

# LE BRUIT EN MER

## Développement des activités maritimes et protection de la faune marine

Frédéric Schneider et Hervé Glotin, coord.

Préface d'Annick Girardin, ministre de la Mer





# Le bruit en mer

Développement des activités maritimes  
et protection de la faune marine

Frédéric Schneider et Hervé Glotin, coord.

Éditions Quæ  
RD 10, 78026 Versailles Cedex

## Collection Synthèses

Les productions fruitières à l'heure du changement climatique  
Risques et opportunités en régions tempérées

J.-M. Legave, coord.  
2022, 464 p.

Blé dur  
Synthèse des connaissances pour une filière durable  
J. Abécassis, J. Massé, A. Allaoua, coord.  
2021, 320 p.

One health, une seule santé  
Théorie et pratique des approches intégrées de la santé  
J. Zinsstag, E. Schelling, D. Waltner-Toews, M. A. Whittaker, M. Tanner, coord.  
2020, 584 p.

Alerter la population face aux crues rapides  
Compréhension et évaluation d'un processus en mutation  
J. Douvinet  
2020, 256 p.

L'eau en milieu agricole  
Outils et méthodes pour une gestion intégrée et territoriale  
D. Leenhardt, M. Voltz, O. Barreteau, coord.  
2020, 288 p.

Biomasse  
Une histoire de richesse et de puissance  
B. Daviron  
2020, 392 p.

Agriculture et qualité de l'air  
Comprendre, évaluer, agir  
C. Bedos, S. Générumont, J.-F. Castell, P. Cellier, coord.  
2019, 324 p.

Consommation et digestion des végétaux  
Rôles des microbiotes et fonctions essentielles à la biodiversité  
G. Fonty, A. Bernalier-Donadille, E. Forano, P. Mosoni  
2019, 176 p.

Éditions Quæ  
RD 10  
78026 Versailles Cedex

[www.quae.com](http://www.quae.com)  
[www.quae-open.com](http://www.quae-open.com)

© Éditions Quæ, 2022

ISBN papier : 978-2-7592-3451-6  
ISBN PDF : 978-2-7592-3452-3  
ISBN ePub : 978-2-7592-3453-0

Pour toutes questions, remarques ou suggestions : [quae-numerique@quae.fr](mailto:quae-numerique@quae.fr)

# Sommaire

---

<b>Préface</b> .....	5
<b>Introduction</b> .....	7

## PARTIE I

### ÉTAT DE LA RECHERCHE SUR LE BRUIT ANTHROPIQUE EN MER ET SES EFFETS SUR LA FAUNE MARINE

<b>Chapitre 1. Acoustique sous-marine et environnement</b> .....	13
Évaluation des zones d'impact physiologique de la sismique sur les mammifères marins .....	13
Synthèse de la connaissance scientifique sur les effets sonores des éoliennes posées et flottantes sur la faune marine .....	22
Paysages sonores marins, vie marine et bruit anthropique.....	32
<b>Chapitre 2. Pollution sonore marine et réglementation</b> .....	43
De la reconnaissance juridique de la pollution sonore marine à la réglementation des activités anthropiques génératrices de bruit en mer .....	43
Le cadre réglementaire européen sur le bruit sous-marin .....	63
Évaluation de la pollution sonore pour la directive-cadre « stratégie pour le milieu marin » .....	70

## PARTIE II

### EFFORTS VISANT À RÉDUIRE LE BRUIT ANTHROPIQUE EN MER ET À LIMITER SES IMPACTS SUR LA FAUNE MARINE

<b>Chapitre 3. Guides méthodologiques et leviers d'actions</b> .....	79
Exemples de leviers d'actions participant à la réduction du bruit et des collisions dans une aire marine protégée : le Sanctuaire Pelagos.....	79
Guide méthodologique de l'ACCOBAMS : Orientations pour la mise en place de mesures d'atténuation de l'impact du bruit sous-marin .....	88
Le guide relatif au bruit sous-marin d'origine anthropique élaboré par le ministère de la Transition écologique .....	95
<b>Chapitre 4. Solutions technologiques</b> .....	97
BOMBYX2 : Profileurs OSEAN, acoustique sous-marine et système d'alerte anticollision de cétacés .....	97
REPCET® : de la gestion du risque de collisions navires-cétacés à la lutte contre le bruit anthropique en mer.....	104
Le projet LIFE-PIAQUO.....	110
Le projet SATURN .....	119

<b>Chapitre 5. Réponses administratives</b> .....	127
Les efforts du Canada pour réduire le bruit sous-marin produit par les navires .....	127
Le pilotage pour la limitation des impacts des émissions acoustiques en mer — Un sujet complexe qui mobilise l’intelligence du collectif national sur le bruit sous-marin .....	134
Le bruit en mer, nouvel enjeu environnemental du préfet maritime .....	137
<b>Conclusion générale</b> .....	143
I. Le diagnostic .....	145
II. Thérapeutique .....	149
<b>Liste des contributeurs</b> .....	155
<b>Crédits iconographiques</b> .....	157

# Préface

---

Les écosystèmes marins sont parcourus par des flux d'informations dont la collecte et l'utilisation conditionnent la capacité des animaux à y survivre, à y grandir et à s'y reproduire. Parmi ces flux d'informations, il y a les sons. Or, contrairement à ce que l'on a longtemps pensé, le monde sous-marin n'est pas le monde du silence et les sons constituent une source d'informations essentielles pour les animaux marins.

Au cours des dernières décennies, le développement des activités humaines en mer s'est accompagné d'une augmentation du niveau de bruit de fond dans la plupart des écosystèmes marins, et plus particulièrement dans ceux situés à proximité des côtes. L'origine de ces nuisances est multiple, en lien notamment avec la navigation, les activités portuaires ou de loisir. En outre, des sources de pollution sonore plus ponctuelles, mais également plus aiguës, se sont développées (exploration sismique, construction d'installations en mer), et font aujourd'hui l'objet d'une attention toute particulière.

La réduction des nuisances sonores en mer est un sujet sur lequel la France s'est fortement mobilisée ces dernières années, particulièrement dans le cadre de sa politique de planification des espaces maritimes. Le bruit sous-marin est désormais reconnu au plan réglementaire européen et national comme pouvant générer des impacts sur de nombreuses espèces marines (et pas uniquement sur des espèces emblématiques telles que les cétacés). Dès 2019, les documents stratégiques de façade (DSF) ont précisé les objectifs à mettre en place afin de réduire l'impact acoustique des activités en mer. La pollution sonore est désormais intégrée dans les études d'impact environnemental au même titre que les autres sources de pollution. Par ailleurs, la France s'est engagée avec l'Union européenne pour soutenir le Canada qui propose que le bruit sous-marin intègre l'agenda international et fasse l'objet de travaux en vue d'une prochaine réglementation de l'Organisation maritime internationale.

Afin d'accompagner cette démarche, le ministère de la Transition écologique et le ministère de la Mer ont produit en 2020 un guide qui liste les sources de nuisances sonores d'origine anthropique, recense les informations disponibles et explicite les effets sur la faune marine. Ce guide établit des préconisations visant à mieux évaluer et maîtriser ces impacts et il présente les moyens disponibles pour les éviter, les réduire, voire les compenser. Avec cet outil, nous ne nous contentons pas de fixer des normes, nous accompagnons les usagers dans la recherche de solutions.

L'administration durable de la mer implique une forte capacité d'anticipation de son évolution, de manière à en planifier et à en réglementer les usages. Atteindre cet objectif suppose le développement d'une connaissance scientifique résolument finalisée, visant à la production de solutions. Elle repose également sur une stratégie

qui favorise les synergies entre les mondes des sciences, de l'industrie, du droit et de l'économie. Dans ce contexte, l'état des connaissances et de la réglementation présenté dans cet ouvrage forme une contribution indispensable à l'émergence de solutions. Il illustre parfaitement la puissance des approches pluridisciplinaires.

Je remercie les contributeurs à ce colloque pour s'être emparés de ce sujet et je forme des vœux de complète réussite, dans notre intérêt à tous, quant aux travaux engagés sur un sujet complexe, préoccupant et pour lequel il est vital de développer des solutions concrètes.

Annick Girardin, ministre de la Mer

# Introduction

---

Frédéric Schneider, Hervé Glotin

« Les moindres bruits se transmettaient avec une vitesse à laquelle l'oreille n'est pas habituée sur la terre. En effet, l'eau est pour le son un meilleur véhicule que l'air, et s'y propage avec une rapidité quadruple. »

Jules Verne,  
*Vingt Mille Lieues sous les mers*, 1869-1870

Bien qu'ici décrite dans une œuvre fantastique, ce pouvoir de l'eau à propager le son quatre fois plus vite que l'air constitue une réalité scientifique.

Or, en tendant l'oreille sous la surface, on se rend compte qu'aux bruits naturellement présents dans les mers et océans s'ajoutent des bruits d'origine anthropique. Si ces bruits en mer s'écrivent généralement au pluriel, c'est que leurs sources sont variées : physiques, biologiques et anthropiques. Les sources physiques comprennent le vent, les vagues, la houle, les courants, les séismes, la tectonique des plaques, la pluie ou encore la glace, tandis que les sources biologiques sont des vocalises ou des clics émis par les animaux marins pour communiquer, s'orienter ou chercher leurs aliments depuis la nuit des temps. Quant aux sources anthropiques, elles sont exponentiellement croissantes en nombre et en énergie, du transport maritime aux sports nautiques motorisés, des prospections sismiques à l'exploitation des éoliennes *offshore* et bientôt des ressources minérales des grands fonds marins.

Au sein même des bruits en mer d'origine anthropique, plusieurs distinctions sont à opérer entre les bruits volontaires, comme ceux de la prospection sismique pour l'exploration pétrolière et gazière, et les bruits involontaires, tels que générés par le trafic maritime, mais aussi entre les bruits impulsifs, par exemple provoqués par battage des pieux d'éoliennes en mer, et les bruits plus réguliers voire stationnaires durant d'autres opérations ou la phase de production sur le moyen et long terme.

Derrière cette diversité, les bruits en mer liés au développement des activités maritimes ont néanmoins ceci en commun de représenter une menace, plus ou moins importante, pour la faune marine, de la mégafaune (par exemple, les mammifères marins) aux poissons, et potentiellement tout organisme qui réagit à son milieu. De façon plus générale, les bruits en mer d'origine anthropique constituent une nouvelle forme de pollution du milieu marin, en l'occurrence sonore, pouvant dès lors justifier l'emploi du singulier.

Sujet de recherche à part entière dans le domaine des sciences dures depuis plusieurs années, notamment au Canada et aux États-Unis, le bruit anthropique en mer est depuis peu saisi par la recherche en droit en tant que pollution marine.

Devenu un sujet de préoccupation à l'échelle mondiale, comme en témoigne le leadership du gouvernement canadien sur le bruit sous-marin généré par les navires devant l'OMI (Organisation maritime internationale), le bruit en mer est en passe de devenir, plus généralement, un enjeu environnemental majeur dans les zones maritimes particulièrement exposées à la pollution sonore, spécialement dans le Sanctuaire Pelagos en Méditerranée.

En France, un ensemble d'acteurs de la gouvernance maritime se sont emparés de la question, allant des ministères concernés et de la préfecture maritime de la Méditerranée jusqu'à des ONG œuvrant pour la protection de l'environnement, en passant par les acteurs économiques porteurs de solutions technologiques.

Forte de ce constat, l'université de Toulon a organisé un colloque sur le bruit en mer – inédit en France –, destiné à promouvoir des interactions interdisciplinaires entre chercheurs, acteurs publics, société civile et acteurs économiques en vue de dégager des solutions visant à mieux concilier développement des activités maritimes et protection de la faune marine.

Le présent ouvrage fait suite à ce colloque tenu à la faculté de droit de Toulon, le 4 juin 2021, sous le haut patronage de la ministre de la Mer, Annick Girardin, qui en signe la préface.

La première partie de l'ouvrage dresse un état de la recherche sur le bruit anthropique en mer et ses effets sur la faune marine. Les relations entre acoustique sous-marine et environnement sont appréhendées au travers d'activités maritimes générant une pollution sonore intentionnelle, telles les campagnes sismiques, ou au contraire involontaire, comme le développement des éoliennes *offshore* et, plus largement, les projets d'énergies marines renouvelables (EMR), ici volontairement peu abordés car spécifiquement traités par un ouvrage complémentaire dans la collection *Matière à débattre et décider*<sup>1</sup>. Il sera aussi question des paysages sonores marins, dans lesquels le bruit anthropique est désormais reconnu comme une menace mondiale pour les écosystèmes marins. Si les mammifères marins constituent les principales victimes de la pollution acoustique, il convient également de tenir compte des impacts des sons anthropiques sur les poissons, les reptiles et les invertébrés, tant l'information acoustique dans les mers et océans est dominante dans leur système sensoriel. Des répercussions potentielles sur l'ensemble des écosystèmes marins et leurs

---

1. Chauvaud, S., Chauvaud, L., Jolivet, A. (coord.), 2018. *Impacts des sons anthropiques sur la faune marine*. Éditions Quæ, collection *Matière à débattre et décider*, 112 p.

services rendus, en particulier combinées aux changements climatiques, sont aussi à envisager. Maîtriser la pollution marine de sources sonores et les risques associés implique également une réglementation adaptée, que ce soit à l'échelle internationale, européenne ou nationale. C'est dans cette optique qu'est analysé le cadre juridique du bruit sous-marin d'origine anthropique, en partant du niveau international et national, avant d'envisager l'échelon européen, et notamment l'évaluation de la pollution sonore au titre de la directive-cadre « stratégie pour le milieu marin » (DCSMM).

À partir de cet état de l'art, la seconde partie de l'ouvrage rend compte des efforts entrepris visant à réduire le bruit anthropique en mer et à limiter ses impacts sur la faune marine. Ces efforts ont, entre autres, permis l'élaboration par l'État français, dans le cadre de la DCSMM, et par les Parties à l'ACCOBAMS (Accord sur la conservation des cétacés de la mer Noire, de la Méditerranée et de la zone Atlantique adjacente) de guides méthodologiques. N'ayant d'intérêt que s'ils sont périodiquement mis à jour, ces guides s'adressent notamment aux gestionnaires d'aires marines protégées (AMP), à l'image du Sanctuaire Pelagos où des leviers d'actions participent à la réduction du bruit et des collisions et pourraient être transposés dans d'autres AMP. Si ces guides sont principalement à destination des acteurs publics, ils peuvent également fournir des éléments utiles aux acteurs privés, en particulier aux porteurs de solutions technologiques dans le cadre de projets tels que BOMBYX2, PIAQUO ou SATURN. Aussi, compte tenu des synergies existantes dans la lutte contre le bruit sous-marin anthropique et les collisions entre navires et cétacés, ces projets pourraient bénéficier au système REPCET (REPErage en temps réel des CÉTacés) et inversement. Ce dispositif pourrait, dès lors, fournir aux navigants des indicateurs portant sur le bruit sous-marin rayonné par le navire et, parce que rendu obligatoire pour certains navires battant pavillon français dans les sanctuaires Pelagos et Agoa, rejoindre le catalogue des réponses administratives en vue de réduire le bruit sous-marin produit par le trafic maritime. En l'état actuel, ces réponses sont très variables d'un État à l'autre, allant de la création d'une *Task Force*, à l'image du Collectif national sur le bruit sous-marin en France, à la mise en œuvre d'une approche multidimensionnelle sur le modèle du Canada. Quant aux mesures opérationnelles, les initiatives émanent généralement de l'échelon local, comme l'illustrent les mesures incitatives de réduction du bruit sous-marin généré par les navires prises par l'Administration portuaire Vancouver Fraser ou encore les dispositions contraignantes adoptées par la préfecture maritime de la Méditerranée visant à lutter contre le bruit anthropique à la surface de la mer.

Loin de prétendre à l'exhaustivité, cet ouvrage propose une synthèse sur la question du bruit en mer en mobilisant une trentaine de spécialistes nationaux et internationaux reconnus pour leur expertise dans ce domaine, et ce dans une perspective interdisciplinaire – droit et sciences – relativement rare.



## Partie I

---

# État de la recherche sur le bruit anthropique en mer et ses effets sur la faune marine



# Acoustique sous-marine et environnement

## ► Évaluation des zones d'impact physiologique de la sismique sur les mammifères marins

Yves Le Gall, Cécile Ducatel, Xavier Lurton

### 1. Contexte

L'impact du bruit acoustique sous-marin sur la faune (plus particulièrement les mammifères marins) suscite de nombreux travaux nationaux et internationaux visant, d'une part, à améliorer les connaissances sur le sujet et, d'autre part, à développer des technologies et méthodes pour en limiter les conséquences. Selon l'article premier de la Convention des Nations unies sur le droit de la mer (CNUDM/UNCLOS), les sources sonores anthropiques peuvent être considérées comme cause de « pollution du milieu marin » et, dans ce cadre, de nombreuses décisions intergouvernementales ont permis l'émergence de plusieurs recommandations et réglementations.

Soucieux de ces enjeux environnementaux et conscients du caractère sensible de certaines émissions sonores, l'Ifremer a, dès 2011, défini un protocole de protection pour limiter les risques d'impacts acoustiques sur les mammifères marins. Suite à des travaux de modélisation et de mesures menés depuis plusieurs années (Lurton, 2013 ; Ducatel *et al.*, 2016), la prise en considération des risques sonores envers les mammifères marins est aujourd'hui limitée, au sein de l'Ifremer, au seul cas de certaines sources sismiques.

Les équipements de prospection sismique marine sont des outils largement utilisés pour explorer la croûte océanique jusqu'à plusieurs kilomètres de profondeur et produire des coupes verticales des couches sédimentaires des fonds marins. Ces équipements sont constitués d'une source acoustique très basse fréquence (canons à air, principalement), associée à un ensemble de récepteurs (hydrophones) répartis le long d'antennes remorquées par le navire. En fonction des objectifs de pénétration et de résolution, les sources sismiques afficheront des volumes d'air (contenus dans les canons et généralement donnés en  $\text{in}^3$  ;  $1 \text{ litre} \cong 61 \text{ in}^3$ ), des gammes de fréquences et des niveaux d'émission différents.

Des travaux récents sur l'impact des sources sonores sur les mammifères marins (National Marine Fisheries Service, 2018 ; Southall *et al.*, 2019) ont conduit l'Ifremer à mettre à jour sa méthode d'évaluation des risques sonores des sources sismiques, en tenant compte des nouveaux seuils physiologiques définis par le département NMFS (National Marine Fisheries Service) de l'agence américaine NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), des nouvelles fonctions de pondération de la sensibilité auditive des mammifères marins, en fonction de la fréquence et en calculant l'exposition sonore cumulée le long d'un profil d'acquisition de longueur infinie (Ducatel *et al.*, 2019).

Le principe de l'évaluation des risques sonores par l'Ifremer est décrit ici et appliqué à la source sismique considérée comme la plus impactante du parc de l'Institut, appartenant à la Classe 1, pour laquelle le volume total est supérieur à 500 in<sup>3</sup>. À partir des rayons d'impact obtenus pour les différentes catégories de mammifères marins et de l'application d'un facteur de sécurité, un protocole de mitigation est défini. Le cas de la sismique haute résolution appartenant à la Classe 2, pour laquelle le volume total est inférieur à 500 in<sup>3</sup>, est également abordé. Si ces deux classes de sismique marine reposent sur le même principe, les caractéristiques acoustiques et donc les impacts potentiels sont radicalement différents.

## 2. Principe de l'évaluation des risques sonores

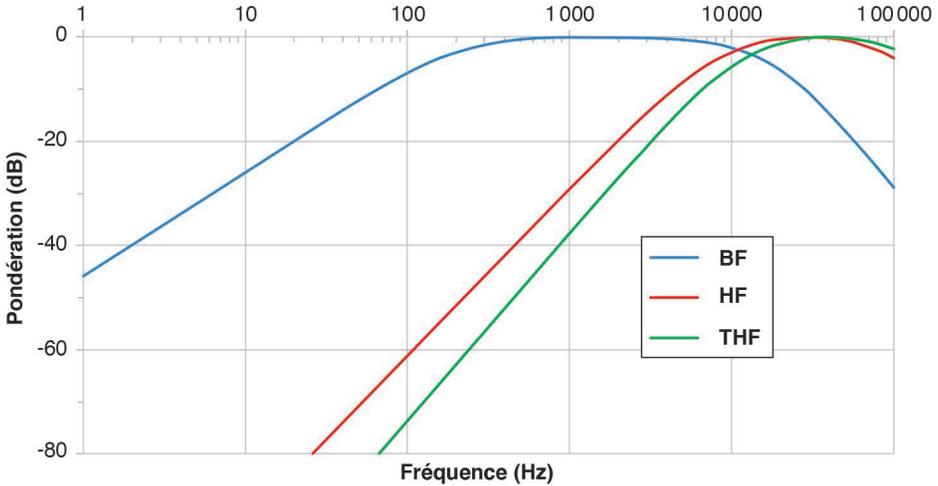
Pour les signaux impulsionnels générés par les canons à air, le cumul d'énergie acoustique reçue n'est pas le seul critère pouvant entraîner un dommage physiologique. C'est en ce sens que le NMFS propose pour les signaux impulsionnels une approche duale, en exprimant les seuils physiologiques à la fois en niveau cumulé d'exposition sonore ( $SEL_{cum}$  : *Cumulated Sound Exposure Level*) et en niveau sonore crête reçu instantanément ( $SPL_{PK}$  : *Peak Sound Pressure Level*).

L'estimation du niveau cumulé d'exposition sonore prend en compte le niveau sonore émis par la source, la fréquence et la directivité angulaire, c'est-à-dire la distribution spatiale de l'énergie sonore, ainsi que la durée et la cadence d'émission des signaux. Elle intègre également des fonctions de pondération fréquentielle des groupes de cétacés, classés selon les caractéristiques de leur audition (BF : basse fréquence, HF : haute fréquence, THF : très haute fréquence [National Marine Fisheries Service, 2018 ; Southall *et al.*, 2019]), agissant comme un filtre passe-bande, et permettant ainsi d'accentuer les fréquences pour lesquelles les animaux sont les plus sensibles et d'atténuer les fréquences les moins impactantes (figure 1.1). L'amplitude du son perçu par un animal est ainsi modulée par la valeur de la fonction de pondération pour chaque fréquence, selon le principe d'un filtre fréquentiel.

Le risque sonore en termes de niveau cumulé d'exposition sonore est évalué dans le cas idéal d'un mammifère marin exposé à une source sismique mise en œuvre le long d'un profil de longueur infinie (Ducatel *et al.*, 2019). La durée d'exposition a été adaptée au cas particulier d'une source sismique mobile. Le niveau reçu dépend également des phénomènes de propagation de l'onde sonore. Un certain nombre d'hypothèses sont effectuées dans cette modélisation :

- la source sismique se déplace à vitesse constante selon une même direction ;
- le récepteur est stationnaire (le mammifère marin ne cherche pas à s'éloigner de la source de bruit) ;

- la cadence et la puissance des tirs sismiques sont constantes ;
- les pertes de propagation sont calculées selon le modèle de divergence sphérique (Lurton, 2010), valable en particulier aux plus courtes distances, donc pour les émissions de contributions prépondérantes ;
- le  $SEL_{cum}$  est calculé en intégrant l'émission lors du passage du navire au point le plus proche du mammifère marin afin de systématiquement tenir compte de l'exposition de plus forte contribution.



**Figure 1.1.** Pondération fréquentielle des trois groupes de cétacés (source : National Marine Fisheries Service, 2018).

Par ailleurs, le risque sonore en termes de niveau sonore crête reçu est estimé pour une exposition à une émission à la pression acoustique maximale, et ne tient pas compte de la sensibilité fréquentielle de l'animal considéré. Les fonctions de pondération ne sont donc pas appliquées pour la métrique  $SPL_{PK}$ .

Le rapport du NMFS (National Marine Fisheries Service, 2018) a défini des valeurs de niveau crête  $SPL_{PK}$  et d'exposition cumulée  $SEL_{cum}$  correspondant au seuil d'apparition potentielle du PTS minimal décelable – pour *Permanent Threshold Shift*, correspondant à une modification permanente du seuil d'audition – qui fixe donc la limite basse d'un impact physiologique quantifiable. Ces valeurs sont présentées dans le tableau 1.1. À partir des niveaux modélisés reçus par un animal (cumul d'exposition sonore sur un profil de longueur infinie et pression crête pour un tir), il est alors possible de déterminer un rayon d'impact pour les trois groupes de cétacés et pour chaque métrique ( $SEL_{cum}$  et  $SPL_{PK}$ ).

**Tableau 1.1.** Seuils PTS en  $SEL_{cum}$  et  $SPL_{PK}$  pour les trois groupes de cétacés.

Groupe de cétacés	$SEL_{cum}$ - pondéré (dB réf. $1 \mu Pa^2s$ )	$SPL_{PK}$ - non pondéré (dB réf. $1 \mu Pa$ )
BF	183	219
HF	185	230
THF	155	202

Les seuils d'apparition du TTS minimal décelable – pour *Temporary Threshold Shift*, correspondant à une modification temporaire de 6 dB du seuil d'audition – ont été mesurés pour quelques espèces d'odontocètes en captivité (National Marine Fisheries Service, 2018 ; Houser, 2021) et sont la base de l'estimation des valeurs minimales décelables de PTS. Ces dernières, considérées comme équivalentes à des TTS à 40 dB (National Marine Fisheries Service, 2018), sont mieux adaptées pour déterminer des rayons d'exclusion que les TTS à 6 dB qui relèvent davantage d'une fatigue auditive passagère<sup>2</sup>.

### 3. Cas de la Sismique Multi-Trace (SMT) de l'Ifremer

#### 3.1. Caractéristiques acoustiques de la source

En raison de son niveau d'émission crête élevé et de sa cadence de tirs relativement soutenue, la source SMT, constituée de 14 canons à air et présentant un volume total de 2 570 in<sup>3</sup>, est considérée comme la plus impactante du parc des équipements de l'Ifremer.

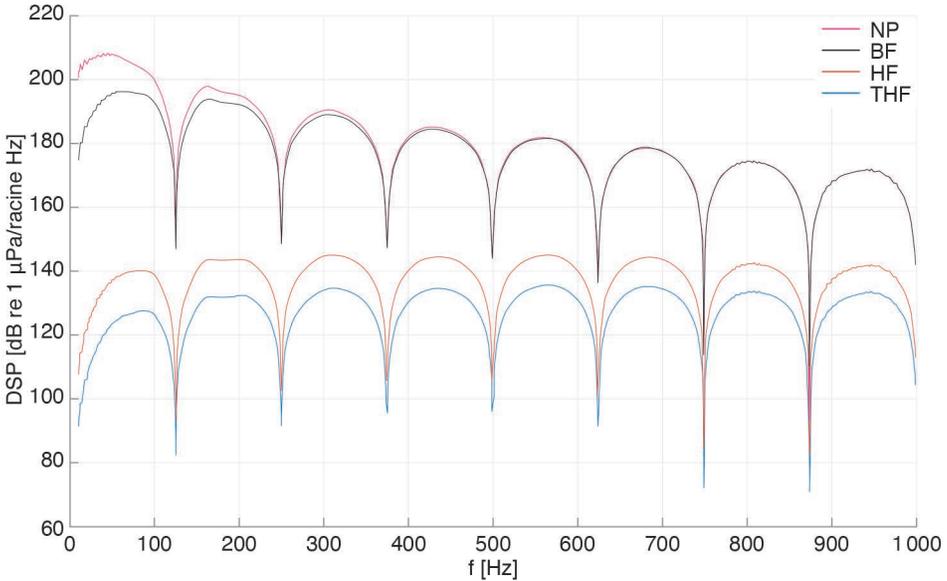
Le tableau 1.2 synthétise les caractéristiques acoustiques de cette source sismique appartenant à la Classe 1 définie par l'Ifremer.

**Tableau 1.2.** Caractéristiques de la SMT de l'Ifremer.

<b>Volume total (in<sup>3</sup>)</b>	2 570
<b>Nombre de canons</b>	14
<b>Immersion (m)</b>	6
<b>Pression maximale 0-pic (bar à 1 m)</b>	36,52
<b>Cadence de tir (s)</b>	20
<b>SL<sub>PK</sub> (dB réf. 1 μPa @ 1 m)</b>	251,2
<b>SEL (dB réf. 1 μPa<sup>2</sup>s @ 1 m)</b>	229,2

L'analyse spectrale du signal émis par la SMT indique un maximum d'énergie sonore à 45 Hz, mais les contributions plus hautes fréquences, jusqu'à 1 kHz, seront prises en compte pour l'estimation de la zone d'impact physiologique. Les fonctions de pondération décrites précédemment sont appliquées au spectre de la signature de la source. La figure 1.2 représente le spectre non pondéré du signal, ainsi que les spectres pondérés adaptés à chaque catégorie de cétacés.

2. Dans le cas de l'audition humaine, les seuils réglementaires de protection, également exprimés en cumul d'exposition et en niveau crête, sont définis afin d'éviter tout dommage permanent du système auditif. L'apparition de PTS pour l'homme peut être évaluée à partir du niveau d'exposition sonore cumulée (norme ISO 1999-2013) ; elle peut se produire subséquemment à des TTS répétés de valeurs moyennes (typiquement, entre 10 et 20 dB), à condition que la durée d'exposition ou la répétition des événements impactants soient suffisamment élevées (typiquement, une exposition en milieu professionnel bruyant pendant plusieurs années). Notre configuration est bien différente : une source sismique mobile ne peut impacter significativement un animal donné que sur quelques émissions.



**Figure 1.2.** Spectre du signal de la SMT de l'Ifremer ; NP : (non pondéré) en rose ; BF : pondération basse fréquence, en noir ; HF : pondération haute fréquence, en rouge ; THF : pondération très haute fréquence, en bleu (source : Ifremer).

### 3.2. Résultats de l'évaluation

Le tableau 1.3 propose les résultats de l'évaluation des risques sonores pour les trois catégories de cétacés et fournit les rayons d'impact ( $R_{imp}$ ) en termes de  $SPL_{PK}$  et  $SEL_{cum}$  pour la SMT. Les chiffres donnés correspondent à la situation la plus impactante pour l'animal : position dans l'axe de déplacement du navire et exposition au tir de plus forte amplitude.

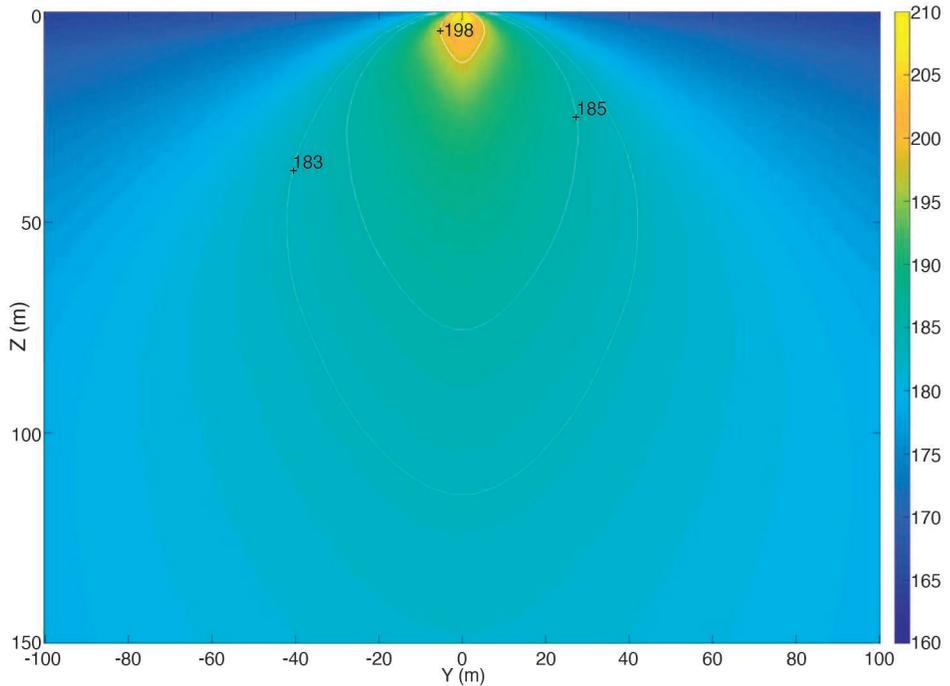
Les cétacés des groupes BF et HF sont les espèces les plus rencontrées lors des campagnes de géosciences marines de l'Ifremer, ce type de sismique ne s'envisageant que pour des campagnes hauturières. Le rayon d'exclusion pour le groupe BF est légèrement supérieur à 100 m. Pour cette catégorie de cétacés, c'est le niveau cumulé d'exposition sonore qui est prépondérant. Quant aux cétacés du groupe HF, ils ne sont que peu impactés physiologiquement par les émissions sonores, en raison du seuil  $SPL_{PK}$  et de la fonction de pondération de cette catégorie. Le rayon d'impact maximal est estimé à 11 m.

En considérant les cétacés du groupe THF, lequel rassemble les espèces de plus forte sensibilité auditive (tableau 1.3), avec une probabilité de rencontre toutefois très faible sur les campagnes hauturières, le critère impactant est le niveau crête reçu ( $SPL_{PK}$ ). Le calcul donne un rayon d'exclusion inférieur à 300 m.

**Tableau 1.3.** Rayons d'impact physiologique (PTS) de la SMT de l'Ifremer pour les trois groupes de cétacés.

	Groupe de cétacés		
	BF	HF	THF
$R_{imp} - SPL_{PK}$ (m)	41	11	288
$R_{imp} - SEL_{cum}$ (m)	114	0	2

La figure 1.3 représente les résultats de la modélisation du  $SEL_{cum}$  pour les cétacés BF le long d'un profil d'acquisition SMT de longueur infinie.



**Figure 1.3.** Niveau d'exposition sonore cumulé le long d'un profil d'acquisition de longueur infinie pour la SMT de l'Ifremer dans le cas des cétacés BF.

(Z : immersion ; Y : axe transversal au navire se déplaçant selon l'axe X).

### 3.3. Mesures de protection appliquées aux mammifères marins

Lors de l'utilisation d'une source sismique, telle que celle décrite précédemment, et de façon générale pour toute source dont le volume est supérieur à 500 m<sup>3</sup>, le protocole de mitigation suivant (Ducatel *et al.*, 2019) est mis en œuvre par une équipe d'observateurs indépendants, qualifiés et expérimentés :

- à bord, mise en place d'une surveillance visuelle qui sera complétée par un système de détection par acoustique passive ;
- définition d'une zone d'alerte : cercle centré sur la source acoustique, dont le rayon est fixé à 1,5 km pour les observations visuelles et non délimité pour les détections acoustiques. Une vigilance renforcée est appliquée si une espèce concernée est observée à l'intérieur de cette zone ;