

À l'écoute des cétacés

L'OCÉAN N'EST PAS LE MONDE DU SILENCE MAIS UNE SYMPHONIE DE CHANTS, DE CRIS ET DE TOUTES LES PRODUCTIONS SONORES ANIMALES AUXQUELS SE MÊLENT D'AUTRES BRUITS NATURELS OU ANTHROPIQUES. LES ÉMISSIONS ACOUSTIQUES DES CÉTACÉS, PUISSANTES ET VARIÉES, EN GRANDE PARTIE AUDIBLES PAR L'OREILLE HUMAINE, NOUS FASCINENT AUTANT QU'ELLES NOUS RENSEIGNENT SUR LES ANIMAUX QUI LES ÉMETTENT.

Baleine à bosse dans le Grand Lagon Sud (Nouvelle-Calédonie, cliché P. Plichon).



Par Laurence Bachet, Pascale Giraudet, Hervé Glotin, Franck Malige, Julie Patris

L'étude des sons émis par les animaux de l'océan nous permet, selon les espèces, de les détecter, de les compter, de connaître précisément leur position ou leurs déplacements ; elle ouvre aussi beaucoup d'autres pistes de recherche : classification et étude de l'évolution des chants, reconnaissance des individus, étude du comportement... Ces connaissances sont notamment utiles aux instances de protection et de gestion de l'environnement qui s'efforcent de concilier activités humaines (pêche, plaisance, tourisme, industrie, etc.) et préservation des mammifères marins. Les études acoustiques des cétacés sont d'autant plus importantes



Le souffle incliné caractéristique du cachalot devant le cap Sicié, à quelques kilomètres de Toulon, à l'entrée ouest du sanctuaire Pelagos (cliché XXX).

Un odontocète au large de Toulon : le cachalot

Il y a une dizaine d'années, la France, l'Italie et la principauté de Monaco ont ratifié la création d'un sanctuaire pour les mammifères marins en Méditerranée, nommé Pelagos, inscrit dans un triangle formé par Toulon, la Corse et le nord de la côte italienne. Pelagos est régulièrement fréquenté par une dizaine d'espèces de cétacés, dont le plus grand des odontocètes, le cachalot (*Physeter macrocephalus*), qui peut mesurer jusqu'à 18 mètres et peser jusqu'à 50 tonnes.

Le cachalot est un prédateur des grands fonds : il se nourrit essentiellement de calmars, mais aussi de poissons et d'espèces abyssales qu'il peut traquer jusqu'à 3000 mètres de profondeur lors de plongées qui peuvent durer plus d'une heure. La luminosité dans la mer diminue très fortement avec la profondeur et l'obscurité est presque totale dès 50 mètres. Ce chasseur ne peut donc compter sur la vue pour se localiser ni pour repérer ses proies. Comme les autres odontocètes, il perçoit son environnement par écholocation, c'est-à-dire en émettant des sons particuliers appelés "clics" (des claquements brefs, fortement directionnels et répétés périodiquement) dont les échos lui signalent obstacles et proies.

Le cachalot émet des clics très puissants (180 dB, soit pratiquement l'équivalent d'un réacteur d'avion). Pour cela, l'air contenu dans ses conduits nasaux est comprimé au niveau des lèvres phoniques et amplifié par sa tête volumineuse qui forme un tiers de la taille de l'animal et est remplie d'un tissu adipeux appelé **spermaceti**. Elle se comporte comme de



XXXXX

que ces animaux vivent dans un monde qui, en majeure partie, nous est inaccessible.

Les Cétacés constituent un ordre de mammifères marins divisé en deux sous-ordres : les Mysticètes, ou cétacés à fanons qui se nourrissent de plancton et de petites proies, notamment en filtrant l'eau (baleines et rorquals) et les Odontocètes ou cétacés à dents, prédateurs chassant poissons, crustacés et mollusques (marsouins, dauphins, orques, cachalots, etc.). Cette différence de mode de vie a une conséquence directe sur leurs productions acoustiques : si les mysticètes utilisent majoritairement leurs sons pour communiquer entre eux, les odontocètes se servent aussi du son pour explorer leur environnement et repérer leurs proies

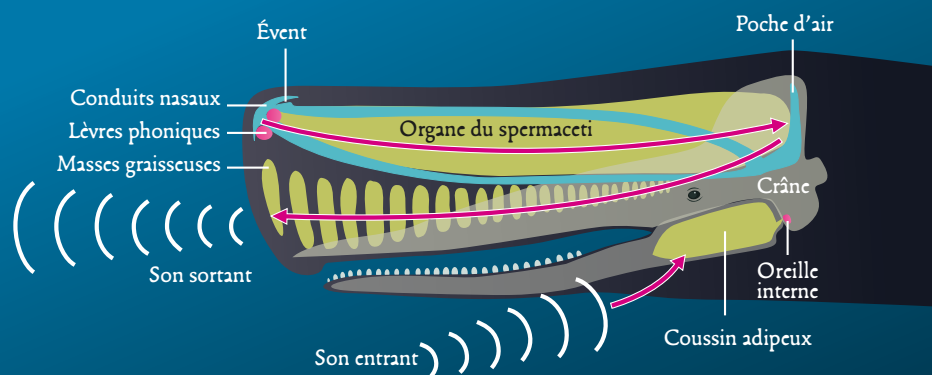
multiples caisses de résonance grâce à ses différentes masses graisseuses qui concentrent et dirigent l'impulsion du son sortant.

Ce signal, audible par l'oreille humaine (fréquence située entre 5 et 25 kHz environ) et détectable à plusieurs kilomètres par ses congénères, constitue une signature particulièrement facile à identifier: il est composé de séquences de clics de quelques minutes et comportant environ un clic par seconde. Chaque clic est très bref (quelques dizaines de millisecondes), mais analysé précisément, il se révèle composé de plusieurs impulsions (ou "pulses") successives dues aux différentes résonances dans la tête du cachalot. Ces clics constituent donc

un moyen privilégié de détecter et d'étudier les cachalots pendant leurs longues plongées dans les abysses. Ces sons sont captés au moyen d'hydrophones (microphones sous-marins) qui peuvent être fixés à demeure au fond de l'océan, liés à des bouées, ou encore embarqués sur un bateau.

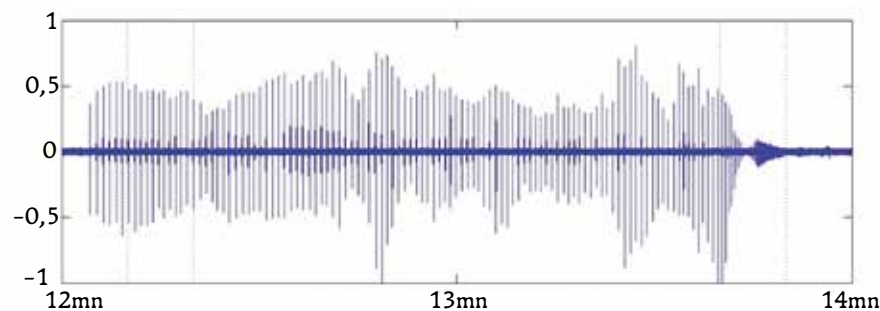
L'équipe de recherche DYNi du laboratoire CNRS LSIS, basée à l'université de Toulon, analyse depuis dix ans ces clics pour détecter, localiser, compter, mesurer et étudier les paramètres comportementaux des cachalots, notamment au large de Toulon. Ces recherches s'intègrent dans le programme de la mission interdisciplinaire du CNRS "Masse de données scientifiques".

Représentation schématique d'une tête de cachalot et de la production et de l'amplification des "clics".

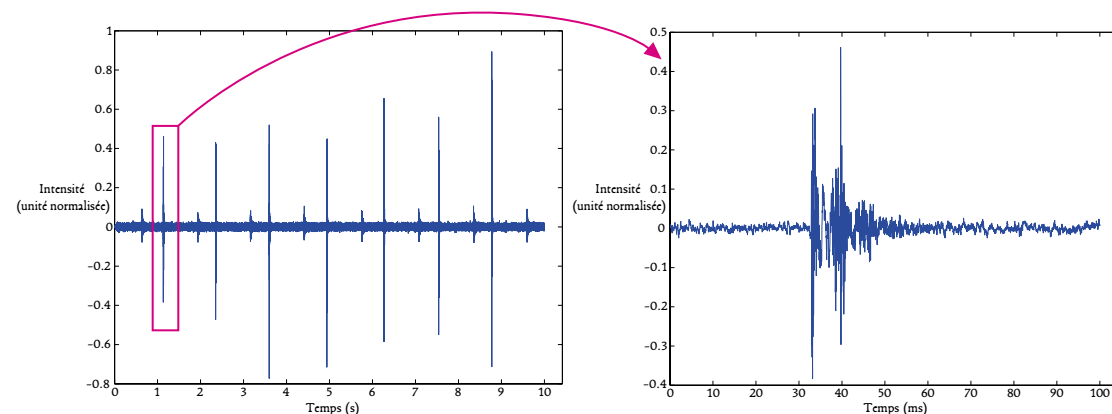


Le principe de l'écholocation

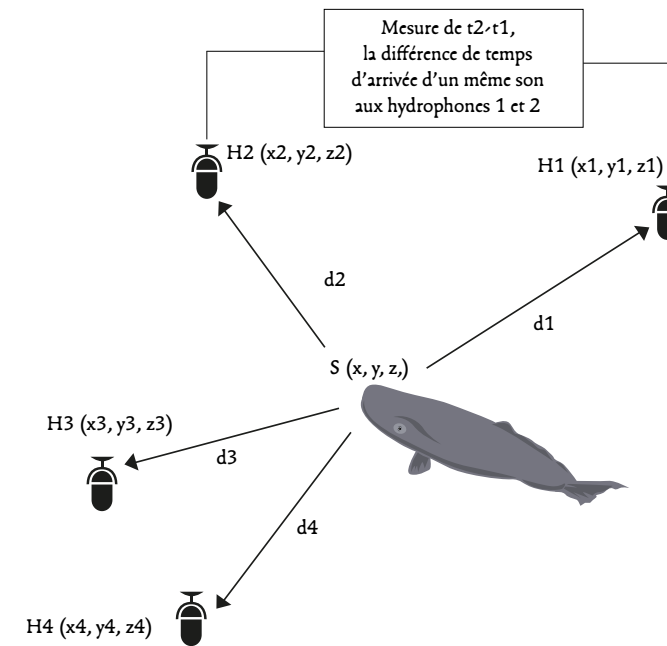
Le principe de l'écholocation des cétacés est le même que celui des chauves-souris; c'est celui qui a inspiré le sonar. Le son émis par l'animal se propage dans l'eau à la vitesse de 1500 m/s environ (5 fois plus rapidement que dans l'air), se réfléchit sur les objets (obstacles ou proies), puis revient vers l'animal où il est capté dans sa mâchoire inférieure et transmis à son oreille interne. Le cerveau de l'animal déduit la distance de l'obstacle d'après la différence de temps entre l'émission et la réception du son. Le son étant émis de façon très directionnelle, une image sonore précise peut être élaborée par un balayage de l'objet.



La signature caractéristique des clics de cachalot. En haut: chaque séquence de clics dure quelques minutes: les clics sont régulièrement espacés d'une seconde environ en début de séquence, puis plus rapprochés et moins intenses en fin de séquence. En bas à gauche: extrait de 10 secondes d'une séquence de clics présentant 7 clics et leurs réflexions sur la surface. En bas à droite: détail de la structure temporelle d'un clic sur 30 millisecondes.



Lorsqu'un même signal est capté par plusieurs hydrophones, chaque couple d'hydrophones permet de mesurer une différence de temps d'arrivée (ou TDOA pour *Time Delay of Arrival*). Par exemple, le couple constitué des hydrophones H1 et H2 permet de mesurer le TDOA $t_2 - t_1$. Si on répète la même opération avec les couples d'hydrophones H1 et H3 puis H1 et H4, on obtient 2 autres TDOA indépendants permettant d'écrire un système de trois équations à trois inconnues (x,y,z).



Même si ces trajectoires sont calculées à posteriori, elles apportent de nombreux renseignements, comme la durée et la profondeur des plongées. De plus, la cadence des clics s'accroissant de façon caractéristique lorsque le cachalot repère une proie, on peut estimer le nombre de proies détectées pendant chaque plongée, ainsi que l'intervalle de temps entre deux détectations, la vitesse et la stratégie d'approche du prédateur...

Une autre méthode développée par l'équipe DYNi permet d'estimer automatiquement la taille des cachalots. Leur tête servant de caisse de résonance, une étude approfondie de l'organisation temporelle interne des clics révèle une structure multi-pulsée où la différence de temps entre deux pulses (ou IPI pour *inter-pulse interval*) correspond au temps mis par le son pour faire un aller-retour dans la tête. Ce temps est bien entendu fonction de la taille de la tête et donc de celle de l'animal. C'est ainsi qu'on "mesure acoustiquement" un cachalot. Cette information apporte deux autres indications intéressantes. D'une part, l'important dimorphisme sexuel de l'espèce nous permet d'avoir une idée du sexe des animaux enregistrés, puisque les mâles peuvent atteindre 18 mètres tandis que les femelles ne dépassent pas 12 mètres. D'autre part, comme nous ne sommes pas encore capables de reconnaître individuellement chaque cachalot au son qu'il émet, l'information précise de taille apportée par les clics nous permet de distinguer les individus. Ceci nous donne une estimation *a minima* du nombre d'individus fréquentant chaque site d'étude.

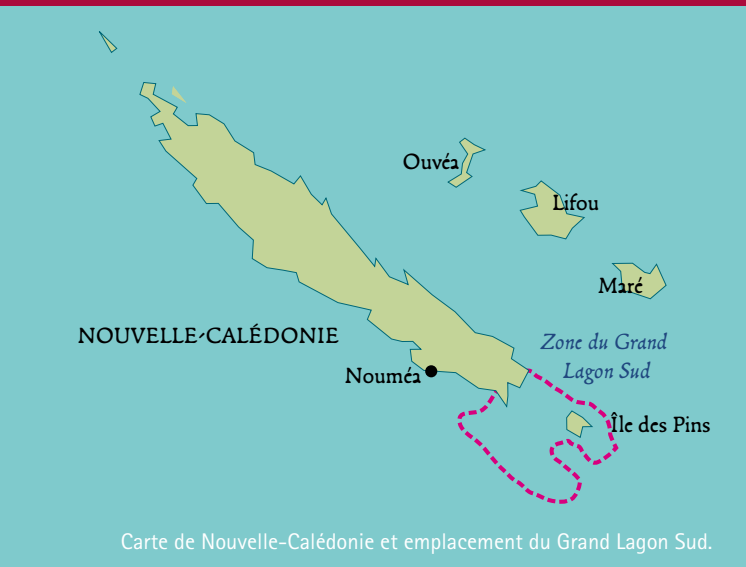
Le principe de la méthode de localisation repose sur la comparaison des instants de réception d'un même signal sur plusieurs hydrophones: chaque couple d'hydrophones permet de calculer une différence de temps d'arrivée du signal (ou TDOA pour *Time Delay of Arrival*) et permet de connaître les coordonnées de l'animal par triangulation. La difficulté majeure est d'associer le même événement acoustique capté par deux hydrophones différents, car il existe de multiples réflexions des sons sur la surface, le fond, ou entre deux eaux, et que plusieurs sources peuvent être concurrentes. DYNi a donc élaboré différentes méthodes de filtrage. Dès lors, on peut estimer la position de l'animal en trois dimensions en résolvant un système d'équations mettant en jeu trois TDOA si on dispose de quatre hydrophones. Ce calcul à intervalles réguliers permet d'obtenir une trajectoire correspondant au déplacement du cétacé. Le nombre de trajectoires obtenues simultanément est une bonne estimation du nombre d'animaux présents dans une zone de 3 km de rayon environ. Dans l'avenir, les hydrophones pourront communiquer avec le centre de calcul, les TDOA seront alors calculés en temps réel et les positions, réactualisées toutes les 10 secondes environ, construisent en temps-réel la trajectoire de chaque animal.



Extraits d'une animation montrant la trajectoire reconstituée d'un cachalot (cliché XXX).

La problématique du Grand Lagon Sud

Le Grand Lagon Sud de Nouvelle-Calédonie est une zone inscrite au Patrimoine mondial de l'Unesco. Elle constitue aujourd'hui un parc marin de 6 525 km² qui accueille les baleines à bosse chaque année, de juin à septembre. La zone préférentielle de regroupement des animaux se situe à l'intersection entre 2 chenaux de passage, utilisés notamment par les NGV (navires à grande vitesse qui circulent à plus de 30 nœuds), et à l'entrée d'une baie fréquentée par les bateaux minéraliers qui rejoignent



Carte de Nouvelle-Calédonie et emplacement du Grand Lagon Sud.



XXX (cliché xxx).

l'usine de traitement du nickel. La zone présente donc un risque de collision évident pour les baleines qui y séjournent, principalement pour les groupes "mamans-petits" qui sont moins mobiles et plus repérables et possèdent une marge d'évitement plus faible compte tenu de l'incapacité des nouveaux-nés à s'enfuir rapidement.

L'arrivée des baleines dans le Grand Sud calédonien constitue également l'occasion de les observer. C'est ainsi que l'activité d'observation des baleines ("whale watching") se développe depuis quelques années dans le pays. En 2013, environ 6 000 personnes ont payé pour embarquer à bord des catamarans qui proposent cette activité en Nouvelle-Calédonie. De nombreux plaisanciers sillonnent également la zone. Ce chiffre est cinquante fois plus important qu'en 1995, lorsque l'activité a débuté. Le whale watching constitue une **perturbation** pour les baleines qui cherchent la tranquillité des eaux calédoniennes pour mettre au monde leurs petits, aussi est-il important de suivre et d'encadrer de près cette activité, **d'autant que l'on n'en connaît pas les effets à moyen et long terme**. Actuellement, la charte d'observation préconise de **laisser tourner** les moteurs des bateaux durant l'observation, mais nous ne disposons d'aucune information sur le dérangement ou les modifications de comportement qu'ils provoquent.

À noter que la population de baleines à bosse de Nouvelle-Calédonie est une des plus petites et des plus menacées au monde. Elle est estimée à environ 500 individus. Il est donc nécessaire de suivre cette population pour étudier sa dynamique et s'assurer de son rétablissement. Un équipement acoustique de la zone permettrait de répondre à une partie de ces problématiques. En effet, les risques de collision pourraient être diminués grâce à la localisation des animaux en temps réel, tandis que des informations sur la perturbation des animaux et l'état des populations pourraient être obtenues après analyse des enregistrements.

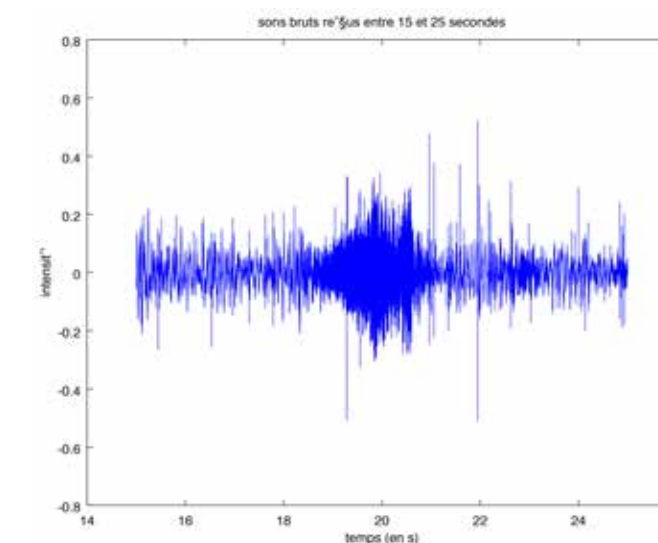
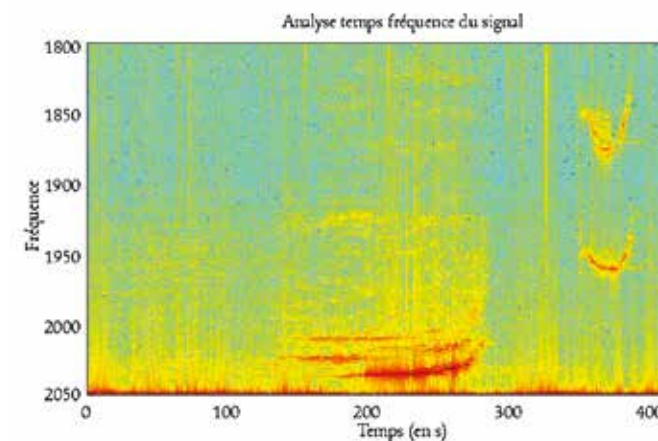
Un mysticète en Nouvelle-Calédonie : la baleine à bosse

En 2013, l'équipe DYNI a été chargée par la province Sud de Nouvelle-Calédonie d'évaluer ses méthodes de détection et de localisation sur la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) dans les eaux calmes et peu profondes du Grand Lagon Sud (classé patrimoine mondial de l'humanité par l'UNESCO). En effet, les populations de baleines à bosse de l'hémisphère sud effectuent chaque année une longue migration entre les eaux antarctiques qu'elles fréquentent durant l'été austral, et des eaux plus chaudes, comme celles des côtes de l'Australie et du sud de la Nouvelle-Calédonie, où elles viennent s'accoupler et mettre bas pendant l'hiver austral. La gestation durant 11 à 12 mois, l'accouplement et la mise bas ont lieu durant les mois de juillet, août et septembre. À cette période les baleines viennent chercher l'abri du lagon, dans ses eaux calmes, peu profondes (environ 60 m de fond) et peu fréquentées par les prédateurs les plus dangereux pour les jeunes : les orques et les requins.

Les baleines à bosse ont à peu près la même taille que les cachalots, mais se nourrissent en filtrant les petits crustacés, poissons et autres éléments du plancton à travers leurs fanons. Elles n'ont donc pas développé de stratégie de chasse par écholocation et n'émettent pas de clics. En revanche, elles

vocalisent régulièrement. Les mâles, notamment, chantent, seuls ou en groupe, généralement en position statique entre deux eaux (voire proche du fond) ou en se déplaçant faiblement. On suppose que ces chants ont un rôle dans la séduction des femelles et éventuellement dans la défense territoriale. Ils sont constitués de longues phrases complexes, à motifs répétés et modulés. Chaque population présente une structure de chant qui lui est propre et qui évolue progressivement dans le temps... peut-être une sorte de "dialecte" local ! On pense que les chants les plus "séduisants" suivent le motif du groupe tout en présentant de subtiles variations.

Deux façons de représenter une séquence de deux émissions (durée totale de 10 secondes) de baleines à bosse enregistrées en Nouvelle-Calédonie (juillet 2013). La deuxième représentation, dite "temps-fréquence", permet de caractériser les "mots". On constate qu'ils peuvent être très variés, modulés en fréquence, assez longs ou plus courts.



la variété des chants de baleine

Les chants de baleine à bosse sont composés de quelques unités de base, des unités sonores (ou "mots") combinées en "séquences", "phrases" et répétées différemment. Les mots sont très courts (quelques dixièmes de seconde), explosifs ou longs (plusieurs secondes), modulés ou non, croissants ou décroissants en fréquence. Le schéma temps/fréquence ci-dessous, d'après l'étude pionnière de G. Payne réalisée il y a quarante ans avec les premiers "sonogrammes", démontre la diversité de ces sons. N'hésitez pas à aller vous en convaincre en écoutant directement les enregistrements sur le site <http://sabiod.org>

Les femelles et leurs petits émettent aussi des vocalises, moins intenses et donc moins connues à ce jour. D'autres signaux comme les frappes de nageoires à la surface pourraient aussi être mis à contribution dans la détection et l'identification des groupes.

L'ensemble de ces sons, malgré leur structure assez variable, permet de déduire la position des individus. Ainsi est-il possible, pour cette espèce, de reconstituer les trajectoires (même si la reconstitution est discontinue), ce qui peut être utile pour éviter les collisions avec les navires de plus en plus nombreux dans le Lagon Sud en raison du développement de l'activité de la mine de nickel située sur ce littoral.

D'autre part, l'équipe DYNI travaille actuellement sur l'étude de la diversité des chants de de baleine à bosse. Dans la continuité d'une somme de travaux assez riche dans le domaine, nous proposons une reconnaissance automatique des populations de cette espèce basée sur des décompositions systématiques des chants.

Avec ces travaux encore préliminaires réalisés sur le cachalot et la baleine à bosse, nous avons démontré que la surveillance par acoustique passive de ce milieu sensible, offrait, à bas coût et en continu, des informations inédites et utiles à la protection de ces deux espèces. ✿

Pour en savoir plus :

- > Abeille **X** , Doh Y., Giraudet **X** , Glotin **X** , Prevot **X** , Rabouy **X** , 2014 – "Estimation robuste de l'Intervalle Inter Pulse du Sonar de cachalot, Application au Nord Pelagos", *Revue du parc national de Port-Cros*, vol. 28
- > Doh Y., Razik **X** , Adam **X** , Glotin **X** , 2013 – "Codage parcimonieux pour l'analyse des chants de baleine à bosse", *édition spéciale revue TSI*, Lavoisier, 14 p.
- > Glotin **X** et al., **data** – Proceedings of NIPS4B, Neural Information Processing for Bioacoustics, 250 p.
- > Glotin **X** et al., **data** – Proceedings of ICML4B int workshop on Machine Learning for Bioacoustics, 240 p.

Ces deux derniers documents sont disponibles sur le site de la mission interdisciplinaire du CNRS "Masse de données scientifiques" <http://sabiod.org>