

Quelles sont les technologies utilisées pour observer et protéger le cachalot ?



AYMERIC CASUL
6C3 – MAISON KOERICH
2023 / 2024



Table des Matières :

1. PRÉFACE	3
2. INTRODUCTION	4
3. QU'EST-CE QUE LE CACHALOT ?	5
3.1. QUELLES SONT SES CARACTÉRISTIQUES ?	6
3.1.1 TAILLE	8
3.1.2. POIDS	8
3.1.3. TÊTE	8
3.1.4. LE DIMORPHISME SEXUEL	9
3.1.5. ALIMENTATION	9
3.1.6. SES PRÉDATEURS	9
3.1.7. LA VIE SOCIALE DU CACHALOT	10
3.1.8. LA GESTATION	11
3.2. LE CACHALOT EST-IL UNE ESPÈCE MENACÉE ?	12
3.3. DANS QUEL ÉCOSYSTÈME VIT LE CACHALOT ?	14
3.4. A QUELLE PROFONDEUR PLONGE-T-IL ?	15
4. LES TECHNOLOGIES	16
4.1. LES TECHNOLOGIES UTILISÉES DANS L'OBSERVATION DES CACHALOTS	16
4.1.1. HYDROPHONES	16
4.1.2. ROV (REMOTELY OPERATED VEHICLES)	17
4.1.3. AUV (AUTOMOUS UNDERWATER VEHICLES)	18
4.1.4. MARQUAGE ET SUIVI	21
4.1.5. DRONES MARINS	22
4.2. TECHNOLOGIES UTILISÉES DANS D'AUTRES SECTEURS	24
4.2.1. LE ULYX	25
4.2.2. BATHYBOT	25
4.2.3. NEREUS (POSÉIDON)	26
4.3. L'IA (INTELLIGENCE ARTIFICIELLE)	27
5. CONCLUSION	30
6. BIBLIOGRAPHIE	31

1. Préface

J'ai eu la chance de faire un excellent voyage au Québec (Canada) en 2019 avec ma maman. J'ai fait plusieurs activités comme aller voir un entraînement de football américain, observer des ours bruns dans leur habitat naturel, visiter la plus haute tour inclinée du monde, ...

Une des activités que j'ai vraiment appréciée était d'aller faire une excursion pour aller voir les baleines de plus près. J'ai également pu parler avec des biologistes marins, aller dans le musée du GREMM (Groupe de Recherche et d'Éducation sur les Mammifères Marins) ou lire des tableaux aux bords de rives pour voir les baleines.

C'est grâce à ceci que je m'intéresse plus à la biologie marine.

Depuis toujours j'aime également beaucoup la technologie et la robotique.

J'ai donc choisi de fusionner les deux thèmes importants pour moi. J'ai décidé de parler du cachalot en particulier car il a des records incomparables dans le terme de plongée. Puis je voulais quand même parler de la protection des baleines.

Je voulais donc découvrir quelles technologies pourraient aider l'homme à observer le cachalot ou même pouvoir aider à le protéger.

Je vous laisse lire le résultat de mes recherches.

2. Introduction

Saviez-vous que le cachalot est le seul mammifère marin à plonger à 3.000 mètres de profondeur ?

Comment peut-on le suivre, le protéger ou l'observer à de si grandes profondeurs ?

L'humain seul ne peut pas le faire. Je me suis dès lors demandé s'il existe des technologies qui pourraient nous aider.

Afin de pouvoir répondre à ces questions, j'ai réalisé plusieurs recherches. Je les développe dans ce travail personnel.

Tout d'abord je vais parler du cachalot, de ses caractéristiques et de ses records incomparables.

Ensuite je continuerai par l'analyse des technologies en m'intéressant plus particulièrement à celles qui peuvent aider l'humain dans la protection et l'observation des cachalots. Je donnerai également mon avis sur chacune de ces technologies, à savoir leurs avantages et leurs inconvénients.

Puis j'analyse des technologies qui sont utilisées dans d'autres domaines et qui pourraient être exploitées pour protéger et observer des cachalots.

Enfin je parlerai d'une technologie qui évolue extrêmement vite à l'heure actuelle, l'intelligence artificielle (IA) qui commence à être utilisée pour mieux comprendre comment vivent les cachalots.

3. Qu'est-ce que le cachalot ?

Le cachalot est un mammifère marin qui appartient à l'ordre des cétacés et sous ordre des odontocètes, c'est-à-dire une baleine à dents. Le cachalot fait partie de la famille des physétéridés composée de :

- **Kogia :**
 - Le cachalot pygmée (*Kogia breviceps*)
 - Le cachalot nain (*Kogia sima*).
- **Physeter :**
 - Le grand cachalot (*Physeter macrocephalus*) (celui dont je vais vous parler)



Puis il reste encore deux espèces de cachalot qui ont malheureusement disparu :

- Le Léviathan Melvillei



- Le Brygmophyseter

3.1. Quelles sont ses caractéristiques ?

Le grand cachalot est un mammifère marin très massif.

Ses vertèbres cervicales sont soudées et donc il n'a pas de « cou » c'est-à-dire que la tête ne peut plus bouger indépendamment du corps, à l'inverse de l'humain. Contrairement aux autres baleines, son dos est majoritairement droit. Il a une nageoire caudale fendue en deux formant deux triangles. Elle est très puissante et assure la propulsion et la direction de ses déplacements. Les nageoires pectorales (donc au niveau des pectoraux) sont également appelées « battoirs », elles sont épaisses et courtes permettant l'équilibre et le freinage. Le grand cachalot ne possède pas de nageoire dorsale, mais l'on parle plutôt d'une série de bosses sur le tiers postérieur du dos et qui lui servent de stabilisateur.

Les yeux sont protégés de la pression par le crâne et de robustes paupières. Ils sont huilés pour se protéger de la salinité.



Le cachalot n'a pas d'oreille externe mais un simple trou en haut du canal auditif. Le grand cachalot possède de 17 à 25 paires de dents sur la mâchoire inférieure en

forme de « y ». Il n'y a pas de dent sur la mâchoire supérieure mais des alvéoles où les dents du bas viennent se poser. Elles ne poussent que vers l'âge de 10 ans.

La couleur de la peau du cachalot est majoritairement gris foncé avec une zone plus claire autour des mâchoires. On peut souvent voir des cicatrices blanches, surtout sur le melon, suite à des combats entre mâles ou avec le calmar géant (son aliment favori).

Sa peau très lisse et sans aucun poil favorise l'hydrodynamisme et contient une couche massive de graisse limitant les pertes de chaleur.

Son cerveau, le plus gros de tous les mammifères¹, contient le « spermaceti » (appelé aussi blanc de baleine), organe constitué, pour les plus grands, de plusieurs tonnes d'une graisse liquide qui sert au grand cachalot de sonar pour les ultrasons et de ballast. Le ballast permet de régler sa flottabilité en réglant l'état de solidification ou de liquéfaction de cette matière huileuse et ce en fonction de sa propre température corporelle qui peut fortement varier entre 33 et 39 degrés Celsius.²

¹ Le cachalot, grand cétacé à dents, Le mag des animaux, Nathalie Truche, France, 15 septembre 2022, <https://lemagdesanimaux.ouest-france.fr/dossier-1431-cachalot.html>, consulté le 20 octobre 2023

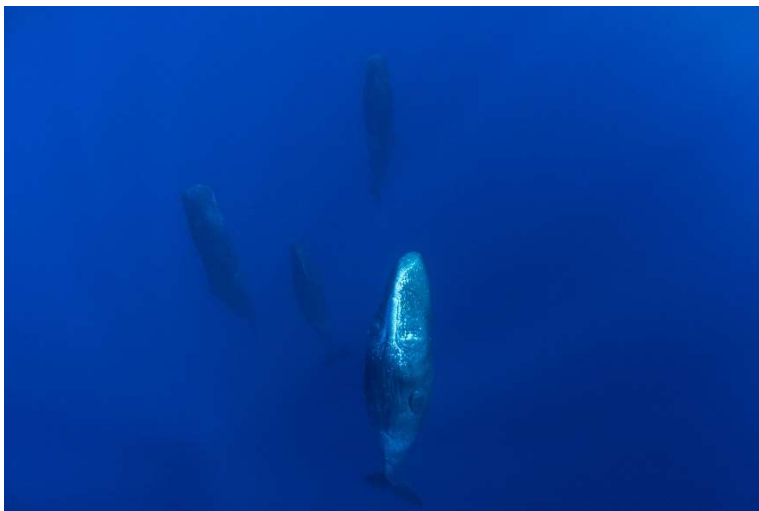
² Le cachalot, Encyclopaedia Universalis, Marie-Claude Bomsel, France, <https://www.universalis.fr/encyclopedie/cachalot/#:~:text=Mammif%C3%A8re%20marin%2C%20au>

Contrairement aux mysticètes (baleines à fanons (toutes sortes de rorquals)), le cachalot n'a qu'un seul évent mais deux conduits nasaux qui fusionnent à la surface de l'eau, du côté gauche, très en avant sur le front. On peut facilement reconnaître son souffle de loin incliné vers l'avant gauche, allant de 2 à 5 mètres de haut, en « buisson » et il est très bruyant. Comme pour la plupart des cétacés, la position de leur évent au sommet du crâne facilite la respiration dès le retour à la surface, et l'autorise pendant la navigation. Contrairement aux pinnipèdes (les morses, les otaries, les phoques, ...) par exemple qui doivent s'arrêter pendant un moment hors de l'eau pour respirer, puisque les narines sont situées vers l'avant du museau.



Le cachalot est capable de renouveler l'air dans ses poumons à hauteur de 80 à 90 % (chez les autres mammifères ce taux se situe très loin, entre 10 et 20 %).

Des études scientifiques ont démontré que le grand cachalot dort souvent, la tête en bas, ou qu'il se laisse dériver dans un demi-sommeil.



[%20corps%20fusel%C3%A9,dents\)%20%3B%20famille%20%3A%20Phys%C3%A9t%C3%A9rid%C3%A9s](#), consulté le 14 octobre 2023

Les voies digestives et respiratoires sont séparées, il ne peut donc pas respirer par la bouche ni « avaler de travers », ni encore moins se noyer, car la respiration est un phénomène conscient chez les cétacés.

On trouve chez certains grands cachalots jusqu'à 500 kg d'ambre gris³ dans leur intestin : cette matière, qui dégage une odeur musquée, est une concrétion autrefois très utilisée en parfumerie, comme fixateur mais, pour le cachalot, c'est une protection contre le bec des céphalopodes (pieuvres, calmar, calmar géant, ...) qu'il avale afin de limiter les irritations de la paroi de l'intestin.⁴

3.1.1 Taille

Le grand cachalot naît très grand, environ 4 mètres de long. A sa taille adulte il peut mesurer jusqu'à 20 mètres dans les cas les plus extrêmes.

En moyenne, les femelles mesurent environ 14 mètres, tandis que les mâles sont plus grands et mesurent environ 18 mètres de long.

Ses dents mesurent environ 25 centimètres chacune.

Sa nageoire caudale peut mesurer jusqu'à 4 mètres de large.⁵

3.1.2. Poids

Le corps du grand cachalot peut peser jusqu'à 50 tonnes pour les mâles et jusqu'à 25 tonnes pour les femelles.

Le grand cachalot a le cerveau le plus lourd de tous les mammifères, il peut peser 9 kilogrammes.

Le grand cachalot a des dents qui pèsent jusqu'à 1 kilo chacune.

3.1.3. Tête

Le nom de "cachalot" n'est pas le fruit du hasard, il vient du mot portugais « cachalote » qui veut dire « poisson à grosse tête » (ce qui est faux vu que le cachalot n'est pas un poisson). La tête de cette baleine est si grosse (surtout chez les mâles) que sa taille correspond à un tiers du corps total, ce qui donne à l'animal un aspect un peu disproportionné.

³ Vomi de cachalot

⁴ Cachalot, Doris, Patricia Courtois, France, Avril 2018, <https://doris.ffessm.fr/Especies/Physeter-macrocephalus-Cachalot-767>, consulté le 20 octobre 2023

⁵ Le cachalot, grand cétacé a dents, Le mag des animaux, Nathalie Truche, France, 15 septembre 2022, <https://lemagdesanimaux.ouest-france.fr/dossier-1431-cachalot.html>, consulté le 20 octobre 2023

3.1.4. Le dimorphisme sexuel

Le dimorphisme sexuel se produit quand la femelle et le mâle d'une même espèce n'ont pas la même apparence, et dans le cas du cachalot, cela se produit à cause de la taille et du poids. Les cachalots mâles pèsent deux fois plus qu'une femelle et ils sont bien plus grands qu'elles. Ces caractéristiques physiques peuvent donc aider à découvrir si le spécimen est une femelle ou un mâle.

3.1.5. Alimentation

Les cachalots sont des animaux carnivores qui se nourrissent principalement de calmars et de pieuvres.

Le cachalot recherche surtout les régions où vit le calmar géant (plus de 80% de son alimentation) qu'il capture à grande profondeur et dont il est le plus grand prédateur.

Il est intéressant de noter que la majorité des connaissances sur les calmars ont été découvertes grâce aux spécimens qui se trouvaient dans l'estomac du cachalot.

Il mange également des pieuvres, des poulpes, des poissons et des crustacés. Des observations ont montré que l'odontocète pouvait même consommer des requins et des phoques.

Chez le cachalot, la femelle avale environ 500 kilos de nourriture par jour et le mâle jusqu'à 1,5 tonne.⁶

3.1.6. Ses prédateurs

En raison de sa taille et de son poids, on pourrait penser que le cachalot n'a pas de prédateur naturel. Il en a cependant un, comme tous les mammifères marins, l'orque. Il attaque généralement les cachalots en bandes, surtout les femelles, afin de chasser les baleineaux. La plupart du temps, le cachalot parvient à échapper à l'attaque.

L'orque reste un petit prédateur du cachalot. Ses pires ennemis sont les parasites, en particulier les parasites internes comme des vers plats (trématodes et cestodes), des nématodes ou des acanthocéphales. Leur présence crée parfois l'échouage et la mort de l'animal. La multiplication d'invertébrés dans les conduits auditifs du cachalot modifie le fonctionnement du sonar : l'animal devient alors incapable de se nourrir, de se diriger, d'éviter les fonds.

⁶ Cachalot : caractéristiques, taille, poids et photos, #GOODANDGREENGUIDES, Miguel Moore, France, 10 avril 2023, [Cachalot : caractéristiques, taille, poids et photos \(goodandgreenguides.com\)](https://goodandgreenguides.com), consulté le 19 octobre 2023

Le cachalot, Orca Depred, France, <https://orcadepred.cnrs.fr/ecologie/les-cachalots/>, consulté le 18 novembre 2023

Ils supportent plus facilement des parasites externes, en général des crustacés, fixés à la peau et qui laissent des cicatrices. On peut également trouver des rémoras (par exemple *Remora australis*) sur les jeunes individus car ces derniers ne vont pas chasser aux profondeurs atteintes par les adultes. En effet les rémoras ne supportent pas descendre à de telles profondeurs. Toutefois, quand un adulte revient en surface, l'un de ces rémoras peut alors quitter un jeune pour aller voir s'il n'y aurait pas de la nourriture à récupérer sur cet adulte.⁷



3.1.7. La vie sociale du cachalot

Les grands cachalots sont très sociables. Ils forment des groupes de 10 à 30 individus qui communiquent entre eux par des vocalises de socialisation, des cliquetis répétés, des hurlements de basse fréquence et des grincements appelés codas. Grâce aux AUV⁸ (cfr. section 5.1.3.) des chercheurs ont identifié 4 types de cliquetis distincts utilisés pour l'écholocation et pour les interactions sociales. Ces chercheurs ont également noté des séquences courtes de cliquetis à la surface utilisés pour maintenir la cohésion du groupe. Ils ont également noté que lorsque le grand cachalot mange, il produit des cliquetis extrêmement puissants et lorsqu'il chasse les cliquetis sont moins intenses et plus courts.

Ses vocalisations en cliquetis sont les sons les plus forts produits par un animal, elles sont utilisées dans le but de communiquer, de s'identifier et de se localiser entre eux. Les cachalots vivent 90 % de leur temps dans l'obscurité des profondeurs.⁹

« *Le cachalot est considéré comme l'animal le plus bruyant au monde* ». ¹⁰

⁷ Cachalot, Doris, Patricia Courtois, France, Avril 2018, <https://doris.ffessm.fr/Especies/Physeter-macrocephalus-Cachalot-767>, consulté le 20 octobre 2023

⁸ Sperm whale presence observed using passive acoustic monitoring from gliders of opportunity, Endangered species research, Pierre Cauchy, Karen J. Heywood, Denise Risch, Nathan D. Merchant, Bastien Y. Queste, Pierre Testor, International, 30 juillet 2020, <https://www.int-res.com/articles/esr2020/42/n042p133.pdf>, consulté le 7 février 2024

⁹ Le cachalot, Orca Depred, France, <https://orcadepred.cnrs.fr/ecologie/les-cachalots/>, consulté le 18 novembre 2023

¹⁰ Cachalot : caractéristiques, taille, poids et photos, #GOODANDGREENGUIDES, Miguel Moore, France, 10 avril 2023, [Cachalot : caractéristiques, taille, poids et photos \(goodandgreenguides.com\)](https://goodandgreenguides.com), consulté le 19 octobre 2023

Un autre comportement social consiste à se frotter très souvent les uns contre les autres.
11

Les jeunes mâles constituent des petits clans de célibataires (moins de 10 individus). Ils sont très joueurs quand ils sont loin des femelles. Cependant quand ils veulent les conquérir, les mâles sont extrêmement combattifs, comme en attestant les morsures qu'ils s'infligent.¹²

Les plus anciens mâles mènent leur vie en solitaire, et ne rejoignent leurs congénères que pour se reproduire.

Les femelles et leurs petits vivent en groupes matriarcaux, qu'elles ne quittent rarement, voire jamais. Face à un danger, elles adoptent une formation dite en marguerite, technique visant à encercler les bébés et à battre de la caudale pour intimider les assaillants.



3.1.8. La gestation

Chez le cachalot, le mâle s'accouple mais ne domine pas un groupe comme dans un harem. À l'issue d'une gestation de 14 à 16 mois, naît un seul petit.

Les femelles deviennent fertiles vers l'âge de 9 ans et les mâles sont sexuellement matures à environ 18 ans.¹³

Le cachalot se reproduit en avril-mai, dans les eaux chaudes.

Pendant au moins 19 à 42 mois, le baleineau boit un lait maternel très riche, dont le taux de matières grasses est bien supérieur à celui des mammifères terrestres (environ 36 %, contrairement au lait de vache qui est à 4 %). Les matières grasses confèrent au lait une consistance semblable à celle du fromage blanc qui empêche sa dissolution dans l'eau. À noter que, chez cette espèce, le nouveau-né ne tète pas mais récupère le lait expulsé des mamelles de sa mère.

Bien que le sevrage intervienne au bout de 18 mois à 3 ans, des baleineaux peuvent rester dans le giron maternel pendant plus d'une décennie.

¹¹ Le cachalot, grand cétacé à dents, Le mag des animaux, Nathalie Truche, France, 15 septembre 2022, <https://lemagdesanimaux.ouest-france.fr/dossier-1431-cachalot.html>, consulté le 20 octobre 2023

¹² Le cachalot, Encyclopaedia Universalis, Marie-Claude Bomsel, France, [https://www.universalis.fr/encyclopedie/cachalot/#:~:text=Mammif%C3%A8re%20marin%2C%20au%20corps%20fusel%C3%A9,dents\)%20%3B%20famille%20%3A%20Phys%C3%A9t%C3%A9rid%C3%A9s](https://www.universalis.fr/encyclopedie/cachalot/#:~:text=Mammif%C3%A8re%20marin%2C%20au%20corps%20fusel%C3%A9,dents)%20%3B%20famille%20%3A%20Phys%C3%A9t%C3%A9rid%C3%A9s), consulté le 14 octobre 2023

¹³ Le cachalot, grand cétacé à dents, Le mag des animaux, Nathalie Truche, France, 15 septembre 2022, <https://lemagdesanimaux.ouest-france.fr/dossier-1431-cachalot.html>, consulté le 20 octobre 2023

3.2. Le cachalot est-il une espèce menacée ?

Le cachalot a été victime d'une chasse industrielle surtout au 18^{ème} siècle, avant de décliner vers la fin du 19^{ème} siècle. La chasse reprendra après la deuxième guerre mondiale.

Le grand cachalot a d'abord été pêché pour son « spermaceti » qui est une matière grasse de teinte blanchâtre. Celle-ci a été exploitée dans différentes industries pour la fabrication de lubrifiants, de lampes à huile, de bougies, de produits cosmétiques (savons, pommades...).

Le cachalot a également été pêché pour son ambre gris¹⁴ principalement utilisé par les parfumeurs pour sa puissance odorante unique pour fixer et rehausser les fragrances.

Aujourd'hui, vu que la chasse du cachalot est interdite, les populations locales (Océans indien surtout) recherchent le « vomé » rejeté par le mammifère qui prend la forme d'un curieux rocher de couleur grise qui flotte avant de venir s'échouer sur les plages. Sa valeur est telle que l'ambre gris est surnommé « l'or flottant ».

En résumé, le cachalot était principalement chassé pour :

- L'exploitation de son « spermaceti »
- Son ambre gris
- Son ivoire provenant de ses dents
- Sa chair et de sa graisse

Cette exploitation massive a fait frôler l'extinction de la population de ce cétacé.

Les effectifs des cachalots ont commencé à se rétablir lentement depuis l'interdiction de la pêche commerciale (moratoire) instaurée en 1982 par la Commission baleinière internationale. Le cachalot est classé en catégorie vulnérable par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) et par la liste rouge des mammifères marins de France métropolitaine, évaluée en 2009.¹⁵ Avec moins de 2.500 individus à l'heure actuelle, la population française méditerranéenne est menacée de disparition depuis 2006.¹⁶

¹⁴ Cette substance résulte de l'interaction des sécrétions biliaires et des restes non digestibles des proies ingérés par le cachalot.

¹⁵ Le cachalot, Nausicaa, France, <https://www.nausicaa.fr/fr/ma-visite/animaux/le-cachalot>, consulté le 14 octobre 2023

¹⁶ Le cachalot, Parcs nationaux de France, France, <https://www.parcsnationaux.fr/fr/des-connaissances/biodiversite/faune-emblematisque/les-mammiferes/le-cachalot>, consulté le 14 octobre 2023

Des robots sous-marins envoyés en Méditerranée pour tenter de sauver les cachalots, daily geek show, Yann Contegat, France, 5 Août 2020, <https://dailygeekshow.com/robots-surveillance-cachalots/>, consulté le 18 novembre 2023

Actuellement, les différents problèmes qui constituent des menaces pour le grand cachalot sont :

- Les collisions avec les navires,
- La pollution sonore,
- La pollution chimique,
- Les prises accidentelles dans des filets de pêche,
- Le réchauffement climatique,¹⁷
- L'ingestion de débris marins,
- L'activité touristique d'observation de baleines.¹⁸

Les cachalots sont actuellement très surveillés. Leur capture est rare et extrêmement réglementée. Ils ne semblent pas être en voie d'extinction, même si leurs effectifs ont été considérablement réduits au début du 18^{ième} siècle par la prédation humaine.¹⁹

Actuellement seul le Japon chasse quelques spécimens chaque année. Sinon l'espèce est protégée dans la quasi-totalité des pays du globe.²⁰

¹⁷ Le cachalot, Baleines en direct, Canada, <https://baleinesendirect.org/decouvrir/especes-baleines-saint-laurent/13-especes/cachalot/>, consulté le 14 octobre 2023

¹⁸ Sperm whale presence observed using passive acoustic monitoring from gliders of opportunity, Endangered species research, Pierre Cauchy, Karen J. Heywood, Denise Risch, Nathan D. Merchant, Bastien Y. Queste, Pierre Testor, International, 30 juillet 2020, <https://www.int-res.com/articles/esr2020/42/n042p133.pdf>, consulté le 7 février 2024

¹⁹ Le cachalot, Encyclopaedia Universalis, Marie-Claude Bomsel, France, [https://www.universalis.fr/encyclopedie/cachalot/#:~:text=Mammif%C3%A8re%20marin%2C%20au%20corps%20fusel%C3%A9,dents\)%20%3B%20famille%20%3A%20Phys%C3%A9t%C3%A9rid%C3%A9s](https://www.universalis.fr/encyclopedie/cachalot/#:~:text=Mammif%C3%A8re%20marin%2C%20au%20corps%20fusel%C3%A9,dents)%20%3B%20famille%20%3A%20Phys%C3%A9t%C3%A9rid%C3%A9s), consulté le 14 octobre 2023

²⁰ Le grand cachalot description et comportement, Instinct Animal, France, <https://www.instinct-animal.fr/grand-cachalot/>, consulté le 14 octobre 2023

3.3. Dans quel écosystème vit le cachalot ?

Le cachalot est considéré comme une espèce cosmopolite, ce qui signifie que son aire de répartition s'étend sur toute la planète ou presque, dans des habitats appropriés. On le trouve dans des zones allant des pôles à l'équateur, dans tous les océans et dans la mer Méditerranée.²¹



Carte mondiale où les cachalots vivent (zones oranges).

Les femelles sont surtout dans les eaux tropicales et tempérées sous la 45^e parallèle. Les mâles sont dans les eaux froides pendant le printemps et l'été. Ils rejoignent les femelles pendant l'hiver.²²

Le cachalot se trouve généralement dans les eaux profondes au large des côtes, mais on peut les voir près de la côte dans les zones où le plateau continental est bas et diminue rapidement à des profondeurs de 310 à 920 mètres.²³

²¹ Le cachalot, Wild for Life, France, <https://wildfor.life/fr/species/le-cachalot>, consulté le 16 décembre 2023

²² Le cachalot, Baleines en direct, Canada, <https://baleinesendirect.org/decouvrir/especes-baleines-saint-laurent/13-especes/cachalot/>, consulté le 14 octobre 2023

²³ Le cachalot, Parcs nationaux de France, France, <https://www.parcsnationaux.fr/fr/des-connaissances/biodiversite/faune-emblematisque/les-mammiferes/le-cachalot>, consulté le 14 octobre 2023

3.4. A quelle profondeur plonge-t-il ?

En battant des records, le cachalot peut plonger jusqu'à des profondeurs de 3.000 mètres, c'est un excellent plongeur. Il peut rester plus de 90 minutes sans revenir à la surface.

Il chasse à une profondeur allant de 300 à 800 mètres de profondeur.

Il s'adapte facilement aux effets des fortes variations de pression dues à la plongée. Le secret de sa longue apnée repose sur 2 particularités principales :

- Une cage thoracique flexible autorisant un collapsus pulmonaire, c'est-à-dire l'action de diminuer l'entrée d'azote dans les tissus qui entraîne un ralentissement du métabolisme et donc des mouvements. En privant d'oxygène les organes périphériques, le phénomène favorise l'oxygénation des organes vitaux (cœur et cerveau) ;
- La présence dans le sang d'une forte quantité de myoglobine. Cette protéine fournit l'oxygène supplémentaire aux muscles pour maintenir l'activité du cachalot sous l'eau. D'autre part, la densité élevée des globules rouges génère une hémoglobine abondante facilitant le transport de l'oxygène.²⁴

Il se déplace habituellement à une vitesse de 5km/h mais en cas de fuite, il peut atteindre les 35km/h.²⁵

²⁴ Le cachalot, grand cétacé à dents, Le mag des animaux, Nathalie Truche, France, 15 septembre 2022, <https://lemagdesanimaux.ouest-france.fr/dossier-1431-cachalot.html>, consulté le 20 octobre 2023

²⁵ Le cachalot, jaitoutcompris, France, <https://www.jaitoutcompris.com/animaux/le-cachalot-198.php>, consulté le 14 octobre 2023

4. Les technologies

Des projets de recherche sont réalisés à partir de l'examen des carcasses, des biopsies avec leur analyse génétique, Avec la photo-identification réalisée à partir de la forme, du patron de coloration, des marques et cicatrices de la queue, les chercheurs effectuent un suivi à long terme des individus. Dans le Saint-Laurent, le GREMM dispose d'un catalogue d'une trentaine d'individus. Cette technique nécessite cependant que le cachalot soit à la surface et la présence d'un biologiste marin aux bons endroits, aux bons moments.

Les technologies développées ci-dessous permettent de parer à ces difficultés.²⁶

4.1. Les technologies utilisées dans l'observation des cachalots

4.1.1. Hydrophones

En méditerranée, des chercheurs ont installé un réseau de trois hydrophones suspendus à des bouées de surface à des profondeurs d'environ 100 m et distantes de 1 à 2 km, qui captent les sons émis par les cachalots. Dès réception, les données audios de toutes les bouées, ainsi que d'autres données, sont combinées pour permettre la détection et la localisation 3D des cachalots émettant des sons.



Le projet d'hydrophones innové par SAVEWhales (successful high-tech project to protect Sperm Whales) qui a duré deux périodes de trois mois pendant les étés 2020 et 2021, a démontré selon les chercheurs la faisabilité d'un suivi en temps réel des cachalots vocalisants lors de leurs plongées de nourrissage.

Vu qu'on sait exactement où se trouvent les cachalots grâce aux hydrophones cela pourrait éventuellement atténuer les collisions avec les navires dans le futur. Nous savons que les navires constituent la menace la plus importante pour les cachalots en Méditerranée, en particulier dans les cas où les principales voies de navigation traversent

²⁶ Le cachalot, Baleines en direct, Canada, <https://baleinesendirect.org/decouvrir/especes-baleines-saint-laurent/13-especes/cachalot/>, consulté le 14 octobre 2023

la fosse hellénique et ne peuvent pas être séparés des habitats des cachalots par un simple déplacement.²⁷

Une autre étude avec des hydrophones a été faite à l'île Maurice. Dans le cadre du programme de recherche à long terme (2023-2028) « La Voix des Cachalots » dont l'objectif est d'identifier visuellement, génétiquement et acoustiquement chaque cachalot, pour les dénombrer, analyser la structure sociale de chacun des clans afin de suivre la dynamique de la population de l'île Maurice.

Cette étude est novatrice car elle est basée sur l'observation sous-marine passive et sur l'enregistrement vidéo et audio. Les éléments de ce rapport permettront de suivre dans le détail l'évolution des affinités sociales et des expressions sonores (évolution culturelle).²⁸

Il n'existe pas encore de résultats finaux étant donné que l'étude dure jusqu'en 2028.

Selon moi les avantages de cette technologie sont multiples. On peut détecter les modes de vie des cachalots, ce qu'ils font et où ils sont localisés. Cependant les hydrophones étant à des endroits fixes, ils ne peuvent pas être 100% adaptés pour l'observation et la protection des cachalots vu que ceux-ci bougent beaucoup et plongent très profondément. De plus, s'agissant d'outils uniquement acoustiques, ils ne peuvent pas transmettre d'images.

4.1.2. ROV (Remotely Operated Vehicles)

Des scientifiques américains de l'expédition Nautilus lancée début 2015 et qui a pour but d'étudier l'impact des gaz naturels sur l'environnement maritime dans le Golfe du Mexique surveillaient le robot sous-marin ROV (Remotely Operated Vehicles) Hercules à 600 mètres de profondeur, quand l'engin s'est retrouvé face à une visite très imposante. Un cachalot, sans doute très curieux, est venu tourner autour du robot. Les scientifiques, d'abord surpris, ont pu contempler le cétacé qui



²⁷ En Grèce, des chercheurs tentent de sauver les cachalots grâce à la technologie, Les numériques, Romain Challand, France, 22 Août 2022, <https://www.lesnumeriques.com/pro/en-grece-des-chercheurs-tendent-de-sauver-les-cachalots-grace-aux-technologies-n189911.html>, consulté le 15 octobre 2023

²⁸ La voix des cachalots, Longitude 181, Véronique Sarano, François Sarano, France, 6 mai 2023, https://www.longitude181.org/pdf/cachalots/Rapport_mission_cachalots_Maurice_2023_Longitude181-IOML_LIS_universite_Toulonv.pdf, consulté le 28 avril 2024

a fait plusieurs fois le tour de l'engin. Toutes ces images ont été filmées.²⁹

Il ne s'agit pas d'une technologie spécifique pour l'observation des cachalots. Cependant, je trouvais intéressant de le mentionner pour démontrer que d'autres types de robots peuvent aussi être utilisés et que les chercheurs partagent leurs données.

4.1.3. AUV (Autonomous Underwater Vehicles)

Une étude a été publiée en 2020³⁰ dont l'objectif était de comprendre la vie des cachalots en Méditerranée, notamment en hiver pour mieux gérer les activités de pêche et de navigation afin de mieux protéger le cachalot.

Pour réaliser cette étude, les chercheurs ont utilisé des AUV (Autonomous Underwater Vehicles) durant l'hiver 2012 – 2013 ainsi qu'en juin 2014. Ces systèmes permettent d'observer le comportement des cachalots de façon passive et de collecter d'autres données telles que, les AUV permettent des observations et la collecte de données (i) durant la nuit, (ii) peu importe les conditions climatiques et (iii) en dessous de la surface.

Les AUV sont donc beaucoup plus efficaces pour l'observation des grands cachalots. De plus les AUV peuvent transporter des outils pour monitorer les océans et collecter d'autres informations telles que différents bruits, salinité de l'eau, profondeur, température, pression, oxygène, présence de chlorophylle, ... Ils transportent également des batteries qui permettent un enregistrement de 200 heures et des cartes SD pour enregistrer les données.

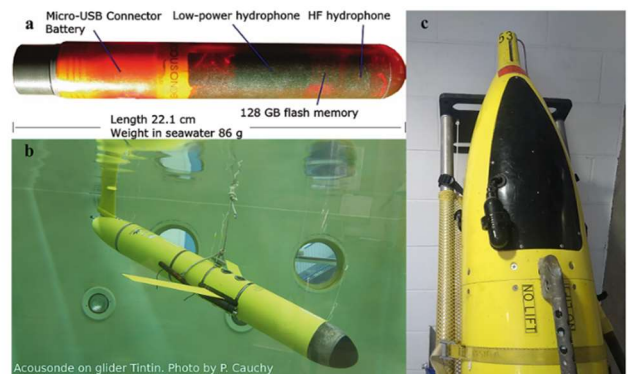


Fig. 1. (a) Internal layout of the Acousonde™ data logger and (b) experimental setup, externally attached on a Slocum glider in the ballasting tank. (c) Seaglider integrated passive acoustic monitoring unit. Only the sensor can be seen outside the hull; the electronics are integrated inside the glider's pressure housing

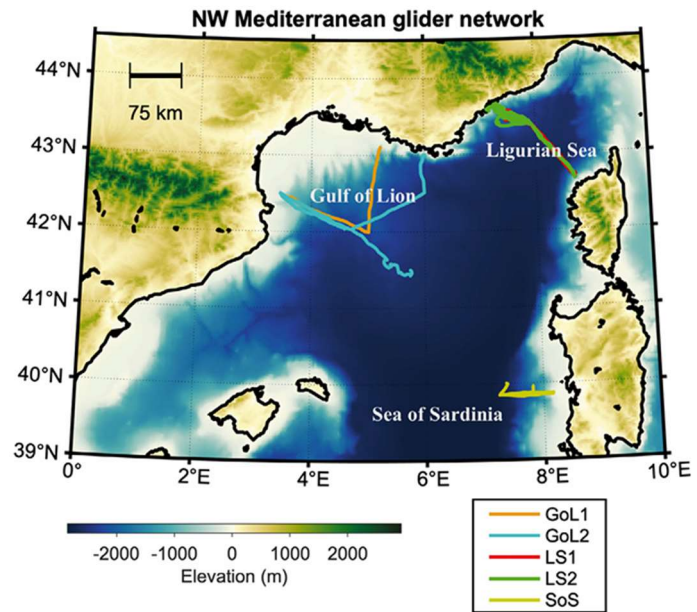
Ces AUV ont donc été déployés en Méditerranée.

Nous notons cependant que les AUV descendent jusqu'à 1.000 mètres de profondeur. Or le cachalot plonge jusqu'à 3.000 mètres de profondeur. On note donc que les AUV ont une limite pour observer le cachalot.

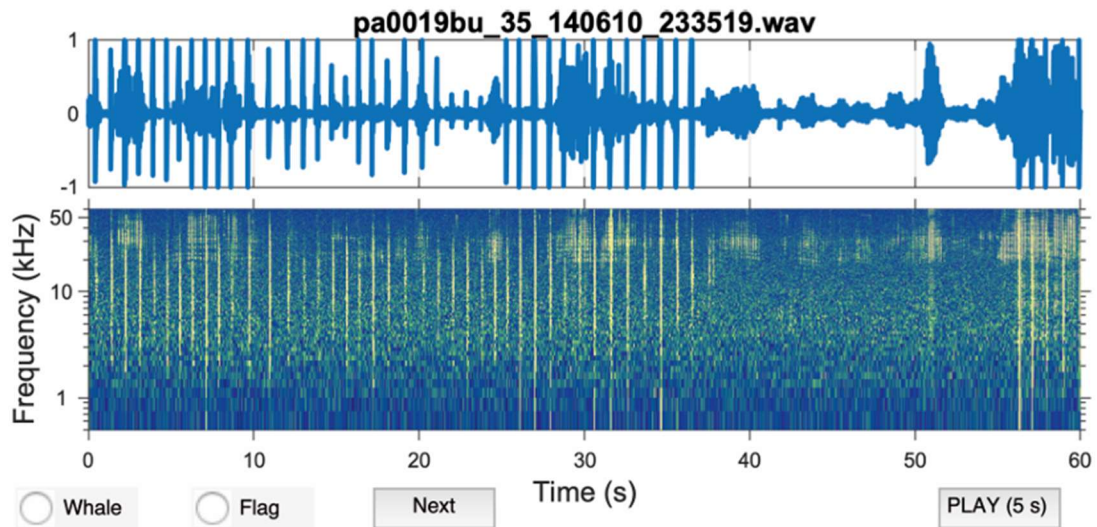
²⁹ Rencontre avec un cachalot à 600 mètres de profondeur, RTBF, Sarah Bachelart, Mexique, 22 avril 2015, <https://www.rtb.be/article/rencontre-avec-un-cachalot-a-600-metres-de-profondeur-video-8962624>, consulté le 16 décembre 2023

³⁰ Sperm whale presence observed using passive acoustic monitoring from gliders of opportunity, Endangered species research, Pierre Cauchy, Karen J. Heywood, Denise Risch, Nathan D. Merchant, Bastien Y. Queste, Pierre Testor, International, 30 juillet 2020, <https://www.int-res.com/articles/esr2020/42/n042p133.pdf>, consulté le 7 février 2024

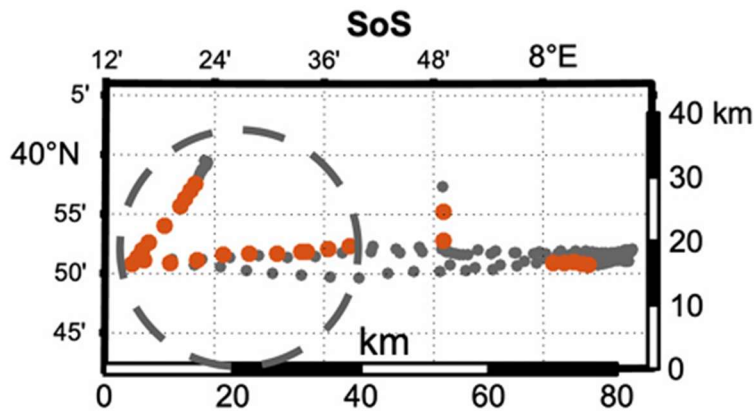
Lors de cette étude des AUV ont été placé à trois endroits de la Méditerranée comme montré sur l'image ci-dessous.



Voici un exemple d'un enregistrement de cliquetis réalisé par un AUV lors de cette étude. On note que les cliquetis sont fort proches et à des intensités fortes. Selon les chercheurs, on peut donc supposer que le cachalot observé était en train de manger.

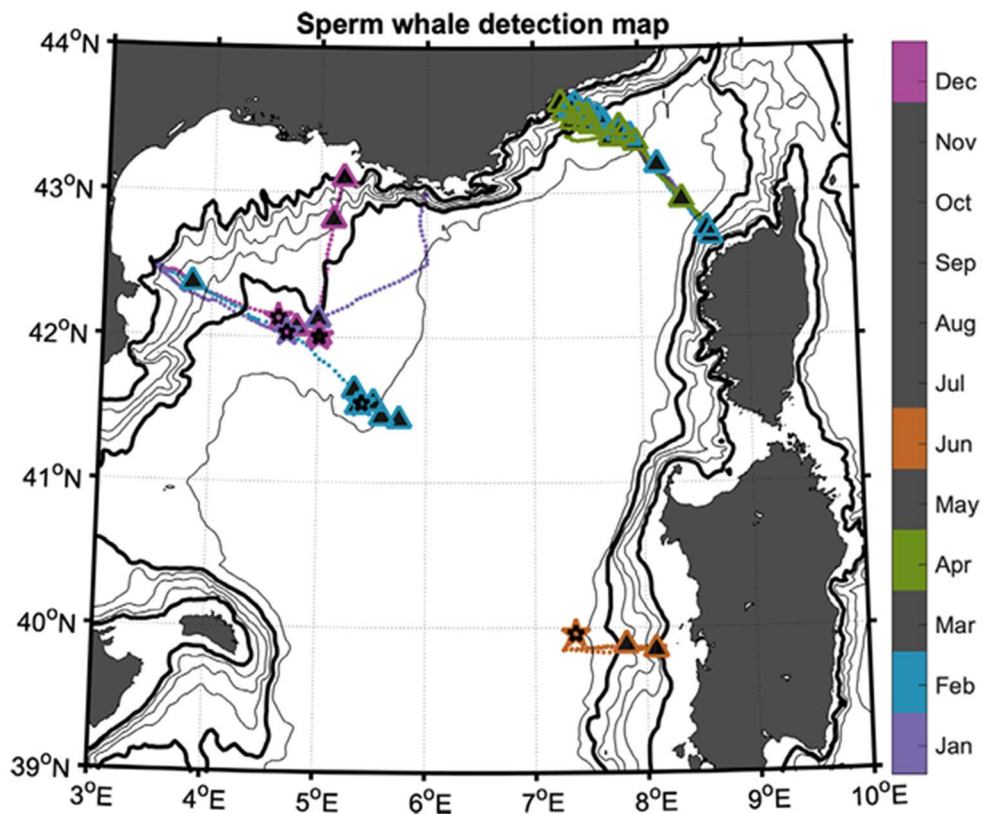


L'image suivante montre où se trouvaient les AUV (points gris) et quels AUV ont détecté des cachalots (points rouge). On peut noter que dans le cercle d'un diamètre de 39 kilomètres les AUV ont trouvé beaucoup plus de cachalots que hors du cercle. Ce qui prouve que les grands cachalots vivent en communauté comme expliqué au point 4.1 ci-dessus.



La conclusion majeure de cette étude et qu'il y a des cachalots en Méditerranée été comme hiver.

Sur la droite du graphique ci-dessous, on peut voir les mois pendant lesquels des AUV ont été utilisés (mois en couleur). Le graphique montre également les endroits où les AUV ont détecté des cachalots ; une étoile représente un groupe de cachalot et un triangle représente un cachalot seul.



Autre conclusion de l'étude est que les AUV ont détecté beaucoup de cachalots surtout dans le golfe de Lion sûrement parce qu'il y a plus de proies pour les grands cachalots.

Les AUV peuvent être utilisés dans des recherches plus approfondies pour mieux comprendre le cachalot et connaître son habitat préféré en Méditerranée.

Selon moi les AUV ont plusieurs avantages par rapport notamment aux hydrophones. Ils sont en mouvement et ils ont la capacité de plonger à des profondeurs allant jusqu'à 1.000 mètres (contre 100 mètres pour les hydrophones). De plus, comme expliqué ci-dessus, les AUV sont utilisés dans de nombreuses études.

Cependant les AUV étant à des endroits fixes, ils ne peuvent pas plonger à 3.000 mètres et ne peuvent pas transmettre d'images.

Je trouve que les AUV sont une excellente technologie mais le point négatif est qu'il n'a pas été fait pour pouvoir plonger à 3.000 mètres de profondeur. Les AUV, comme on peut le voir ci-dessus, sont quand même utiles pour de nombreuses études.

4.1.4. Marquage et suivi

Un nouvel outil de marquage a été créé par trois scientifiques de l'université de l'état de l'Oregon, en décembre 2016 et baptisé ADB ce qui veut dire « Advanced Dive Behaviour ». Il donne de nombreuses informations sur le cachalot comme sa pression hydrostatique³¹, la profondeur à laquelle il plonge, ses phases d'accélération, la température de l'eau, la luminosité, ses techniques de chasse ou encore la mesure du champ magnétique environnant. Il fournit bien sûr aussi la localisation du cachalot.

Des essais ont été menés sur 46 grands cachalots mais également sur 8 baleines bleues et 5 rorquals communs.



³¹ La pression de l'eau à partir d'une certaine profondeur qui devient de plus en plus importante

Un avantage supplémentaire de ce marqueur est qu'il va permettre aux chercheurs de connaître l'effet du bruit des bateaux sur le comportement des cachalots.

Les marqueurs ADB peut rester actif pendant 3 à 7 semaines. Quand ils ne sont plus actifs, ils se détachent automatiquement du mammifère afin de permettre aux scientifiques d'aller les récupérer.³²

Selon moi les avantages du marquage et suivi est qu'il n'y a pas de limite de profondeur et comme les hydrophones, il permet l'étude des cachalots sans s'en approcher en direct, ce qui est très important parce qu'on ne saurait pas facilement les approcher. De plus les marqueurs donnent des données plus spécifiques à la biologie du cachalot, ce que les autres technologies ne font pas.

Cependant il faut garder à l'esprit que quand les chercheurs leur placent des marqueurs, cela n'est jamais sans risque car les cachalots peuvent garder une blessure qui pourrait s'infecter. Un autre inconvénient de cette technique est qu'on ne peut que suivre et analyser un seul cachalot à la fois, il n'est donc pas possible par exemple d'étudier leur vie sociale.

4.1.5. Drones marins

Depuis mi-juillet 2017, un drone à la ressemblance d'une pirogue polynésienne navigue au large des côtes de Toulon (dans le sud de la France), où on peut trouver des cachalots. Il a avec lui plusieurs micros sous-marins pour enregistrer les sons émis par les cachalots. Grâce au drone sous-marin Sphyrna, les scientifiques aimeraient décrypter les déplacements des cachalots pour mieux protéger cette espèce menacée en Méditerranée.

Le drone marin commandé à distance peut suivre silencieusement les cachalots pendant des heures dans les abysses et capter les sons avec ses cinq micros sous-marins sur un rayon de 6 km et une profondeur de 2.000 mètres, tout cela grâce à l'intelligence artificielle. Ce qui est très intéressant car le cachalot plonge jusqu'à 3.000 mètres de profondeur. On pourrait donc l'observer sur une grande partie de sa plongée.

Le drone marin est assez petit pour un bateau de recherches, il fait 17 mètres de long et 4 mètres de large. Il pèse à peine plus d'une tonne grâce avec ses coques en fibre de carbone et il est particulièrement stable grâce à leurs formes asymétriques. Son profil effilé permet aussi de réduire les frottements avec l'eau.

³² Une balise nouvelle génération pour étudier les grands mammifères marins, Sciences et Avenir, Anne-Sophie Tassart, France, 30 décembre 2016, https://www.sciencesetavenir.fr/animaux/animaux-marins/l-adb-une-balise-nouvelle-generation-pour-etudier-les-grands-mammiferes-marins_109324, consulté le 20 mai 2024



Le drone marin est surtout caractérisé pour son autonomie d'énergie car il est alimenté en énergie renouvelable solaire, hydraulique et éolienne. Il navigue à une vitesse de 5 nœuds et est doté d'une propulsion utilisant 500 watts, soit l'équivalent d'un sèche-cheveux.

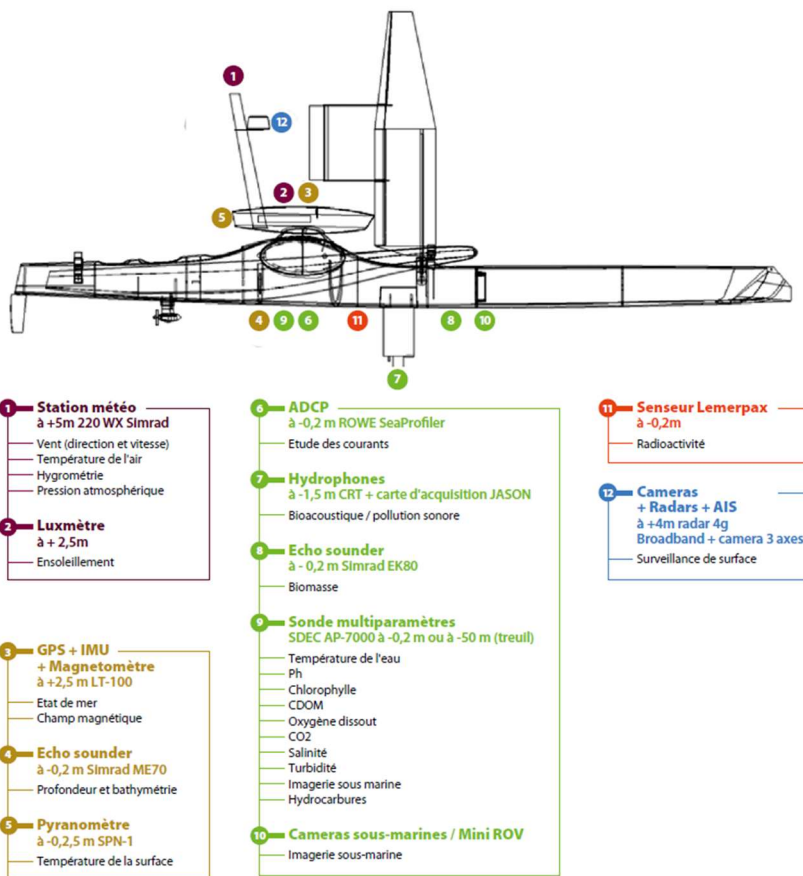
Le chercheur en bio-acoustique à l'université de Toulon, Hervé Glotin, est derrière son ordinateur et attend la surprise d'entendre des intervalles de cliquetis du grand cachalot grâce au drone marin.

Pour rappel, le grand cachalot, quasiment invisible, passe plus de 95% de son temps sous l'eau à plus de 1.000 mètres de profondeur dans la plus totale obscurité et se dirige grâce à un sonar ultra-performant. L'étude acoustique reste actuellement encore le meilleur moyen de connaître ce cétacé.³³

Selon moi le drone marin a plusieurs avantages par rapport notamment aux hydrophones et aux AUV. Ils sont mobiles, peuvent suivre les cachalots et ont un diamètre d'écoute de 12 km. Il peut observer jusqu'à 2.000 mètres de profondeur. Un autre point très important selon moi est que le drone marin est totalement autonome, il n'utilise que des énergies renouvelables. Il a donc un faible coût de fonctionnement.

Cependant, le drone marin est lent et il n'a pas de caméra embarquée. Il ne peut donc pas enregistrer d'images. Il est limité à une profondeur de 2.000 mètres alors que le cachalot plonge à 3.000 mètres.

³³ Un drone marin pour recenser et mieux protéger les cétacés en Méditerranée, Science et Avenir, France, 17 août 2018, https://www.sciencesetavenir.fr/sciences/un-drone-marin-pour-recenser-et-mieux-protoger-les-cetaces-en-mediterranee_126780, consulté le 15 octobre 2023



34

4.2. Technologies utilisées dans d'autres secteurs

Lors de mes recherches, je n'ai pas trouvé de robot utilisé dans le cadre de l'observation et de la protection du cachalot : Je me suis alors demandé s'il existait des robots utilisés dans d'autres secteurs et qui pourraient être adaptés pour le cachalot :

Il n'existe pas encore de robots sous-marins prévu pour les cachalots qui puissent plonger jusque 3.000 mètres de profondeurs mais il existe d'autres robots qui peuvent plonger à cette profondeur.

Lors de mes recherches, j'ai notamment identifié 3 robots qui plongent à des profondeurs importantes et qui pourraient éventuellement être adaptés pour l'observation des cachalots.

³⁴ Sphyrna Odyssey, l'innovation au service de la science, Le cahier environnement de marine & océans, Bertrand de Lesquen, France, 2019, <https://www.accobams.org/wp-content/uploads/2019/09/Dossier-Sphyrna-Odyssey-MO-3e%CC%80me-trilimestre-19.pdf>, consulté le 20 mars 2024

4.2.1. Le Ulyx

Ulyx est un AUV (Autonomous Underwater Vehicle) qui peut plonger jusqu'à 6.000 mètres de profondeur, il n'en existe seulement quatre sur la terre, au Japon, en Grande Bretagne, aux États-Unis et la France vient également d'en avoir un.

Il pèse 2.7 tonnes, il va à une vitesse de 4 nœuds et il a une autonomie de 48 heures.

L'AUV est équipé de sondeurs et de sonars acoustiques qui décrivent le relief et les caractéristiques des fonds, d'un appareil photo. Il est également doté de plusieurs instruments pour la mesure d'oxygène dissout, de méthane, de champ magnétique...

Il peut aussi prélever de l'eau pour des mesures physiques et chimiques. Ulyx est ainsi capable de remonter une multitude d'informations en une seule immersion.

Ulyx est majoritairement utilisé pour l'évaluation des ressources minérales, l'écologie et le fonctionnement des écosystèmes profonds et de leurs changements et la caractérisation biogéochimique des environnements.



4.2.2. BathyBot

BathyBot est un robot qui a été placé de manière permanente au fond de la mer Méditerranée à 2.400 mètres de profondeur, le 19 avril 2023.

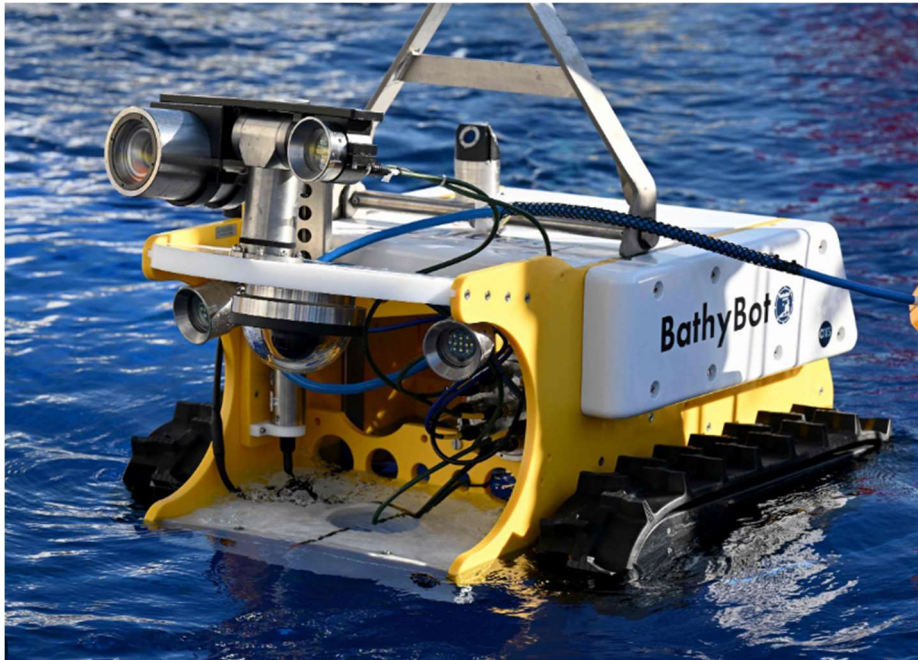
BathyBot porte des capteurs pour mesurer de nombreux paramètres : la température, la salinité, la vitesse et direction du courant, le flux particulaire et la concentration en oxygène. Il analyse aussi la bioluminescence³⁵ environnante à l'aide d'une caméra hypersensible.

BathyBot permet d'étudier la biodiversité des grands fonds sur son site d'opération, l'impact des mouvements d'eau sur ces écosystèmes, le cycle du carbone et son évolution dans les profondeurs face aux perturbations atmosphériques, mais aussi l'acidification,

³⁵ Energie lumineuse dégagée par certaines espèces animales

avec l'évolution de la température et de l'oxygénation des eaux profondes méditerranéennes.

Téloguidé depuis la terre ferme, il a pour mission d'être les yeux des scientifiques dans ce monde inconnu.



4.2.3. Nereus (Poséidon)

Le 31 mai 2009, le sous-marin Nereus a été placé dans la fosse des Mariannes qui est la fosse la plus profonde de la planète. Il a réussi à aller jusqu'à 10.000 mètres de profondeur.

Il est resté plus de 10 heures à cette profondeur, piloté à la surface de l'océan grâce à un câble de fibre optique relié à un bateau.

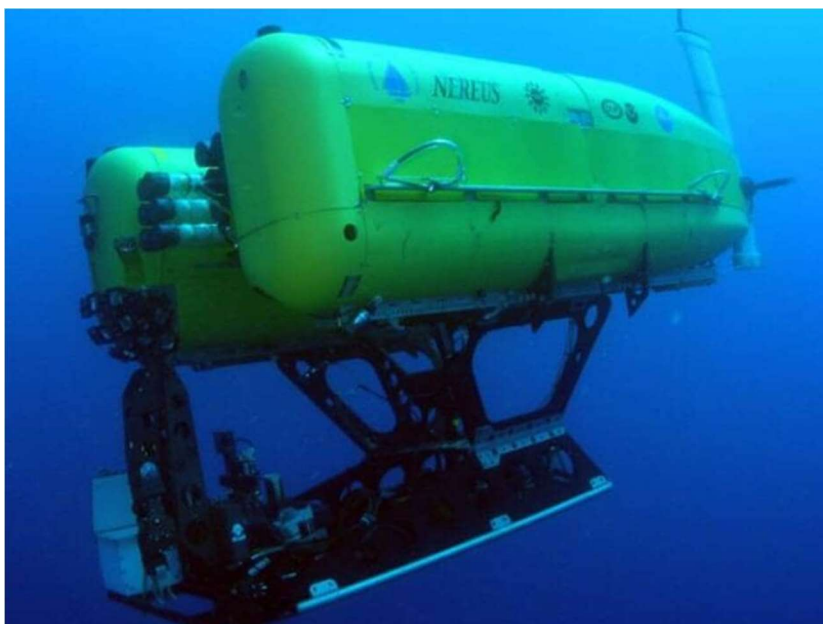
Nereus est le sous-marin ayant plongé le plus profond au monde et le premier ayant exploré la fosse des Mariannes depuis 1998.

Il pèse près de 3 tonnes, mesure 4 mètres de long et plus ou moins 2,5 mètres de large.

Il a été créé par l'Institut océanographique de Woods Hole (WHOI), un centre de recherche privé qui est basé au Massachusetts aux États-Unis.

Le robot a pu envoyer des vidéos instantanément au bateau et il pouvait même récupérer des échantillons grâce à ses bras articulés.

Cet outil permet des recherches sur les systèmes géologiques et biologiques les plus dynamiques, car c'est là que beaucoup de tremblements de terre et d'éruptions volcaniques sous-marines se produisent.



Selon moi, ces 3 robots qui sont essentiellement utilisés pour la biodiversité pourraient aussi être utilisés pour l'observation et la protection des cachalots. Je trouve cependant que l'AUV Ulyx serait le robot le plus adapté parce qu'il plonge à une profondeur plus importante que celle des cachalots à savoir 6.000 mètres. De plus, il a une caméra, plusieurs sondeurs et sonars grâce auxquels il peut enregistrer les sons. Il peut aussi prélever des échantillons comme de l'eau qui peut aussi être intéressant pour analyser les caractéristiques des endroits où se trouvent les cachalots.

Je trouve cependant que le défaut principal de l'AUV Ulyx dans le cadre de l'observation et la protection des cachalots est qu'il est lent alors que les cachalots nagent à une vitesse moyenne de 5 km/h.

4.3. L'IA (Intelligence Artificielle)

L'Intelligence artificielle désigne une vaste constellation de sciences, de théories, de techniques et de technologies reposant sur la simulation ou imitation du processus de l'intelligence humaine.

Le fonctionnement de l'IA repose sur 3 facteurs indispensables : des systèmes informatiques puissants, une vaste quantité de données ou data, des algorithmes d'IA avancés (codes).

Depuis 23 février 2022, l'agence nationale de recherche (ANR) en partenariat avec l'agence française de développement (AFD) ont créé un projet qui s'appelle IA-BIODIV. Ce projet devrait durer 4 ans et consiste à utiliser l'intelligence artificielle pour prédire l'évolution de la biodiversité marine.

Bien que ce projet ne soit pas à 100% en lien avec les grands cachalots, je trouve qu'il est intéressant de le mentionner car sans cette biodiversité les cachalots ne pourraient pas survivre.

Une autre étude a été faite par la division de recherche aquatique Pêches et Océans Canada et Whale Seeker. L'étude consiste notamment en une analyse d'images aériennes de bélugas et de narvals. Ce travail a été fait par les chercheurs en utilisant une intelligence artificielle « Möbius ».

Pendant cette étude, les chercheurs ont découvert qu'il leur fallait 1.300 heures pour analyser 5.500 images aériennes à l'œil nu, alors que l'intelligence artificielle « Möbius » a pris 53 heures pour faire le même travail.

De nouveau, cette étude ne parle pas directement du cachalot. Je la mentionne car grâce à la rapidité de l'intelligence artificielle, on pourrait détecter plus rapidement des problèmes que pourraient rencontrer les cachalots.

L'intelligence artificielle (IA) est une technologie qui est devenue incontournable et qui nous offre beaucoup de possibilités pour optimiser les activités commerciales, la vie quotidienne, mais elle peut aussi nous aider à protéger notre planète et ses habitants. Voici donc comment l'intelligence artificielle est devenue une technologie indispensable dans la protection de l'environnement alors même que nous sommes dans une période problématique pour notre planète.

En 2019, Capgemini³⁶ s'est engagé à accompagner la biologiste marine Lisa Steiner qui vit au Açores à l'occasion du concours annuel Global Data Science Challenge, une compétition internationale interne à Capgemini lors de laquelle des centaines de collaborateurs s'affrontent en équipes pour relever des défis réels grâce à l'Intelligence Artificielle.³⁷

Un des résultats de ce concours a notamment été de développer une intelligence artificielle qui permet de trouver plus facilement des correspondances entre différentes images de nageoires qui étaient auparavant passées inaperçues. On pourrait espérer que dans le futur ce type de concours permette éventuellement de développer de l'intelligence artificielle utile à l'observation et la protection des cachalots.

Et s'il était bientôt possible de parler aux cachalots ? C'est en tout cas l'objectif d'une équipe de chercheurs de Harvard, du MIT, de l'Imperial College de Londres, de la City University of New York, de l'Université de Haïfa, de l'UC Berkeley et de l'Institute for Scientific Interchange. Le projet, débuté en 2020, s'appelle Project CETI (Cetacean Translation Initiative).

Son but : traduire les cliquetis produits par les cachalots pour communiquer entre eux, grâce à l'intelligence artificielle. Ces clics sont organisés en séquences types appelées "codas".



³⁶ Entreprise du service de numérique française

³⁷ L'IA au service de la protection des cachalots, Capgemini, France, <https://www.capgemini.com/fr-fr/actualites/cas-clients/ia-protection-cachalots/>, consulté le 18 novembre 2023

Les experts estiment être capables de communiquer avec les cachalots d'ici cinq ans. Ils n'en sont pour le moment qu'au début du projet, avec la mise au point de prototypes non-invasifs à fixer sur ces grands mammifères, afin d'enregistrer leurs clics. Les chercheurs utilisent aussi des outils d'audio comme des hydrophones (cfr 5.1.1.), de vidéos et même des poissons robotiques mous afin de pouvoir le transmettre à l'intelligence artificielle.

L'intelligence artificielle devra ensuite relier chaque son à un contexte spécifique. Si cela fonctionne, l'IA devra développer "*un système semblable aux modèles de langage humain qui génère des énoncés de baleine grammaticalement corrects*". Ce système sera ensuite téléchargé sur un chatbot³⁸ interactif, qui sera déployé dans l'océan pour dialoguer avec les grands cachalots dans leur milieu naturel.³⁹

Selon moi, l'IA va nous permettre de faire de grandes avancées en termes de connaissance du cachalot. Cependant, elle n'est pas suffisante si elle est utilisée seule. Je pense que l'optimum serait de fusionner plusieurs technologies. On pourrait par exemple imaginer d'utiliser l'AUV Ulyx qui serait directement lié à l'IA qui permettrait d'analyser en direct toutes les informations récoltées et éventuellement converser avec les cachalots sous l'eau.

³⁸ Programme informatique qui dialogue avec un utilisateur

³⁹ L'homme pourrait bientôt communiquer avec les cachalots grâce à l'intelligence artificielle, GEO, Chloé Gurdjian, France, 29 octobre 2021, <https://www.geo.fr/animaux/lhomme-pourrait-bientot-communiquer-avec-les-cachalots-grace-a-lintelligence-artificielle-206862>, consulté le 18 novembre 2023

5. Conclusion

Au début de mon travail personnel, j'ai présenté le cachalot, un mammifère marin exceptionnelle notamment par sa capacité à plonger à des profondeurs remarquables, à savoir jusqu'à 3.000 mètres. J'ai aussi relevé le fait que le cachalot est classé en catégorie vulnérable par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) et par la liste rouge des mammifères marins de France métropolitaine, évaluée en 2009.

Vu ses compétences exceptionnelles et la situation critique dans laquelle il se trouve, je me suis demandé quelles technologies actuelles étaient utilisées pour observer cette espèce fascinante afin de pouvoir mieux la comprendre et donc la protéger.

Les technologies utilisées actuellement sont les hydrophones, les ROV, les AUV, le marquage et suivi, les drones marins. La plus impressionnante étant selon moi le drone marin car il a une grande quantité de détecteurs différents et un il a également un très grand rayon de détection qui est de 2.000 mètres de profondeur et de 6.000 mètres de large.

Cependant, aucune de ces technologies ne peut atteindre les profondeurs maximales du cachalot, qui est de 3.000 mètres.

En poursuivant mes recherches, je me suis demandé si d'autres technologies existent dans d'autres domaines et qui pourraient éventuellement être utilisées pour l'observation et la protection du cachalot.

J'ai notamment découvert les robots Ulyx, BathyBot et Nereus (Poséidon) capables de plonger très profondément et donc intéressants pour l'observation et à la protection des cachalots.

J'ai également abordé le développement de l'intelligence artificielle, une technologie prometteuse pour améliorer la compréhension des cachalots dans le futur. Une étude est notamment en cours actuellement pour tenter de comprendre la langue des cachalots et espérer un jour pouvoir communiquer avec eux.

Selon moi, l'idéal serait de développer une technologie combinant les capacités de détection avancée des drones marins, capable de détecter à au moins 3.000 mètres de profondeur, d'enregistrer des sons, de prendre des photos et vidéos et de se déplacer à une vitesse plus élevée que 5 nœuds afin de suivre efficacement les cachalots. Il serait aussi intéressant d'y ajouter l'intelligence artificielle pour par exemple une analyse rapide et efficace de toutes les données qui seraient collectées.

En conclusion, les technologies actuelles sont limitées dans leur capacité à protéger les cachalots, car elles ne peuvent pas les observer pleinement en raison des profondeurs extrêmes atteintes par les grands cachalots. Il est logique que sans une observation précise, la protection soit difficile à assurer. Pour améliorer la protection des cachalots, il est nécessaire de continuer à innover et à développer des technologies capables d'améliorer ces recherches.

6. Bibliographie

1. Le cachalot, Baleines en direct, Canada, <https://baleinesendirect.org/decouvrir/especes-baleines-saint-laurent/13-especes/cachalot/>, consulté le 14 octobre 2023
2. Cachalot (physeter macrocephalus), muséum national d'histoire naturelle, France, <https://www.mnhn.fr/fr/cachalot>, consulté le 14 octobre 2023
3. Le cachalot, Nausicaa, France, <https://www.nausicaa.fr/fr/ma-visite/animaux/le-cachalot>, consulté le 14 octobre 2023
4. Le grand cachalot, Wikipedia, International, https://fr.wikipedia.org/wiki/Grand_cachalot, consulté le 14 octobre 2023
5. Le cachalot, jaitoutcompris, France, <https://www.jaitoutcompris.com/animaux/le-cachalot-198.php>, consulté le 14 octobre 2023
6. Le cachalot, Encyclopaedia Universalis, Marie-Claude Bomsel, France, [https://www.universalis.fr/encyclopedie/cachalot/#:~:text=Mammif%C3%A8re%20marin%2C%20au%20corps%20fusel%C3%A9,dents\)%%20%3B%20famille%20%3A%20Phys%C3%A9t%C3%A9rid%C3%A9s](https://www.universalis.fr/encyclopedie/cachalot/#:~:text=Mammif%C3%A8re%20marin%2C%20au%20corps%20fusel%C3%A9,dents)%%20%3B%20famille%20%3A%20Phys%C3%A9t%C3%A9rid%C3%A9s), consulté le 14 octobre 2023
7. Le cachalot, Parcs nationaux de France, France, <https://www.parcsnationaux.fr/fr/des-connaissances/biodiversite/faune-emblématique/les-mammifères/le-cachalot>, consulté le 14 octobre 2023
8. Le grand cachalot description et comportement, Instinct Animal, France, <https://www.instinct-animal.fr/grand-cachalot/>, consulté le 14 octobre 2023
9. Un drone marin pour recenser et mieux protéger les cétacés en Méditerranée, Science et Avenir, France, 17 août 2018, https://www.sciencesetavenir.fr/sciences/un-drone-marin-pour-recenser-et-mieux-protéger-les-cetaces-en-mediterranee_126780, consulté le 15 octobre 2023
10. En Grèce, des chercheurs tentent de sauver les cachalots grâce à la technologie, Les numériques, Romain Challand, France, 22 août 2022, <https://www.lesnumeriques.com/pro/en-grece-des-chercheurs-tentent-de-sauver-les-cachalots-grace-aux-technologies-n189911.html>, consulté le 15 octobre 2023
11. Cachalot : caractéristiques, alimentation et habitat, ProjetEcolo, Paola Milan Lopez, France, 10 novembre 2022, [Cachalot : caractéristiques, alimentation et habitat \(projetecolo.com\)](https://www.projetecolo.com/cachalot-caracteristiques-alimentation-et-habitat), consulté le 19 octobre 2023
12. Cachalot : caractéristiques, taille, poids et photos, #GOODANDGREENGUIDES, Miguel Moore, France, 10 avril 2023, [Cachalot : caractéristiques, taille, poids et photos \(goodandgreenguides.com\)](https://www.goodandgreenguides.com/cachalot-caracteristiques-taille-poids-et-photos), consulté le 19 octobre 2023
13. Le cachalot, grand cétacé à dents, Le mag des animaux, Nathalie Truche, France, 15 septembre 2022, <https://lemagdesanimaux.ouest-france.fr/dossier-1431-cachalot.html>, consulté le 20 octobre 2023

14. Cachalot, Doris, Patricia Courtois, France, Avril 2018, <https://doris.ffesm.fr/Especies/Physeter-macrocephalus-Cachalot-767>, consulté le 20 octobre 2023
15. Etude étho-acoustique d'un groupe social de cachalots (mémoire), Université de Liège, Lara Berkenbaum, Belgique, 2020 – 2021, <https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/12623/4/L.%20Berkenbaum%20-%20Me%CC%81moire%20Ulg%202020-2021.pdf>, consulté le 16 novembre 2023
16. L'IA au service de la protection des cachalots, Capgemini, France, <https://www.capgemini.com/fr-fr/actualites/cas-clients/ia-protection-cachalots/>, consulté le 18 novembre 2023
17. L'homme pourrait bientôt communiquer avec les cachalots grâce à l'intelligence artificielle, GEO, Chloé Gurdjian, France, 29 octobre 2021, <https://www.geo.fr/animaux/lhomme-pourrait-bientot-communiquer-avec-les-cachalots-grace-a-lintelligence-artificielle-206862>, consulté le 18 novembre 2023
18. Le cachalot, Orca Depred, France, <https://orcadepred.cnrs.fr/ecologie/les-cachalots/>, consulté le 18 novembre 2023
19. Pour la première fois, des scientifiques ont filmé la naissance d'un grand cachalot, National Geographic, Allie Yang, France, 5 septembre 2023, <https://www.nationalgeographic.fr/animaux/rare-magnifique-des-scientifiques-ont-par-hasard-reussi-a-filmer-la-naissance-dun-grand-cachalot>, consulté le 18 novembre 2023
20. Des robots sous-marins envoyés en Méditerranée pour tenter de sauver les cachalots, daily geek show, Yann Contegat, France, 5 Août 2020, <https://dailygeekshow.com/robots-surveillance-cachalots/>, consulté le 18 novembre 2023
21. L'intelligence artificielle peut-elle nous permettre de parler à une autre espèce ?, Annales de la nature, Elizabeth Kolbert, France, 4 septembre 2023, consulté le 9 décembre 2023
22. A race to converse with, and save, the ocean's brainiest eco-predators, Berkeley News, Yasmin Anwar, Université de Berkeley, 7 juillet 2022, <https://news.berkeley.edu/2022/07/07/a-race-to-converse-with-and-save-the-oceans-brainiest-eco-predators/>, consulté le 11 décembre 2023
23. If we could talk to the animals... whales, specifically, The Harvard Gazette, Coleen Walsh, Université de Harvard, 5 novembre 2021, [Former Radcliffe scholars study whale communication — Harvard Gazette](https://www.harvard.edu/gazette/story/2021/11/whale-communication/), consulté le 9 décembre 2023
24. Are We on the Verge of Chatting with Whales, Hakai magazine, Christoph Droesser, USA, 26 octobre 2021, [Are We on the Verge of Chatting with Whales? | Hakai Magazine](https://www.hakaimagazine.com/are-we-on-the-verge-of-chatting-with-whales/), consulté le 9 décembre 2023
25. Whale Hello There : NVIDIA Intern Part of Team Working to Understand, Communicate with Whales, NVIDIA, Brian Caulfield, USA, 15 septembre 2021, [Whale Hello There: NVIDIA Intern Part of Team Working to Understand, Communicate with Whales | NVIDIA Blog](https://blogs.nvidia.com/blog/2021/09/15/whale-hello-there/), consulté le 11 décembre 2023
26. Researchers use artificial intelligence to translate, Cool Hunting, Evan Malachosky, USA, 20 avril 2021, <https://coolhunting.com/tech/researchers-use-artificial-intelligence-to-translate-whale-talk/>, consulté le 11 décembre 2023

27. Scientists are using AI to try to talk with whales, Nerdist, Matthew Hart, USA, 19 avril 2021, <https://nerdist.com/article/project-ceti-ai-driven-effort-communicate-whales/>, consulté le 11 décembre 2023
28. Le cachalot, National geographic, Craig Welsh, France, 19 avril 2021, <https://www.nationalgeographic.fr/thematique/sujet/animaux/mammiferes/mammiferes-marins/baleines/grand-cachalot>, consulté le 10 décembre 2023
29. Le cachalot, Wild for Life, France, <https://wildfor.life/fr/species/le-cachalot>, consulté le 16 décembre 2023
30. Rencontre avec un cachalot à 600 mètres de profondeur, RTBF, Sarah Bachelart, Mexique, 22 avril 2015, <https://www.rtb.be/article/rencontre-avec-un-cachalot-a-600-metres-de-profondeur-video-8962624>, consulté le 16 décembre 2023
31. Suivi monitoring de la population de grands cachalots, Marine Megafauna Conservation Organisation, Canada, 15 février 2015, https://marinemegafaunaconservation.org/images/Reports/2016-Projet-Maubydick_15-Fev_2016.pdf, consulté le 16 décembre 2023
32. Les fonds sous-marins, nouvel horizon de la robotique, CCI Aix Marseille Provence, Adeline Descamps, France, 11 décembre 2017, <https://www.cciamp.com/actualite/les-fonds-sous-marins-nouvel-horizon-de-la-robotique>, consulté le 6 janvier 2024
33. Subsea Tech, France, <https://www.subsea-tech.com/fr/>, consulté le 6 janvier 2024
34. Sperm whale presence observed using passive acoustic monitoring from gliders of opportunity, Endangered species research, Pierre Cauchy, Karen J. Heywood, Denise Risch, Nathan D. Merchant, Bastien Y. Queste, Pierre Testor, International, 30 juillet 2020, <https://www.int-res.com/articles/esr2020/42/n042p133.pdf>, consulté le 7 février 2024
35. A review of big data analysis methods for baleen whales passive acoustic monitoring, Marine Mammal Science, Katie A. Kowarski, Hilary Moors-Murphy, USA, 8 novembre 2020, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/mms.12758>, consulté le 3 mars 2024
36. Convergence of emerging technologies : Development of a risk-based paradigm for marine mammal monitoring for offshore wind energy operations, WILEY, Michael Macrander, Louis Brzuzy, Kaustubha Raghukumar, Damian Preziosi, Craig Jones, Canada, 7 octobre 2021, <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ieam.4532>, consulté le 3 mars 2024
37. Une IA va nous permettre de parler avec les baleines, lebigdata.fr, Bastien L., France, 28 octobre 2021, [Une IA va nous permettre de parler avec les baleines \(lebigdata.fr\)](https://lebigdata.fr), consulté le 12 mars 2024

38. Le Sphyrna de Sea Proven, un navire « dronement » autonome !, Pôle Mer Bretagne Atlantique, France, <https://www.pole-mer-bretagne-atlantique.com/fr/actualites/2706-le-sphyrna-de-sea-proven-un-navire-dronement-autonome#:~:text=Il%20s'agit%20d'un,de%20naviguer%20en%20toute%20s%C3%A9curit%C3%A9>, consulté le 23 mars 2024
39. Sphyrna : le drone marin aux possibilités infinies, Voile & Moteur, Juliette Chasseguet, France, 5 juillet 2019, <https://www.voileetmoteur.com/bateaux-a-moteur/actualites/sphyrna-le-drone-marin-aux-possibilites-infinies/81842>, consulté le 20 mars 2024
40. Sphyrna Odyssey, l'innovation au service de la science, Le cahier environnement de marine & océans, Bertrand de Lesquen, France, 2019, <https://www.accobams.org/wp-content/uploads/2019/09/Dossier-Sphyrna-Odyssey-MO-3e%CC%80me-trimestre-19.pdf>, consulté le 20 mars 2024
41. Mission Sphyrna Odyssey 2019/2020 – Méditerranée, Explorations de Monaco, France, 22 mars 2020, <https://www.monacoexplorations.org/missions/sphyrna-odyssey-2019-mediterranee/#:~:text=Cette%20mission%20qui%20se%20d%C3%A9roule,gamme%20de%20donn%C3%A9es%20d'environnement>, consulté le 20 mars 2024
42. Mission Quiet-Sea Sphyrna Odyssey, La Fondation Albert II de Monaco, Victor Rault, Stéphanie Dugast, France, 2020, <https://stephanedugast.com/film-magazine-mission-quiet-sea-sphyrna-odyssey#:~:text=R%C3%89SUM%C3%89,le%20sanctuaire%20Pelagos%20en%20M%C3%A9diterran%C3%A9e>, consulté le 20 mars 2024
43. Protéger des baleines grâce à l'IA : Whale Seeker obtient 850 000 \$, La Presse Canadienne, Stéphanie Blais, Canada, 29 mai 2023, [https://lactualite.com/actualites/protéger-des-baleines-grâce-a-lia-whale-seeker-obtient-850-000/#:~:text=Sports-Prot%C3%A9ger%20des%20baleines%20gr%C3%A2ce%20%C3%A0%20l'IA,Whale%20Seeker%20obtient%20850%20000%20%24&text=MONTR%C3%89AL%20%E2%80%94%20La%20ministre%20des%20P%C3%A0ches,IA\)%20pour%20prot%C3%A9ger%20les%20baleines](https://lactualite.com/actualites/protéger-des-baleines-grâce-a-lia-whale-seeker-obtient-850-000/#:~:text=Sports-Prot%C3%A9ger%20des%20baleines%20gr%C3%A2ce%20%C3%A0%20l'IA,Whale%20Seeker%20obtient%20850%20000%20%24&text=MONTR%C3%89AL%20%E2%80%94%20La%20ministre%20des%20P%C3%A0ches,IA)%20pour%20prot%C3%A9ger%20les%20baleines), consulté le 13 avril 2024
44. Protéger la biodiversité grâce à l'intelligence artificielle, idverde, France, 24 octobre 2022, <https://idverde.fr/actualites/protéger-la-biodiversite-grâce-a-lintelligence-artificielle/>, consulté le 13 avril 2024
45. L'intelligence artificielle au service de la biodiversité marine : démarrage d'un challenge scientifique international inédit, Créer La Confiance, France, 22 février 2022, <https://www.lne.fr/fr/communiqués-de-presse/intelligence-artificielle-service-biodiversite-marine-demarrage-challenge>, consulté le 13 avril 2024
46. L'intelligence artificielle au service des aires marines protégées, EYSEA AMP, France, https://www.portcros-parcnational.fr/sites/portcros-parcnational.fr/files/documents/news/eysea_press_pnpc_bassedef.pdf, consulté le 13 avril 2024

47. Odyssée des grands fonds : un nouveau robot sous-marin pour les sciences océaniques, L'Ifemer, Jérémy Barrault, France, 30 octobre 2020, <https://www.flotteoceanographique.fr/Toutes-les-actualites/Odysee-des-grands-fonds-un-nouveau-robot-sous-marin-pour-les-sciences-oceaniques>, consulté le 14 avril 2024
48. BathyBot : réveil d'un robot dans les profondeurs de la Méditerranée, CNRS, Christian Tamburini, France, 11 mai 2023, <https://www.cnrs.fr/fr/presse/bathybot-reveil-dun-robot-dans-les-profondeurs-de-la-mediterranee>, consulté le 14 avril 2024
49. Un robot sous-marin plonge au plus profond de l'océan, découvrez les images, La rédaction, France, 7 juin 2009, https://www.maxisciences.com/sciences/un-robot-sous-marin-plonge-au-plus-profond-de-l-ocean-decouvrez-les-images_art2306.html, consulté le 14 avril 2024
50. La voix des cachalots, Longitude 181, Véronique Sarano, François Sarano, France, 6 mai 2023, [https://www.longitude181.org/pdf/cachalots/Rapport_mission_cachalots Maurice 2023 Longitude181 IOML LIS universite Toulonv.pdf](https://www.longitude181.org/pdf/cachalots/Rapport_mission_cachalots_Maurice_2023_Longitude181_IOML_LIS_universite_Toulonv.pdf), consulté le 28 avril 2024
51. Une balise nouvelle génération pour étudier les grands mammifères marins, Sciences et Avenir, Anne-Sophie Tassart, France, 30 décembre 2016, https://www.sciencesetavenir.fr/animaux/animaux-marins/l-adb-une-balise-nouvelle-generation-pour-etudier-les-grands-mammiferes-marins_109324, consulté le 20 mai 2024