

A l'écoute des cétacés

Auteur :

PATRIS Julie, Docteur, professeur agrégée à l'Université d'Aix-Marseille, Laboratoire d'Informatique et Systèmes du CNRS, équipe DYNI

09-02-2021



Du célèbre chant modulé des baleines à bosse aux sonars à ultrason des dauphins roses de l'Amazonie, les mammifères habitant les océans et les fleuves ont développé des modes d'utilisation du son qui nous émerveillent chaque jour un peu plus. Pourquoi le son ? Quels types de sons ? Comment les chercheurs peuvent-ils étudier ces modes de communication ou de localisation, et que nous apprennent-ils sur nos géants cousins des mers ? Ce sont quelques-unes des questions auxquelles tente de répondre la bioacoustique marine [\[1\]](#), une discipline alliant la biologie et la physique, mais aussi l'informatique, l'écologie, le traitement de données ou l'océanologie.

1. Le son dans l'océan

1.1. L'importance de l'onde acoustique dans l'eau

L'eau (et surtout l'eau salée) est un **conducteur de l'électricité**. De ce fait, les **ondes** électromagnétiques (la lumière, les ondes radio, etc.) s'y propagent assez mal, ce qui explique que la mer soit un milieu extrêmement sombre dès que la profondeur atteint quelques dizaines de mètres. Si la majorité des animaux marins, et notamment les mammifères, sont dotés d'yeux très performants, ceux-ci ne peuvent pas être utilisés aussi efficacement qu'en milieu terrestre, en tout cas pour les échanges à grande distance. En revanche, le **son s'y propage bien, plus rapidement que dans l'air**, et y est peu atténué. En conséquence, de nombreux animaux marins utilisent le son pour recueillir ou émettre des informations, au même titre que les humains pour leurs installations et vaisseaux (sous-marins, dispositifs de surveillance ou de prospection géologique).

1.2. Physique du son dans l'océan

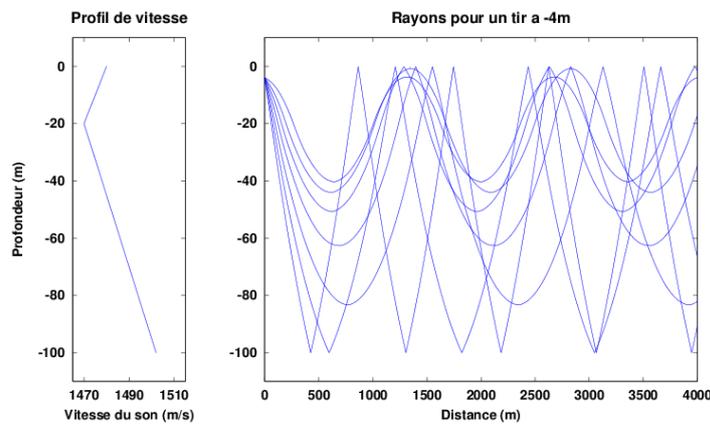


Figure 1. Modélisation de la propagation du son dans l'eau. Les rayons issus d'un même point sont canalisés dans la couche d'eau correspondant au minimum de la vitesse du son. [Source : Schéma de l'auteure]

La physique du son est décrite dans cette encyclopédie (Lire : [L'émission, la propagation et la perception du son](#)). Le **son** est défini comme la **propagation d'une surpression**, souvent mesurée en décibel (c'est-à-dire par une unité logarithmique qui permet de mesurer avec précision des valeurs très fortes comme des valeurs beaucoup plus faibles). La définition du **décibel** $20 \log_{10}(p/préf)$ nécessite de fixer une pression de référence *préf* ; pour des raisons pratiques, celle-ci n'étant **pas la même dans l'air et dans l'eau**. Conventionnellement, si la pression de référence *préf* est de 20 μPa dans l'air, elle est de 1 μPa dans l'eau : il n'est donc pas possible de comparer un niveau de décibel dans l'eau à des mesures prises dans l'air.

La **vitesse du son** dans l'eau **varie** selon la **profondeur** le long de la colonne d'eau. Ce phénomène est à l'origine de véritables « guides d'ondes » acoustiques qui permettent au son de se propager de façon très efficace sur de longues distances. Le schéma présenté en Figure 1, obtenu par modélisation de la propagation du son dans l'eau par « rayon acoustique » montre que les rayons issus d'un même point, au lieu de diverger de façon régulière (et d'être éventuellement absorbés par le fond) sont canalisés dans la couche d'eau correspondant au minimum de la vitesse du son.

1.3. Enregistrer sous l'eau



Figure 2. Préparation d'une antenne acoustique par l'équipe du LIS sur l'Amazonne, pour enregistrement de dauphins de rivière (*Inia goeffrensis*). [Source : Cliché M. Trone]

Depuis le milieu du 20^e siècle, des dispositifs assez simples nous permettent d'étudier le son dans l'eau. Actuellement, la chaîne de mesure est généralement constituée :

d'un capteur, l'**hydrophone** (microphone aquatique), normalement basé sur les propriétés des piézo-électriques et pourvu d'une enveloppe molle permettant son adaptation acoustique au milieu ;

d'un **enregistreur**, appareil qui numérise le signal (après l'avoir éventuellement filtré) et le stocke sous forme numérique. L'étape de numérisation fait intervenir la fréquence d'échantillonnage et la résolution, paramètres qui dépendront du type de son visé.

Le signal ainsi acquis peut alors être traité ou analysé, soit manuellement soit par des procédures automatisées (Figure 2).

1.4. Visualiser le son

Pour **analyser un son**, les acousticiens disposent d'un outil fourni par les mathématiques des 19^e et 20^e siècles : la **transformée de Fourier**. Grâce à ce traitement, il est possible de déplacer le signal du domaine temporel (la pression varie en fonction du temps) vers le domaine fréquentiel. Ce dernier domaine permet d'analyser un son en fonction de ses composantes aigües ou graves, de la même façon qu'un spectre coloré permet d'apprécier les composantes d'un faisceau lumineux. En faisant certaines hypothèses, on peut alors visualiser le son dans une **représentation** dite '**temps-fréquence**', qui permet de voir son contenu fréquentiel en fonction du temps. Cette représentation, basée sur des théories mathématiques poussées, permet une visualisation proche d'une partition !

Vidéo 1. Illustration de la représentation temps-fréquence d'un son. Le temps est en abscisse et la fréquence en ordonnée, la couleur représentant l'intensité. On constate qu'un son sinusoïdal de type sifflement correspond à une intensité concentrée sur une seule fréquence (ici de l'ordre du kilo Hertz), éventuellement variable lorsque le son est modulé. Au contraire, un claquement est un son bref (localisé dans le temps, ici aux secondes 6 et 7) mais dont l'énergie est répartie sur une large bande de fréquences.

2. Les sons produits par les mammifères aquatiques

2.1. Quels sont les mammifères aquatiques ?



Figure 3. Le dauphin rose de l'Amazonie (*Inia geoffrensis*), un cétacé des eaux douces d'Amérique latine. [Source : Cliché J. Patris]

On définit un **mammifère aquatique** par le temps qu'il passe dans l'eau : ainsi, les ours blancs sont actuellement considérés comme des mammifères marins. Cependant, on s'intéressera ici essentiellement aux plus 'spécialisés' des mammifères aquatiques, regroupés dans l'infra-ordre des cétacés principalement, ainsi que l'ordre des carnivores (qui concerne les phocidés et otaridés) et celui des siréniens. Ils vivent en général dans l'océan, ainsi que, parfois, dans les fleuves ou les lacs (Figure 3), et n'ont que peu (carnivores) ou pas (cétacés, siréniens) de contacts avec la terre émergée. Certains sont principalement côtiers et restent inféodés à des petites profondeurs, mais de nombreuses espèces sont capables de chasser à très grande profondeur, jusqu'à plus de mille mètres parfois. Malgré ce mode de vie, et leur apparence proche de celle d'un poisson ou d'un requin, ce sont des mammifères allaitant leurs petits et respirant dans l'air [2].

2.2. Exemples de sons produits

Les **émissions sonores** produites par les **mammifères aquatiques** sont extrêmement variées et couvrent une partie du spectre acoustique allant bien au-delà de l'audition humaine [3]. Ainsi, les plus grands rorquals (baleine bleue, rorqual commun...) peuvent produire des infrasons très intenses, durant jusqu'à quelques dizaines de secondes. Ces émissions, dont la fréquence est de l'ordre de la dizaine d'Hertz, sont parmi les plus fortes du monde animal : elles atteignent 190 dB (référence 1 μ Pa) à un mètre (soit le niveau d'un gros navire commercial à vitesse moyenne). L'intensité de ces sons permet aux grands mammifères marins de communiquer sur des distances de **plusieurs dizaines de kilomètres**. A l'opposé, les marsouins et dauphins de rivières émettent des ultrasons brefs et répétés, appelés des « clics », qui peuvent atteindre des fréquences extrêmement hautes, de plusieurs centaines de kHz.

Entre ces deux extrêmes, on trouvera également les **sifflements** de dauphins (tels ceux du grand dauphin, mais aussi ceux des orques ou des globicéphales) présentant une grande variété, souvent dans des fréquences perceptibles par l'homme (quelques kHz). De même, le répertoire vocal des baleines à bosse a fait d'elles les « stars » de la bioacoustique sous-marine, allant de

mugissements profonds à de multiples sons grinçants ou modulés tout à fait remarquables et accessibles à l'oreille humaine.

Vidéo 2. Exemple de sons produits par le grand dauphin (*Tursiops truncatus*). On reconnaîtra les sifflements, sons aigus, modulés en fréquence (entre 5kHz et 20 kHz), les clics, brefs et large bande (dont seule une partie est ici enregistrée, le reste montant trop haut en fréquence pour l'appareil d'enregistrement), ainsi que des aboiements brefs à basse fréquence (de l'ordre de 1 kHz).

2.3. Fonction biologique de quelques sons particuliers



Figure 4. Grand dauphin (*Tursiops truncatus*). [Source : © Willy Volk, Flickr (CC BY-NC-SA 2.0)]

Ces différents sons sont impliqués dans des **fonctions biologiques diverses**. Par exemple, les « clics » brefs sont une caractéristique partagée par tous les odontocètes (ou cétacés à dents, tels les dauphins, les marsouins, le cachalot ou le groupe peu connu des baleines à dents ou *Ziphius*). Ils jouent un rôle majeur dans l'**orientation** de ces animaux, qui sont des chasseurs poursuivant et attrapant leurs proies de façon ciblée et dynamique dans les profondeurs obscures. Ces clics ont la même fonction que ceux des chauves-souris : ils permettent à l'animal de localiser une proie ou un obstacle grâce à l'écho renvoyé. On appelle cette fonction l'**écholocalisation** (lire Focus [L'écholocalisation](#)).

Certaines baleines à fanons (ou baleines vraies, taxon des mysticètes) émettent des **sons modulés**, répétés en des séries extrêmement structurées. On appelle ces séries des « chants », par analogie avec les chants d'oiseaux. Ces chants sont probablement l'apanage des mâles, et ont donc sans doute une fonction liée à la reproduction, telle que l'attraction de l'attention des femelles ou la compétition entre mâles. Par ailleurs, ces chants constituent parfois de **véritables dialectes**, qui permettent de distinguer différentes populations ou clans d'une même espèce (Lire Focus 2 - [La baisse en fréquence des chants de baleines bleues](#)).

On peut citer en troisième exemple les **sifflements** de certains dauphins, comme par exemple le grand dauphin (*Tursiops truncatus*) dont il a été montré qu'ils transmettent une « signature » propre à un individu [4]. Lors de la rencontre entre deux individus, chacun répète sa « signature », parfois jusqu'à ce que l'autre la répète à son tour, probablement comme marque de reconnaissance de son interlocuteur (Figure 4).

3. La surveillance par acoustique passive



Figure 5. L'hydrophone fixe : une technique peu coûteuse et peu invasive pour explorer le paysage acoustique local. Ici, un appareil placé sur bouée, au nord du Chili. [Source : Cliché de l'auteur]

Le son étant beaucoup utilisé par les mammifères aquatiques, il peut être extrêmement utile pour l'étude de ceux-ci. Par opposition à l'acoustique « active » qui consiste à émettre des sons et à étudier le comportement des ondes réfléchies ou transmises (une utilisation qui ressemble à l'échographie médicale, notamment), on définit l'acoustique passive, qui se contente **d'enregistrer les sons présents dans l'environnement**. Aucune énergie n'est fournie au milieu étudié : il s'agit donc d'une méthode très peu invasive a priori.

Diverses techniques sont utilisées, qui permettent d'avoir accès à des données différentes, sont plus ou moins coûteuses et interviennent plus ou moins sur l'objet d'étude. La **pose d'un appareil** directement sur l'animal étudié (« tag ») est sans conteste la plus délicate : plusieurs études ont montré qu'elle peut modifier le comportement, voire dans certains cas blesser son hôte [5] – en revanche, elle permet d'obtenir des résultats parfois spectaculaires à l'échelle d'un individu, comme la profondeur à laquelle sont émis les sons, l'énergie produite, mais aussi de vérifier quelle espèce est à l'origine d'un son donné.

D'autres dispositifs sont liés à un déplacement en bateau :

il s'agit notamment **d'antennes** constituées de plusieurs hydrophones, **tractées derrière un navire**. Ces techniques sont utiles pour les recensements de populations, permettant de faire des « transects acoustiques » qui sont en général complémentaires des comptages visuels.

la pose d'un ou plusieurs **capteurs fixes**, sur bouée ou au fond, est l'une des techniques les plus simples et les moins invasives (Figure 5).

Ces dispositifs fonctionnent en général en « aveugle » puisque **aucune donnée visuelle** ne vient compléter les sons enregistrés, mais ce sont des techniques sûres, peu coûteuses, durables, qui permettent des recensements de populations à une échelle locale, sur du long terme, et l'étude précises des caractéristiques de telle ou telle vocalisation.

4. Quelques résultats obtenus par la bioacoustique

En cinquante ans d'existence, la bioacoustique des mammifères aquatiques a produit quelques avancées intéressantes dont on souligne ici quelques exemples.

4.1. Physiologie

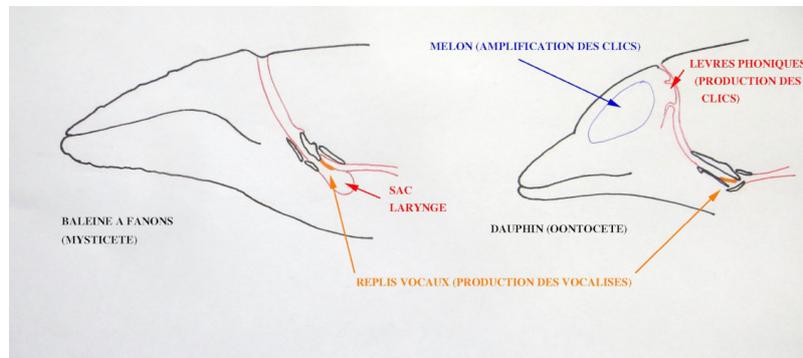


Figure 6. Localisation des principaux éléments de la production du son chez les cétacés. [Source : Schéma de J. Patris d'après Reidenberg, [6]]

Les cétacés présentent des adaptations physiologiques à leur milieu qui les distinguent de façon parfois spectaculaire des autres mammifères : l'exemple le plus évident est la taille, la baleine bleue étant le plus grand animal connu, vivant ou fossile.

Cependant, étudier la physiologie d'animaux de cette taille est une gageure, puisque pour beaucoup d'espèces, on ne dispose que d'animaux échoués, morts depuis assez longtemps. En particulier, le **mode de production des sons par les grands cétacés reste assez mystérieux**. Néanmoins, des études récentes mêlant dissections d'animaux échoués, analyse des types de sons, modèles physiques reconstitués en laboratoire et simulations par ordinateur ont montré deux sources principales de production du son (Figure 6).

Les **vocalisations** (sifflements, mugissements, etc.) sont produites par le passage de l'air dans des « **plis vocaux** » (un équivalent des cordes vocales, au niveau du larynx) mais sans qu'il y ait expulsion de l'air, qui circule entre les poumons et un « **sac laryngé** » en circuit fermé [6].

La production des « **clics** » par les odontocètes, est due à un organe spécialisé (les lèvres phoniques). Le son est ensuite amplifié dans le **melon** (partie saillante de la tête des odontocètes, du dauphin au cachalot). Le melon sert à l'amplification du son et à sa focalisation selon une direction précise.

La connaissance du rôle joué par le melon a notamment donné lieu à une stratégie intéressante pour l'étude des cachalots : la captation et l'étude des « clics » émis par un individu permettent d'obtenir une **estimation de sa taille** ! En effet, une série de rebonds dans le melon peut être détectée, et le temps entre rebonds permet d'évaluer la taille de la tête de l'animal. Comme cette espèce présente un fort dimorphisme sexuel (les mâles mesurant en moyenne 50 % de plus que les femelles), on peut donc savoir si l'individu est un mâle adulte, une femelle ou un jeune mâle [7].

4.2. Comportement

La surveillance acoustique passive permet aussi -avec un dérangement minimal- de mieux connaître le comportement des individus. Par exemple, grâce à l'enregistrement des clics d'un cachalot lors d'une plongée, sa **trajectoire a pu être reconstituée**. La vidéo ci-dessous (Vidéo 3) montre les mouvements de l'animal, qui atteint une profondeur de plusieurs centaines de mètres, mais aussi le succès de sa recherche de nourriture : on estime en effet qu'une accélération du rythme des clics correspond à une chasse active (la proie est repérée et poursuivie) et que l'intervalle silencieux marque le moment de la capture et de l'absorption de la proie (un céphalopode en général).



Vidéo 3. Lien de la vidéo : [cliquez ici !](#) Animation en trois dimensions montrant la trajectoire d'un cachalot reconstituée d'après des enregistrements acoustiques [8]. On peut entendre l'enregistrement et lire le temps entre deux clics. Les périodes d'accélération de l'émission des clics, suivies d'un silence, sont interprétées comme un épisode de chasse réussie, avec capture et ingestion de la proie (en général un calamar).

L'acoustique passive permet également de connaître les **comportements dits « culturels » des cétacés** : c'est ainsi qu'une étude publiée en 2013 a mis en évidence une transmission des chants de baleine à bosse d'est en ouest dans le bassin occidental du pacifique sud. On constate que des thèmes « à la mode » vers l'Australie sont repris par des mâles en Nouvelle Calédonie l'année suivante, et ainsi de suite par différentes populations à l'échelle océanique.

4.3. Recensement des populations

Recenser les individus d'une espèce est toujours un exercice difficile ; cela devient un défi pour les mammifères aquatiques, pour lesquels beaucoup de techniques habituelles sont inutilisables : impossible de trouver des traces ou des empreintes, de placer des pièges photographiques...

A quelques exceptions près (les populations côtières stables par exemple) les **observations visuelles sont difficiles et peu efficaces**. En effet, les cétacés sont discrets, peu nombreux par rapport à l'immensité des mers, et passent la majeure partie de leur temps sous l'eau, invisibles. Enfin, il est impossible de les observer dès que les conditions météorologiques se dégradent.

On comprend dès lors que la bioacoustique ait un rôle important à jouer dans la **détection et le comptage des individus**, car elle cumule un certain nombre d'atouts :

la surveillance peut être menée de jour comme de nuit,

la portée des instruments peut s'étendre à plusieurs dizaines de kilomètres pour certaines espèces (les grandes baleines à fanons, notamment),

l'instrument peut fonctionner pendant des temps longs (plusieurs mois) pour un coût réduit.

Malgré ce potentiel, l'utilisation de la surveillance acoustique passive pour le recensement des populations est une **technique naissante**, et qui rencontre de nombreuses difficultés [9]. L'évaluation de la portée de chaque instrument est un paramètre nécessaire pour faire un modèle statistique de densité, or elle dépend de l'espèce, de l'intensité du signal émis, des conditions environnementales, de la topologie du terrain, de la réponse de l'instrument... Les signaux sonores émis par les cétacés ne sont pour l'instant pas distinguables entre deux individus : difficile de savoir si le même individu a été entendu à de nombreuses reprises ou si le lieu est fréquenté par plusieurs individus. Certaines espèces sont très vocales à certains moments, et totalement silencieuses à d'autres, passant inaperçues.

Il est toutefois possible de faire des comparaisons entre différents relevés acoustiques, et donc de déterminer si une espèce est stable dans un lieu donné, ou bien si sa densité varie en fonction des saisons ou des années. Le comportement acoustique des espèces est aussi de mieux en mieux connu. De plus, on dispose désormais de **modèles sophistiqués de modélisation de la propagation du son**. Grâce à ces outils, beaucoup d'études réussissent à dépasser les obstacles mentionnés. Ainsi, les très discrets *Ziphius*, ou baleines à dents, dont l'un des premiers exemplaires, échoué sur la côte bleue près de Marseille, a été décrit par Cuvier, sont de plus en plus recensés par des techniques de surveillance acoustique passive mettant en jeu un maillage aléatoire de bouées flottantes, capables de percevoir leurs sondes en profondeur [10].

4.4. Protection

Le calcul de densité décrit plus haut est un moyen essentiel de gestion des populations et de protections des espèces. Toutes techniques confondues (échouages, relevés visuels et acoustiques...), il a été montré que la baleine bleue antarctique (Figure 7) a souffert d'une baisse catastrophique du nombre de ses individus durant le milieu du vingtième siècle, passant de quelques 300 000 individus répartis sur toutes les mers australes à de l'ordre de 400 individus recensés cinquante ans plus tard [11]. A peine plus **d'un individu sur mille a réchappé à la chasse**, sur une durée inférieure à la durée de vie moyenne de l'espèce ! Les estimations actuelles tendent à montrer une timide récupération (le nombre d'individus serait de l'ordre du millier actuellement) encore très fragile, plus de 50 ans après le premier moratoire sur la chasse à la baleine bleue.

La bioacoustique peut aussi servir à mettre au point des **dispositifs de protection en temps réel**. C'est le cas lors des prospections géologiques sous-marines, une technique consistant à envoyer une très forte impulsion acoustique dans le milieu marin pour en sonder le sous-sol (une échographie géante), qui est très invasive pour le milieu, et notamment pour les mammifères marins. Lors de ces campagnes, des scientifiques sont chargés d'une vigilance visuelle et acoustique permanente : si des cétacés sont repérés à proximité, les émissions sont interrompues.



Figure 7. Baleine bleue (*Balaenoptera musculus*). [Source : Illustration de Andrés Calderón]

Un autre exemple [12] de dispositif de protection ponctuelle est installé dans la baie de Boston, aux États Unis. Un ensemble de capteurs sous-marins repèrent la présence de la baleine franche atlantique, le plus menacé des grands cétacés, classé en danger critique d'extinction par l'UICN. Lorsqu'une présence est détectée, les navires sur zone sont alertés et doivent réduire leur vitesse (le bruit et les collisions sont les risques majeurs pesant actuellement sur cette espèce [13]).

5. Messages à retenir

Tous les cétacés et de nombreux pinnipèdes utilisent la **bonne propagation du son dans l'eau** pour communiquer, se repérer, se nourrir, identifier les dangers...

La bioacoustique des mammifères marins a pour but de comprendre **quels sons** émettent les mammifères aquatiques et quelles sont leurs **fonctions biologiques**.

Cette discipline sert aussi à **recenser**, en complément des études visuelles, les populations en danger pour **améliorer leur protection**.

Notes et références

Image de couverture. Une femelle baleine à bosse s'élanche hors des eaux froides du détroit de Magellan, sous l'œil intéressé d'une congénère. [Source : Cliché J. Patris]

- [1] Au W. & Hastings M. (2008) *Principles of marine bioacoustics*. Springer
- [2] Wilson D.E. & Mittermeier R.A. (2014) *Handbook of the mammals of the world* (4) Lynx edition.
- [3] Richardson W. J. (1995) *Marine Mammals and Noise*. USA : Academic press
- [4] Sayigh L., Esch C., Wells R. & Janik V. (2007) Facts about signature whistles of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Animal Behaviour*, **74**, 1631-1642
- [5] Andrews R. et al. (2019) Best practice guidelines for cetacean tagging. *J. Cetacean Res. Manage.* **20** , 27-66
- [6] Reidenberg J. S. (2017) Terrestrial, Semiaquatic, and Fully Aquatic Mammal Sound Production Mechanisms. *Acoustics Today*, **13** (2), 35-43.
- [7] Rhinelander M. (2004) Measuring sperm whales from their clicks: Stability of interpulse intervals and validation that they indicate whale length. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **115**, 1826-31.
- [8] Benard F. & Glotin G. (2010) Automatic indexing for content analysis of whale recordings and xml representation *EURASIP Journal on advances in Signal Processing*, 1-8
- [9] Marques T. et al. (2013) Estimating animal population density using passive acoustics. *Biological Reviews* **88**, 287-309.
- [10] Barlow J. et al. (2018) Diving behavior of Cuvier's beaked whales inferred from three-dimensional acoustic localization and tracking using a nested array of drifting hydrophone recorders. *The Journal of the Acoustical Society of America* **144**(4), 2030-2041
- [11] Branch et al. (2007) Past and present distribution, densities and movements of blue whales *Balaenoptera musculus* in the Southern Hemisphere and northern Indian Ocean. *Mammal Rev.* **37**(2), 116-175
- [12] Spaulding E. et al. (2009) An autonomous, near-real-time buoy system for automatic detection of North Atlantic right whale calls. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, **6**,1-22 <http://www.nrwbuoys.org>
- [13] NOAA fisheries (2019) Marine Mammal Stock Assessment Reports by Species/Stock: Right Whale, North Atlantic

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes - www.univ-grenoble-alpes.fr

Pour citer cet article: **Auteur** : PATRIS Julie (2021), A l'écoute des cétacés, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : <http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=12003>

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.
