and noise changes in the Beaufort Sea Pacific Water duct under anticipated future acidification of Arctic Ocean waters. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 142(4), 1926–1933. <https://doi.org/10.1121/1.5006184> (en anglais seulement)
17. Duarte, C. M., Chapuis, L., Collin, S. P., Costa, D. P., Devassy, R. P., Eguluz, V. M., Erbe, C., Gordon, T. A. C., Halpern, B. S., Harding, H. R., Havlik, M. N., Meekan, M., Merchant, N. D., Miksis-Olds, J. L., Parsons, M., Predragovic, M., Radford, A. N., Radford, C. A., Simpson, S. D., ... Juanes, F. (2021). The soundscape of the Anthropocene ocean. *Science*, 371(6529), eaba4658. <https://doi.org/10.1126/science.aba4658> (en anglais seulement)
18. Marine Environment Protection Committee. (2014). *Guidelines for the Reduction of Underwater Noise from Commercial Shipping to Address Adverse Impacts of Marine Life*. MEPC.1/Cir. 6. <https://www.wcoimo.org/localresources/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/833> (en anglais seulement)
19. McKenna, M., Ross, D., Wiggins, S., & Hildebrand, J. (2012). Underwater radiated noise from modern commercial ships. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(1), 92–103. <https://doi.org/10.1121/1.3664100> (en anglais seulement)
20. Cato, D. H. (2014). Shipping noise impacts on marine life. *INTERNOISE 2014 - 43rd International Congress on Noise Control Engineering: Improving the World Through Noise Control*, 1–6. (en anglais seulement)
21. Hildebrand, J. A. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology-Progress Series*, 395, 5–20. <https://doi.org/10.3354/Meps08353> (en anglais seulement)
22. Burnham, R. E., Vagle, S., O'Neill, C., & Trounce, K. (2021). The Efficacy of Management Measures to Reduce Vessel Noise in Critical Habitat of Southern Resident Killer Whales in the Salish Sea. *Frontiers in Marine Science*, 8(July), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.664691> (en anglais seulement)
23. Halliday, W. D., Pine, M. K., Mouy, X., Kortsalo, P., Hilliard, R. C., & Insley, S. J. (2020). The coastal Arctic marine soundscape near Ulukhaktok, Northwest Territories, Canada. *Polar Biology*, 43(6), 623–636. <https://doi.org/10.1007/s00300-020-02665-8> (en anglais seulement)
24. Hermannsen, L., Mikkelsen, L., Tougaard, J., Beedholm, K., Johnson, M., & Madsen, P. T. (2019). Recreational vessels without Automatic Identification System (AIS) dominate anthropogenic noise contributions to a shallow water soundscape. *Scientific Reports*, 9(1), 15477. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51222-9> (en anglais seulement)
25. Lesage, V., Barrette, C., Kingsley, M. C. S., & Sjare, B. (1999). The effect of vessel noise on the vocal behaviour of belugas in the St. Lawrence River Estuary, Canada. *Marine Mammal Science*, 15(1), 65–84. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.1999.tb00782.x> (en anglais seulement)
26. Parsons, M. J. G., Erbe, C., Meekan, M. G., & Parsons, S. K. (2021). A Review and Meta-Analysis of Underwater Noise Radiated by Small (<25 m Length) Vessels. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8), 827. <https://doi.org/10.3390/jmse9080827> (en anglais seulement)
27. Wilson, L., Pine, M. K., & Radford, C. A. (2022). Small recreational boats: a ubiquitous source of sound pollution in shallow coastal habitats. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113295. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113295> (en anglais seulement)

28. Popper, A. N., Smith, M. E., Cott, P. A., Hanna, B. W., MacGillivray, A. O., Austin, M. E., & Mann, D. A. (2005). Effects of exposure to seismic airgun use on hearing of three fish species. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(6), 3958–3971. <https://doi.org/10.1121/1.1904386> (en anglais seulement)
29. Kyhn, L. A., Wisniewska, D. M., Beedholm, K., Tougaard, J., Simon, M., Mosbech, A., & Madsen, P. T. (2019). Basin-wide contributions to the underwater soundscape by multiple seismic surveys with implications for marine mammals in Baffin Bay, Greenland. *Marine Pollution Bulletin*, 138(January 2018), 474–490. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.038> (en anglais seulement)
30. Nieukirk, S. L., Mellinger, D. K., Moore, S. E., Klinck, K., Dziak, R. P., & Goslin, J. (2012). Sounds from airguns and fin whales recorded in the mid-Atlantic Ocean, 1999–2009. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(2), 1102–1112. <https://doi.org/10.1121/1.3672648> (en anglais seulement)
31. Madsen, P. T., Johnson, M., Miller, P. J. O., Aguilar Soto, N., Lynch, J., & Tyack, P. (2006). Quantitative measures of air-gun pulses recorded on sperm whales (*Physeter macrocephalus*) using acoustic tags during controlled exposure experiments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(4), 2366–2379. <https://doi.org/10.1121/1.2229287> (en anglais seulement)
32. Dolman, S. J., Weir, C. R., & Jasny, M. (2009). Comparative review of marine mammal guidance implemented during naval exercises. *Marine Pollution Bulletin*, 58(4), 465–477. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.11.013> (en anglais seulement)
33. Cholewiak, D., DeAngelis, A. I., Palka, D., Corkeron, P. J., & Van Parijs, S. M. (2017). Beaked whales demonstrate a marked acoustic response to the use of shipboard echosounders. *Royal Society Open Science*, 4(12). <http://rsos.royalsocietypublishing.org/content/4/12/170940.abstract> (en anglais seulement)
34. Hildebrand, J. (2005). Impacts of Anthropogenic Sound. *Marine Mammal Research: Conservation beyond Crisis*, 124, 101–124. <https://escholarship.org/content/qt8997q8wj/qt8997q8wj.pdf?i=lnokwc> (en anglais seulement)
35. Fink, D. (2019). A new definition of noise: noise is unwanted and/or harmful sound. Noise is the new 'secondhand smoke'. *178th Meeting of the Acoustical Society of America*, 050002(2019), 050002. <https://doi.org/10.1121/2.0001186> (en anglais seulement)
36. Hatch, L. T., Wahle, C. M., Gedamke, J., Harrison, J., Laws, B., Moore, S. E., Stadler, J. H., & Van Parijs, S. M. (2016). Can you hear me here? Managing acoustic habitat in US waters. *Endangered Species Research*, 30(1), 171–186. <https://doi.org/10.3354/esr00722> (en anglais seulement)
37. Shannon, G., McKenna, M. F., Angeloni, L. M., Crooks, K. R., Fristrup, K. M., Brown, E., Warner, K. A., Nelson, M. D., White, C., Briggs, J., McFarland, S., & Wittemyer, G. (2016). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological Reviews*, 91(4), 982–1005. <https://doi.org/10.1111/brv.12207> (en anglais seulement)
38. Brintjes, R., & Radford, A. N. (2013). Context-dependent impacts of anthropogenic noise on individual and social behaviour in a cooperatively breeding fish. *Animal Behaviour*, 85(6), 1343–1349. (en anglais seulement)
39. Ellison, W. T., Southall, B. L., Clark, C. W., & Frankel, A. S. (2012). A New Context-Based Approach to Assess Marine Mammal Behavioral Responses to Anthropogenic Sounds. *Conservation Biology*, 26(1), 21–28. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01803.x> (en anglais seulement)
40. Gomez, C., Lawson, J. W., Wright, A. J., Buren, A. D., Tollit, D., & Lesage, V. (2016). A systematic review on the behavioural responses of wild marine mammals to noise: The disparity between science and policy. *Canadian Journal of Zoology*, 94(12), 801–819. <https://doi.org/10.1139/cjz-2016-0098> (en anglais seulement)
41. Harris, C. M., Thomas, L., Falcone, E. A., Hildebrand, J., Houser, D., Kvadshem, P. H., Lam, F. P. A., Miller, P. J. O., Moretti, D. J., Read, A. J., Slabbekoorn, H., Southall, B. L., Tyack, P. L., Wartzok, D., & Janik, V. M. (2018). Marine mammals and sonar: Dose-response studies, the risk-disturbance hypothesis and the role of exposure context. *Journal of Applied Ecology*, 55(1), 396–404. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12955> (en anglais seulement)
42. Clark, C. W., Ellison, W. T., Southall, B. L., Hatch, L., Van Parijs, S. M., Frankel, A., & Ponirakis, D. (2009). Acoustic masking in marine ecosystems: Intuitions, analysis, and implication. *Marine Ecology Progress Series*, 395, 201–222. <https://doi.org/10.3354/meps08402> (en anglais seulement)
43. Erbe, C., Reichmuth, C., Cunningham, K., Lucke, K., & Dooling, R. (2016). Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. *Marine Pollution Bulletin*, 103(1–2), 15–38. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.007> (en anglais seulement)
44. Hatch, L., Clark, C., Van Parijs, S., Frankel, A., & Ponirakis, D. (2012). Quantifying loss of acoustic communication space for right whales in and around a U.S. National Marine Sanctuary. *Conservation Biology*, 26(6), 983–994. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01908.x> (en anglais seulement)
45. Vergara, V., Dearden, A., Chapman, J., & Miller, A. (2021). Understanding Underwater Noise Pollution from Marine Vessels and its Impact on Whales, Dolphins and Porpoises. In *Ocean Watch Spotlight* (Issue January). <https://assets.ctfassets.net/> (en anglais seulement)
46. Lucke, K., Siebert, U., Lepper, P. A., & Blanchet, M.-A. (2009). Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(6), 4060–4070. <https://doi.org/10.1121/1.3117443> (en anglais seulement)
47. Popper, A. N., Hawkins, A. D., Fay, R. R., Mann, D. A., Bartol, S., Carlson, T. J., Coombs, S., Ellison, W. T., Gentry, R. L., Halvorsen, M. B., Lokkeborg, S., Rogers, P. H., Southall, B. L., Zeddies, D. G., & Tavolga, W. N. (2014). Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI. In *Springer* (Issue July 2015). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06659-2> (en anglais seulement)
48. Southall, E. B. L., Finneran, J. J., Reichmuth, C., Nachtigall, P. E., Ketten, D. R., Bowles, A. E., Ellison, W. T., Nowacek, D. P., & Tyack, P. L. (2019). Marine mammal noise exposure criteria: Updated scientific recommendations for residual hearing effects. *Aquatic Mammals*, 45(2), 125–232. <https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125> (en anglais seulement)
49. Debusschere, E., Hostens, K., Adriaens, D., Ampe, B., Botteldooren, D., De Boeck, G., De Muynck, A., Sinha, A. K., Vandendriessche, S., Van Hoorebeke, L., Vincx, M., & Degraer, S. (2016). Acoustic stress responses in juvenile sea bass *Dicentrarchus labrax* induced by offshore pile driving. *Environmental Pollution*, 208(2016), 747–757. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.10.055> (en anglais seulement)
50. Nichols, T. A., Anderson, T. W., & Širović, A. (2015). Intermittent noise induces physiological stress in a coastal marine fish. *PLoS ONE*, 10(9), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131917> (en anglais seulement)
51. Rolland, R. M., Parks, S. E., Hunt, K. E., Castellote, M., Corkeron, P. J., Nowacek, D. P., Wasser, S. K., & Kraus, S. D. (2012). Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1737), 2363–2368. <https://doi.org/10.1098/RSPB.2011.2429> (en anglais seulement)
52. Simpson, S. D., Radford, A. N., Nedelec, S. L., Ferrari, M. C. O., Chivers, D. P., McCormick, M. I., & Meekan, M. G. (2016). Anthropogenic noise increases fish mortality by predation. *Nature Communications*, 7, 10544. <https://doi.org/10.1038/ncomms10544> (en anglais seulement)

53. Fitzgibbon, Q. P., Day, R. D., McCauley, R. D., Simon, C. J., & Semmens, J. M. (2017). The impact of seismic air gun exposure on the haemolymph physiology and nutritional condition of spiny lobster, *Jasus edwardsii*. *Marine Pollution Bulletin*, 125(1–2), 146–156. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.004> (en anglais seulement)
54. Johansson, K. (2011). *Impact of anthropogenic noise on fish behaviour and ecology* [Sveriges lantbruksuniversitet]. <https://pub.epsilon.slu.se/8366/> (en anglais seulement)
55. Day, R. D., McCauley, R. D., Fitzgibbon, Q. P., Hartmann, K., & Semmens, J. M. (2017). Exposure to seismic air gun signals causes physiological harm and alters behavior in the scallop *Pecten fumatus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(40), E8537. <https://doi.org/10.1073/pnas.1700564114> (en anglais seulement)
56. Cox, K., Brennan, L. P., Gerwing, T. G., Dudas, S. E., & Juanes, F. (2018). Sound the alarm: A meta-analysis on the effect of aquatic noise on fish behavior and physiology. *Global Change Biology*, 24(7), 3105–3116. <https://doi.org/10.1111/gcb.14106> (en anglais seulement)
57. Hiley, H., Janik, V., & Götz, T. (2021). Behavioural reactions of harbour porpoises *Phocoena phocoena* to startle-eliciting stimuli: movement responses and practical applications. *Marine Ecology Progress Series*, 672, 223–241. <https://doi.org/10.3354/meps13757> (en anglais seulement)
58. Bejder, L., Samuels, A. M. Y., Whitehead, H. A. L., Gales, N., Mann, J., Connor, R., Heithaus, M., Watson-Capps, J., Flaherty, C., & Krützen, M. (2006). Decline in relative abundance of bottlenose dolphins exposed to long-term disturbance. *Conservation Biology*, 20(6), 1791–1798. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00540.x> (en anglais seulement)
59. Falcone, E. A., Schorr, G. S., Watwood, S. L., DeRuiter, S. L., Zerbini, A. N., Andrews, R. D., Morrissey, R. P., & Moretti, D. J. (2017). Diving behaviour of cuvier's beaked whales exposed to two types of military sonar. *Royal Society Open Science*, 4(8). <https://doi.org/10.1098/rsos.170629> (en anglais seulement)
60. Tervo, O. M., Blackwell, S. B., Ditlevsen, S., Conrad, A. S., Samson, A. L., Garde, E., Hansen, R. G., & Mads Peter, H. J. (2021). Narwhals react to ship noise and airgun pulses embedded in background noise. *Biology Letters*, 17(11). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2021.0220> (en anglais seulement)
61. Lusseau, D., & Bejder, L. (2007). The Long-term Consequences of Short-term Responses to Disturbance Experiences from Whalewatching Impact Assessment. *International Journal of Comparative Psychology*, 20, 228–236. (en anglais seulement)
62. Erbe, C., Marley, S. A., Schoeman, R. P., Smith, J. N., Trigg, L. E., & Embling, C. B. (2019). The Effects of Ship Noise on Marine Mammals—A Review. *Frontiers in Marine Science*, 6, 606. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00606> (en anglais seulement)
63. Nabe-Nielsen, J., van Beest, F. M., Grimm, V., Sibly, R. M., Teilmann, J., & Thompson, P. M. (2018). Predicting the impacts of anthropogenic disturbances on marine populations. *Conservation Letters*, 11(5), e12563. <https://doi.org/10.1111/conl.12563> (en anglais seulement)
64. Peng, C., Zhao, X., & Liu, G. (2015). Noise in the Sea and Its Impacts on Marine Organisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 12304–12323. <https://doi.org/10.3390/ijerph121012304> (en anglais seulement)
65. Slabbekoorn, H., Dalen, J., Haan, D., Winter, H. V., Radford, C., Ainslie, M. A., Heaney, K. D., Kooten, T., Thomas, L., & Harwood, J. (2019). Population-level consequences of seismic surveys on fishes: An interdisciplinary challenge. *Fish and Fisheries*, 20(4), 653–685. <https://doi.org/10.1111/faf.12367> (en anglais seulement)
66. Branstetter, B. K., Trickey, J. S., Bakhtiari, K., Black, A., Aihara, H., & Finneran, J. J. (2013). Auditory masking patterns in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) with natural, anthropogenic, and synthesized noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(3), 1811–1818. <https://doi.org/10.1121/1.4789939> (en anglais seulement)
67. Sivle, L. D., Kvadsheim, P. H., Fahlman, A., Lam, F. P. A., Tyack, P. L., & Miller, P. J. O. (2012). Changes in dive behavior during naval sonar exposure in killer whales, long-finned pilot whales, and sperm whales. *Frontiers in Physiology*, 3(400), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00400> (en anglais seulement)
68. Todd, S., Stevick, P., Lien, J., Marques, F., & Ketten, D. (1996). Behavioural effects of exposure to underwater explosions in humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie*, 74(9), 1661–1672. (en anglais seulement)
69. Erbe, C. (2012). The effects of underwater noise on marine mammals. In A. N. Popper & A. D. Hawkins (Eds.), *The Effects of Noise on Aquatic Life. Advances in Experimental Medicine and Biology* 730 (pp. 17–22). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7311-5_3 (en anglais seulement)
70. Weilgart, L. S. (2007). The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Canadian Journal of Zoology*, 85(11), 1091–1116. <https://doi.org/10.1139/Z07-101> (en anglais seulement)
71. Ellison, W. T., Racca, R., Clark, C. W., Streever, B., Frankel, A. S., Fleishman, E., Angliss, R., Berger, J., Ketten, D., Guerra, M., Leu, M., McKenna, M., Sformo, T., Southall, B., Suydam, R., & Thomas, L. (2016). Modeling the aggregated exposure and responses of bowhead whales *Balaena mysticetus* to multiple sources of anthropogenic underwater sound. *Endangered Species Research*, 30(1), 95–108. <https://doi.org/10.3354/esr00727> (en anglais seulement)
72. Harwood, J., King, S., Booth, C., Donovan, C., Schick, R. S., Thomas, L., New, L., Popper, A. N., & Hawkins, A. (2016). Understanding the population consequences of acoustic disturbance for marine mammals. In A. N. Popper & A. Hawkins (Eds.), *The Effects of Noise on Aquatic Life II* (pp. 417–423). Springer Verlag. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-2981-8_49 (en anglais seulement)
73. Brown, N. A. W., Halliday, W. D., Balshine, S., & Juanes, F. (2021). Low-amplitude noise elicits the Lombard effect in plainfin midshipman mating vocalizations in the wild. *Animal Behaviour*, 181, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2021.08.025> (en anglais seulement)
74. Ivanova, S. V., Kessel, S. T., Landry, J., O'Neill, C., McLean, M. F., Espinoza, M., Vagle, S., Hussey, N. E., & Fisk, A. T. (2018). Impact of vessel traffic on the home ranges and movement of shorthorn sculpin (*Myoxocephalus scorpius*) in the nearshore environment of the high Arctic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 75(12), 2390–2400. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2017-0418> (en anglais seulement)
75. Ivanova, S. V., Kessel, S. T., Espinoza, M., McLean, M. F., O'Neill, C., Landry, J., Hussey, N. E., Williams, R., Vagle, S., & Fisk, A. T. (2019). Shipping alters the movement and behavior of Arctic cod (*Boreogadus saida*), a keystone fish in Arctic marine ecosystems. *Ecological Applications*, 30(3), e02050. <https://doi.org/10.1002/eap.2050> (en anglais seulement)
76. Kennedy, E., Bennett, L., Campana, S., Clark, K., Comeau, P., Fowler, M., Gjerdrum, C., Grégoire, F., Hannah, C., Harris, L., Harrison, G., James, M., Jonsen, I., Johnson, C., Law, B., Li, W. K. W., Melvin, G., Milligan, T., Paul, S., Worcester, T. (2011). The Marine Ecosystem of Georges Bank. *Canadian Science Advisory Secretariat Research Document*, 2011/059, 246. <https://publications.gc.ca/site/eng/9.577845/publication.html> (en anglais seulement)
77. Webster, F., Wise, B., Kempfs, H., & Fletcher, W. (2018). Risk Assessment of the potential impacts of seismic air gun surveys on marine finfish and invertebrates in Western Australia. In *Fisheries research reports* (Issue 288). https://library.dpird.wa.gov.au/fr_rr/65 (en anglais seulement)
78. de Jong, K., Forland, T. N., Amorim, M. C. P., Rieucou, G., Slabbekoorn, H., & Sivle, L. D. (2020). Predicting the effects of anthropogenic noise on fish reproduction. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 9. <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09598-9> (en anglais seulement)

79. Slabbekoorn, H., Bouton, N., van Opzeeland, I., Coers, A., ten Cate, C., & Popper, A. N. (2010). A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(7), 419–427. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.04.005> (en anglais seulement)
80. Nelms, S. E., Piniak, W. E. D. D., Weir, C. R., & Godley, B. J. (2016). Seismic surveys and marine turtles: An underestimated global threat? *Biological Conservation*, 193(November 2015), 49–65. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.10.020> (en anglais seulement)
81. *Effects of noise on marine life: Study finds that turtles are among animals vulnerable to hearing loss -- ScienceDaily.* (n.d.-cb). Retrieved July 28, 2022, from <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/03/220302190004.htm> (en anglais seulement)
82. DeRuiter, S. L., & Larbi Doukara, K. (2012). Loggerhead turtles dive in response to airgun sound exposure. *Endangered Species Research*, 16(1), 55–63. <https://doi.org/10.3354/esr00396> (en anglais seulement)
83. Morley, E. L., Jones, G., & Radford, A. N. (2014). The importance of invertebrates when considering the impacts of anthropogenic noise. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1776), 20132683. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2683> (en anglais seulement)
84. Jeffrey, M. L., Brooke, M. C.-E., & Douglas, H. C. (2002). Sound detection in situ by the larvae of a coral-reef damselfish (Pomacentridae). *Marine Ecology Progress Series*, 232, 259–268. <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v232/p259-268/> (en anglais seulement)
85. Moriyasu, M., Allain, R., Benhalima, K., & Claytor, R. (2004). Effects of seismic and marine noise on invertebrates: A literature Review. *CSAS Research Document*, 2004/126, 50. (en anglais seulement)
86. Roberts, L., Harding, H. R., Voellmy, I., Bruintjes, R., Simpson, S. D., Radford, A. N., Breithaupt, T., & Elliott, M. (2016). Exposure of benthic invertebrates to sediment vibration: From laboratory experiments to outdoor simulated pile-driving. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 27(1). <https://doi.org/10.1121/2.0000324> (en anglais seulement)
87. Solé, M., Kaifu, K., Mooney, T. A., Nedelec, S. L., Olivier, F., Radford, A. N., Vazzana, M., Wale, M. A., Semmens, J. M., Simpson, S. D., Buscaino, G., Hawkins, A., Aguilar de Soto, N., Akamatsu, T., Chauvaud, L., Day, R. D., Fitzgibbon, Q., McCauley, R. D., & André, M. (2023). Marine invertebrates and noise. *Frontiers in Marine Science*, 10(March), 1–34. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1129057> (en anglais seulement)
88. Day, R. D., McCauley, R. D., Fitzgibbon, Q. P., Hartmann, K., & Semmens, J. M. (2019). Seismic air guns damage rock lobster mechanosensory organs and impair righting reflex. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 286(1907), 20191424. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1424> (en anglais seulement)
89. Murchy, K. A., Davies, H., Shafer, H., Cox, K., Nikolich, K., & Juanes, F. (2020). Impacts of noise on the behavior and physiology of marine invertebrates: A meta-analysis. *178th Meeting of the Acoustical Society of America*, 39(2019), 040002. <https://doi.org/10.1121/2.0001217> (en anglais seulement)
90. Tidau, S., & Briffa, M. (2016). Review on behavioral impacts of aquatic noise on crustaceans. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 27(1). <https://doi.org/10.1121/2.0000302> (en anglais seulement)
91. McCauley, R. D., Day, R. D., Swadling, K. M., Fitzgibbon, Q. P., Watson, R. A., & Semmens, J. M. (2017). Widely used marine seismic survey air gun operations negatively impact zooplankton. *Nature Ecology & Evolution*, 1(7), 0195. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0195> (en anglais seulement)
92. Anderson Hansen, K., Hernandez, A., Mooney, T. A., Rasmussen, M. H., Sørensen, K., & Wahlberg, M. (2020). The common murre (*Uria aalge*), an auk seabird, reacts to underwater sound . *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(6), 4069–4074. <https://doi.org/10.1121/10.0001400> (en anglais seulement)
93. Larsen, O. N., Wahlberg, M., & Christensen-Dalsgaard, J. (2020). Amphibious hearing in a diving bird, the great cormorant (*Phalacrocorax carbo sinensis*). *Journal of Experimental Biology*, 223(6). <https://doi.org/10.1242/jeb.217265> (en anglais seulement)
94. Mooney, T. A., Smith, A., Larsen, O. N., Hansen, K. A., & Rasmussen, M. (2020). A field study of auditory sensitivity of the Atlantic puffin, *Fratercula arctica*. *Journal of Experimental Biology*, 223(15), 1–9. <https://doi.org/10.1242/jeb.228270> (en anglais seulement)
95. Pêches et Océans Canada. (2017). Plan d'action pour les épaulards (*Orcinus orca*) résidents du nord et du sud au Canada. In *Série des plans d'action de la Loi sur les espèces en péril*. Pêches et Océans Canada. <https://publications.gc.ca/site/fra/9.828620/publication.html>
96. Pêches et Océans Canada. (2020). Plan d'action pour réduire l'impact du bruit sur le béluga et les autres mammifères marins en péril de l'estuaire du Saint-Laurent. In *Série de Plans d'action de la Loi sur les espèces en péril*. Pêches et Océans Canada. <https://publications.gc.ca/site/fra/9.884546/publication.html>
97. Kochanowicz, Z., Dawson, J., Halliday, W. D., Sawada, M., Copland, L., Carter, N. A., Nicoll, A., Ferguson, S. H., Heide-Jørgensen, M. P., Marcoux, M., Watt, C., & Yurkowski, D. J. (2021). Using western science and Inuit knowledge to model ship-source noise exposure for cetaceans (marine mammals) in Tallurutiup Imanga (Lancaster Sound), Nunavut, Canada. *Marine Policy*, 130, 104557. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104557> (en anglais seulement)
98. Williams, R., Erbe, C., Dewantama, I. M. I., & Hendrawan, I. G. (2018). Effect on ocean noise: Nyepi, a Balinese day of silence. *Oceanography*, 31(2). <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.207> (en anglais seulement)
99. Askitas, N., & Verheyden, B. (2020). Lockdown Strategies , Mobility Patterns and COVID-19. *Journal of Sustainable Tourism*, 1–20. (en anglais seulement)
100. Millefiori, L. M., Braca, P., Zissis, D., Spiliopoulos, G., Marano, S., Willett, P. K., & Carniel, S. (2021). COVID-19 impact on global maritime mobility. *Scientific Reports*, 11(18039), 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97461-7> (en anglais seulement)
101. Ryan, K. L., Desfosses, C. J., Denham, A. M., Taylor, S. M., & Jackson, G. (2021). Initial insights on the impact of COVID-19 on boat-based recreational fishing in Western Australia. *Marine Policy*, 132(April), 104646. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104646> (en anglais seulement)
102. Verschuur, J., Koks, E. E., & Hall, J. W. (2021). Observed impacts of the COVID-19 pandemic on global trade. *Nature Human Behaviour*, 5(3), 305–307. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01060-5> (en anglais seulement)
103. Gabriele, C. M., Ponirakis, D. W., Klinck, H., & Gabriele, C. M. (2021). *Underwater Sound Levels in Glacier Bay During Reduced Vessel Traffic Due to the COVID-19 Pandemic*. 8(June), 1–14. <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2021.674787/full> (en anglais seulement)
104. Thomson, D. J. M., & Barclay, D. R. (2020). *Real-time observations of the impact of COVID-19 on underwater noise Real-time observations of the impact of COVID-19 on underwater noise a*). 3390. <https://doi.org/10.1121/10.0001271> (en anglais seulement)
105. Cambridge University Press. (n.d.-cz). *abiotic*. Cambridge Academic Content Dictionary. Retrieved November 27, 2023, from <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/abiotic> (en anglais seulement)
106. Intergovernmental Oceanographic Commission UNESCO. (2022). *Multiple Ocean Stressors: A Scientific Summary for Policy Makers* (P. W. Boyd, S. Dupont, & K. Isensee (Eds.); IOC Inform). UNESCO. <https://doi.org/10.25607/OBP-1724> (en anglais seulement)
107. Reichelt-brushett, A. (2023). *Marine Pollution – Monitoring, Management and Mitigation* (A. Reichelt-Brushett (Ed.)). Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-10127-4> (en anglais seulement)
108. Merriam-Webster. (n.d.-dc). *amplitude*. Retrieved October 4, 2023, from <https://www.merriam-webster.com/dictionary/amplitude> (en anglais seulement)
109. Cambridge University Press. (n.d.-dd). *biotic*. Cambridge Academic Content Dictionary. Retrieved October 4, 2023, from <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/biotic> (en anglais seulement)

110. Ressources naturelles Canada. (2015). *Cartographie structurale et analyse des formes de terrain*. Ressources éducatives - Applications. <https://ressources-naturelles.canada.ca/cartes-outils-et-publications/imagerie-satellitaire-et-photos-aeriennes/tutoriel-notions-fondamentales-teledection/ressources-educatives-applications/cartographie-structurale-et-analyse-des-formes>
111. Environnement Canada. (2013). *Guide de météo marine national*. <https://publications.gc.ca/site/fra/9.677060/publication.html>
112. The Editors of Encyclopædia Britannica. (2023). *decibel*. <https://www.britannica.com/science/decibel> (en anglais seulement)
113. Merriam-Webster. (2023). *logarithmic scale*. [https://www.merriam-webster.com/dictionary/logarithmic scale](https://www.merriam-webster.com/dictionary/logarithmic%20scale) (en anglais seulement)
114. Environnement et Changement climatique Canada. (2023). *Messagerie provisoire du gouvernement du Canada sur les effets cumulatifs*. <https://www.canada.ca/fr/services/environnement/effets-cumulatif/message-provisoire.html>
115. Rienstra, S. W., & Hirschberg, A. (2021). *An Introduction to Acoustics*. Eindhoven University of Technology. (en anglais seulement)
116. Arduin, F., Stopa, J. E., Chapron, B., Collard, F., Husson, R., Jensen, R. E., Johannessen, J., Mouche, A., Passaro, M., Quartly, G. D., Swail, V., & Young, I. (2019). Observing sea states. *Frontiers in Marine Science*, 6(APR), 1–29. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00124> (en anglais seulement)
117. The Editors of Encyclopædia Britannica. (n.d.-dl). *Seismic Survey*. Encyclopædia Britannica. Retrieved September 1, 2023, from <https://www.britannica.com/science/seismic-survey> (en anglais seulement)
118. The Editors of Encyclopædia Britannica. (n.d.-dm). *salinity*. Retrieved October 5, 2023, from <https://www.britannica.com/science/salinity> (en anglais seulement)
119. Rako-Gospić, N., & Picciulin, M. (2019). Underwater noise: Sources and effects on marine life. In *World Seas: An Environmental Evaluation Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts* (pp. 367–389). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00023-1> (en anglais seulement)
120. Martin, S. B., Lucke, K., & Barclay, D. R. (2020). Techniques for distinguishing between impulsive and non-impulsive sound in the context of regulating sound exposure for marine mammals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 147(4), 2159–2176. <https://doi.org/10.1121/10.0000971> (en anglais seulement)
121. Richards, J. G. (2010). Metabolic rate suppression as a mechanism for surviving environmental challenge in fish. *Progress in Molecular and Subcellular Biology*, 49, 113–139. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02421-4_6 (en anglais seulement)
122. Agarwal, A., & Lang, J. H. (2005). *Foundations of Analog and Digital Electronic Circuits*. Morgan Kaufmann Publishers. (en anglais seulement)
123. Butler, J. L., & Sherman, C. H. (2016). *Transducers and Arrays for Underwater Sound*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-39044-4> (en anglais seulement)
124. Overgaard, E. (2022). Underwater Sounds Help Reveal Extent of Glacial Calving. *Eos*, 103. <https://doi.org/10.1029/2022EO220559> (en anglais seulement)
125. Podolskiy, E. A. (2022). *What the sounds of iceberg calving can tell us*. The Arctic Ocean: Looking below the Surface. <https://www.arcticwwf.org/the-circle/stories/what-the-sounds-of-iceberg-calving-can-tell-us/> (en anglais seulement)

