Partenariat Scientifique

Conservation du Grand Dauphin *Tursiops truncatus* au sein des Aires Marines Protégées françaises : Etude de l'acoustique passive comme méthode de suivi

- Rapport final -

Décembre 2013

Rédigé par

Julie Jourdan & Hélène Labach

Avec la participation de Lucia di Iorio

Convention de partenariat

N° 13-037-83400PC

Entre :

Le Parc national de Port-Cros
(Animateur de PELAGOS France)

Castel Sainte Claire
Allée du Castel Sainte Claire
BP 70 220
83406 Hyères cedex

Et :

Le Groupement d'Intérêt Scientifique pour les Mammifères Marins en Méditerranée et leur environnement (GIS 3M)

Castel Sainte Claire
Allée du Castel Sainte Claire
BP 70 220
83406 Hyères cedex

Sommaire

Liste des acronymes ..... ***iv***

Liste des tableaux ..... ***v***

Liste des figures ..... ***vi***

Résumé ..... ***vii***

Introduction ***1***

I CONTEXTE ***3***

I. 1 LE GRAND DAUPHIN *3*

I.1.1 Distribution 3

I.1.2 Comportement et régime alimentaire 3

I. 2 LE GRAND DAUPHIN EN MEDITERRANEE *3*

I.2.1 Distribution 3

I.2.2 Statut 4

I.2.3 Menaces spécifiques 4

I.2.4 Protection 5

I.2.5 Conservation du Grand Dauphin : les Aires Marines Protégées en Méditerranée française 5

II METHODES DE SUIVI DU GRAND DAUPHIN ***6***

II.1 CAPTURE-MARQUAGE-RECAPTURE *7*

II.1.1 Pose de tags 7

II.1.2 Tatouage 7

II.1.3 Photo-identification 8

II.2 TRANSECTS DE LIGNE *9*

II.3 SUIVI DEPUIS LA TERRE *10*

II.4 TELEMETRIE *11*

II.5 ACOUSTIQUE PASSIVE *11*

III UTILISATION DE L'ACOUSTIQUE PASSIVE POUR LE SUIVI DU GRAND DAUPHIN ***15***

III.1 L'ACOUSTIQUE CHEZ LE GRAND DAUPHIN *15*
III.2 LES OUTILS *17*
III.2.1 L'approche mobile 18
III.2.2 L'approche fixe 18
III.2.2.1 Les hydrophones câblés 19
III.2.2.2 Les hydrophones radio 19
III.2.2.3 Les enregistreurs autonomes 19
III.3 METHODOLOGIES DE SUIVI PAR ACOUSTIQUE PASSIVE FIXE ET AUTONOME *20*
III.3.1 T-POD / C-POD 20
III.3.2 HARP (High-frequency Acoustic Recording Package) 21
III.3.3 AURAL-M2 22
III.3.4 RASP (Registratore Acustico Subacqueo Programmabile) 22
III.3.5 EAR (Ecological Acoustic Recorder) 23
III.3.6 EA-SD14-1000 (RTSYS) 24

IV FAISABILITE D'UN SUIVI PAR ACOUSTIQUE PASSIVE FIXE POUR LE GRAND DAUPHIN DANS LES AMP MEDITERRANEENNES FRANCAISES *25*

IV.1 CONTRAINTES GEOPHYSIQUES *25*
IV.2 ACTIVITES, FREQUENTATION DES SITES *26*
IV.3 SYSTEMES DE MOUILLAGE ET DE RECUPERATION *27*
IV.4 COUT *29*
IV.5 LEGISLATION *30*
IV.6 TRAITEMENT, ANALYSE ET INTERPRETATION DES ENREGISTREMENTS *30*

Conclusion ***33***

Bibliographie ***34***

Annexes ***45***

Liste des acronymes

ACCOBAMS	Accord sur la Conservation des Cétacés de la Mer Noire, de la Mer Méditerranée et des Zones Atlantiques Contiguës
AMP	Aire Marine Protégée
AOT	Autorisation d'Occupation Temporaire
ASPIM	Aire Spécialement Protégée d'Importance Méditerranéenne
CMR	Capture - Marquage - Recapture
EAR	Ecological Acoustic Recorder
EARS	Earing Acoustic Recording System
GDEGeM	Grand Dauphin : Etude et Gestion en Méditerranée
HARP	High-frequency Acoustic Recording Package
LINDA	Limitation des Interactions Négatives entre Dauphins et Activités humaines
RASP	Registratore Acustico Subacqueo Programmabile
T-POD	Timing Porpoise Detector

Liste des tableaux

Tableau 1 Caractéristiques des clics et sifflements émis par le Grand Dauphin (Hertz = Hz et Kilohertz = kHz pour la fréquence ; décibel = dB pour le niveau sonore). 13-14

Tableau 2 Résumé des avantages et des inconvénients des méthodes de suivi appliquées au Grand Dauphin. 16

Tableau 3 Comparaison des principales caractéristiques techniques des différents enregistreurs autonomes fixes présentés. 31

Liste des figures

Figure 1	Carte des Aires Marines Protégées Méditerranéennes françaises. (Source : *Cartomer - AAMP*)	6
Figure 2	Schéma des signaux fins (clics) et grossiers (sifflements) émis par le Grand Dauphin.	15
Figure 3	Structures biologiques responsables de l'écholocation (Source *: Eric Poncelet d'après Norris*)	16
Figure 4	Répertoire acoustique du Grand Dauphin pour les fréquences inférieures à 16 384 Hz, signaux mesurés en Iroise durant la campagne AcDau par un enregistreur AURAL	17
Figure 5	Schéma de l' « array » constitué de 4 hydrophones tractés derrière un bateau dans l'estuaire de Cromarty en Ecosse (Source : *Hastie et al., 2005*).	18
Figure 6	Instrument HARP (Source: *Scripps Whale Acoustic Lab*)	21
Figure 7	Instrument AURAL-M2 (Source : *Multi-Electronique Inc., France*)	22
Figure 8	Instrument RASP (Source : *NAUTA*)	23
Figure 9	Instrument EAR (Source : *pifsc.noaa.gov*)	24
Figure 10	Enregistreur autonome EA-SD14-1000 de RTSYS (Source : *rtsys.eu*)	24
Figure 11	Carte morpho-bathymétrique de la marge continentale méditerranéenne française à l'échelle de 1/4000000. En orange sont représentées les zones de profondeur inferieure à 100 m et en jaune et bleu celles de plus de 100 m. (Source *: CCGM)*	25
Figure 12	Carte d'interprétation de la connaissance relative au fonctionnement des écosystèmes marins en Méditerranée (Source : *AAMP*).	26
Figure 13	Carte des principaux enjeux connus liés aux usages et aux ressources du milieu marin. (Source : *AAMP*)	27
Figure 14	a) Système de mouillage résistant aux tempêtes utilisé par Simon et al (2010) à Cardigan Bay, au Pays de Galles et b) Schéma du mouillage utilisé dans l'estuaire de Moray en Ecosse (Bailey et al 2010).	28
Figure 15	a) Schéma du mouillage d'AURAL dans le Parc Marin d'Iroise (source : *projet AcDAU*) et b) Autre type de mouillage possible (source : *Multi-Electronique Inc., France*)	28
Figure 16	Schéma du système de mouillage utilisé dans le projet GDEGeM (Source : *GDEGeM*)	29

Résumé

Dans le cadre de l'objectif spécifique « *Aide à la mise en place de mesures de suivi et de conservation au sein des Aires Marines Protégées* » du projet GDEGeM (Grand Dauphin Etude et Gestion en Méditerranée) et de l'action « Test du suivi du Grand Dauphin par acoustique passive au sein d'une AMP française », cette étude propose de synthétiser l'utilisation de l'acoustique passive pour le suivi des Grands Dauphins en Méditerranée et dans le monde, et d'étudier son intérêt et son applicabilité comme méthode de suivi de l'espèce au sein d'Aires Marines Protégées de Méditerranée française.

En Méditerranée le Grand Dauphin est confronté à de nombreuses menaces d'origine anthropique, comme par exemple la compétition avec les pêcheurs pour la ressource, les collisions ou les pollutions chimique et sonore. Or, la protection du Grand Dauphin nécessite de connaître sa distribution, son comportement, ses déplacements, ses traits d'histoire de vie, etc. Différents types de suivi existent pour le Grand Dauphin (photo-identification, transects de ligne, télémétrie, acoustique passive, etc.) permettant de connaître la densité ou l'abondance de l'espèce dans une zone par exemple et ainsi d'améliorer les connaissances sur l'espèce.

L'acoustique passive est une technique de suivi qui consiste à enregistrer les sons émis par les Grands Dauphins. Elle apporte notamment des connaissances sur la présence et la fréquentation spatio-temporelle de la zone d'étude par l'espèce. Deux approches existent consistant soit à tracter un enregistreur derrière un bateau, soit à fixer un enregistreur dans la colonne d'eau. Cette dernière approche offre plusieurs avantages comme le stockage des données sur de longues périodes (autonome) dans des zones parfois reculées et permet un enregistrement en continu, de jour comme de nuit, quelle que soit la météo. Différents types d'enregistreurs autonomes existent, différant par leur capacité de stockage, leur autonomie, leur profondeur de fonctionnement, etc.

La mise en place d'un suivi du Grand Dauphin par acoustique passive fixe et autonome au sein des AMP semble être un moyen adéquat pour améliorer nos connaissances sur cette espèce. Cependant plusieurs contraintes d'ordre financier, technique, législatif sont à considérer quant à l'implémentation d'une telle instrumentation au sein d'une AMP.

Introduction

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet GDEGeM (Grand Dauphin Etude et Gestion en Méditerranée), mis en oeuvre et coordonné par le GIS3M de février 2013 à septembre 2015.

Ce projet a pour objectif de favoriser la conservation du Grand Dauphin en Méditerranée nord-occidentale en améliorant les connaissances nécessaires sur la population pour permettre la mise en place de mesures de gestion et de suivi et en perfectionnant l'efficacité des structures et moyens de conservation existants. Ce projet collaboratif, en partenariat avec de nombreux scientifiques et gestionnaires d'Aires Marines Protégées, se compose de 3 objectifs principaux :

1) *Améliorer les connaissances sur la population de Grands Dauphins le long des côtes méditerranéennes françaises.*

Un suivi par photo-identification est mis en place sur plusieurs zones couvrant tout le littoral méditerranéen français. Les données seront centralisées sur une base de données unifiée à l'échelle internationale de la Méditerranée nord-occidentale, ce qui permettra d'améliorer les connaissances sur la structure, la taille et les mouvements de la population, nécessaires à toute mise en œuvre de mesures de conservation.

Pour la première fois en Méditerranée française, la récolte d'échantillons par biopsies sur les Grands Dauphins, permettra d'initier l'étude de la structure génétique de la population.

2) *Aider à la mise en place et au suivi de mesures de conservation au sein des Aires Marines Protégées.*

La mise en place d'un suivi par acoustique passive d'une zone fréquentée par les Grands Dauphins permettra de tester une méthode de suivi en continu de la fréquentation par l'espèce considérée dans une aire marine protégée.

Des protocoles de suivi standards ainsi que des indicateurs de suivi de la population et des mesures de gestion seront développés et proposés aux gestionnaires d'AMP. La communication et la collaboration entre scientifiques et gestionnaires sera développée grâce à la réalisation de formation pour les personnels d'AMP et l'organisation d'un workshop international sur l'étude et la conservation du Grand Dauphin en Méditerranée.

3) *Faciliter la conservation du Grand Dauphin à l'échelle de la population méditerranéenne grâce à la création d'un réseau efficace*.

L'échange de données entre les différents acteurs, ainsi que la collaboration seront encouragés, en incitant notamment à l'utilisation d'une base de données commune. La communication et la collaboration entre les différentes AMP sera facilitée grâce à la création d'un espace et d'un forum de communication et d'échange pour les gestionnaires autour de la conservation du Grand Dauphin.

Dans le cadre de l'objectif spécifique « *Aide à la mise en place de mesures de suivi et de conservation au sein des aires marines protégées* » et de l'action « Test du suivi du Grand Dauphin par acoustique passive au sein d'une AMP française », cette étude propose de synthétiser l'utilisation de l'acoustique passive pour le suivi des Grands Dauphins en Méditerranée et dans le monde, et d'étudier son intérêt et son applicabilité

comme méthode de suivi de l'espèce au sein d'Aires Marine Protégées de Méditerranée française.

I. Contexte

I. 1. Le Grand Dauphin

I.1.1. Distribution

Le Grand Dauphin, *Tursiops truncatus* (Montagu 1821), est certainement le cétacé le plus connu et le plus étudié au monde. Présent dans toutes les mers tempérées et tropicales du globe, le Grand Dauphin occupe des eaux dont la température de surface se situe entre 10 et 32°C. Le Grand Dauphin est rencontré sur une grande variété d'habitats. On le rencontre au large, près des côtes et même parfois dans les estuaires et les ports (« dauphins ambassadeurs »). De nombreuses études ont constaté deux morphotypes différents selon la localisation géographique (près des côtes vs. offshore) ; la longueur d'un individu adulte allant de 2 à presque 4 m de long. Sur les côtes françaises, l'espèce est observée le long de la côte Atlantique et en Méditerranée.

I.1.2. Comportement et régime alimentaire

La structure sociale des Grands Dauphins est habituellement décrite comme de type fission-fusion, caractérisée par un haut degré de variation spatio-temporelle dans la taille et la composition des groupes. La composition des groupes semble être déterminée par plusieurs facteurs tels que l'âge, le sexe, ou le statut reproducteur et social. La taille des groupes varie selon la localisation biogéographique, la disponibilité en proies et l'activité (alimentation, voyage, socialisation) et est comprise entre 2 et 25 individus, bien que des grands groupes de plus de 100 dauphins aient été parfois observés. Le régime alimentaire du Grand Dauphin diffère selon les habitats et la localisation géographique. Il se compose généralement de grands spécimens de proies démersales (merlu, muge, mulet), de céphalopodes et de poissons pélagiques.

I.2. Le Grand Dauphin en Méditerranée

I.2.1. Distribution

En Méditerranée, le Grand Dauphin est une espèce décrite essentiellement comme côtière. Bien que morphologiquement les individus méditerranéens se rapprochent de l'écotype « offshore » (grande taille, coloration sombre, appendices courts), des groupes strictement pélagiques n'ont pas été rapportés en Méditerranée, contrairement à d'autres régions du monde. Le Grand Dauphin se rencontre de Gibraltar jusqu'aux rives orientales de la mer Noire. Présente dans la plupart des eaux côtières du bassin méditerranéen, l'espèce a été signalée dans les eaux d'Albanie, Algérie, Croatie, Chypre, France, Gibraltar, Grèce, Israël, Italie, Maroc, Monténégro, Slovénie, Espagne, Tunisie et Turquie. Dans le bassin occidental il se rencontre sur les rives sud de la Méditerranée, les rivages de la mer d'Alborán et la Catalogne, le long des côtes provençales, l'archipel toscan, le Golfe du Lion où il semble être de retour depuis la fin des années 90 et autour des grandes îles : Sicile, Baléares, Sardaigne et Corse. Natoli *et al.*, (2005) ont étudié la diversité génétique des populations de Grands Dauphins le long d'une aire de répartition continue de la mer Noire à l'est de l'Atlantique Nord et ont trouvé des structures de population dont les limites coïncident avec les habitats. Les effets des abattages autorisés dans le passé (Bearzi *et al.*, 2004) et les menaces actuelles ont probablement contribué à la répartition actuelle du Grand Dauphin dans la région méditerranéenne.

I.2.2 Statut

Globalement, il est estimé qu'une baisse d'au moins 30% de l'effectif des Grands Dauphins dans l'ensemble de la Méditerranée a eu lieu au cours des 60 dernières années du fait de la dégradation, de la perte et de la fragmentation de l'habitat, ainsi que de la mortalité intentionnelle ou accidentelle due aux pêcheries (Bearzi *et al.*, 2009). Les données sur la tendance démographique de ces populations n'existent que pour certaines régions. Un déclin marqué, à la fois de l'abondance et de la zone d'occupation, a été noté au nord de l'Adriatique tandis qu'en mer d'Alborán, la population, suivie depuis les 15 dernières années, ne montre aucun signe d'affaiblissement. Le manque de données en Méditerranée Nord-Occidentale ne permet pas de statuer sur l'état de la population de Grands Dauphins dans cette zone bien que des estimations d'abondances du Grand Dauphin aient été faites dans le Sanctuaire Pelagos (Gnone *et al.*, 2011 ; Manfredini *et al.*, 2007 ; Nuti *et al.*, 2006).

I.2.3 Menaces spécifiques

Entre prises accidentelles dans les filets (Lewinson *et al.*, 2004), compétition lorsque la ressource alimentaire est rare et éliminations volontaires, les interactions avec les activités de pêche constituent un danger non négligeable pour les dauphins en Méditerranée (López, 2006). Le problème des attaques de dauphins sur les filets de pêche a fait l'objet d'un programme européen LIFE intitulé « Limitation des Interactions Négatives entre Dauphins et Activités humaines » (LINDA) de 2003 à 2007, dont l'objectif était de maintenir les populations de Grands Dauphins en Corse dans un état de conservation favorable, en garantissant une cohabitation harmonieuse entre les activités économiques et l'espèce.

La pollution, souvent véhiculée par les eaux venant de zones urbanisées et industrialisées, est de plus en plus désignée comme un facteur grave agissant sur le moyen ou le long terme. Situé en haut de la chaîne alimentaire et vivant près des côtes, le Grand Dauphin est exposé à de fortes concentrations de contaminants et accumule, *via* l'alimentation, certaines substances toxiques présentes dans le milieu marin notamment organochlorées ou de type métaux lourds (Tanabe *et al.,* 1983). Le Grand Dauphin constitue donc une sentinelle de l'environnement, véritable source d'informations sur les niveaux de contamination des écosystèmes par les polluants (Wells *et al.,* 2004).

Les activités anthropiques dans les océans se multiplient. Activités militaires (Parsons *et al.*, 2008), prospections géologiques (Gordon *et al.*, 2003), trafic maritime (Roussel, 2002) sont générateurs de bruits à l'origine de nuisances sonores. L'intensification des bruits menace les dauphins qui dépendent de l'écholocation pour « voir » l'environnement autour d'eux, communiquer, se sociabiliser et se nourrir (Nachtigall, 1980). Du fait de leur dépendance vitale et presque exclusive vis-à-vis de l'information acoustique, les cétacés en général représentent aujourd´hui le bio-indicateur le mieux indiqué des effets de la pollution sonore marine (Ross, 2000). Pour autant, la pollution sonore sous-marine et son impact sur les cétacés demeure insuffisamment connue et encore peu étudiée.

Le Grand Dauphin est également particulièrement sujet aux perturbations provenant de l'intensification du trafic maritime près des côtes, entraînant notamment des collisions à l'issue parfois létale. Le trafic maritime peut entraîner le déplacement de leur domaine vital dans des zones moins favorables, altérer leur comportement et/ou leur activité ainsi que modifier les interactions sociales au sein des groupes (Hastie *et al*.,

2006). L'écotourisme associé à l'observation des cétacés (*whale-watching*), activité en plein essor, peut être source de nuisances si elle n'est pas contrôlée et ne respecte pas un code de conduite rigoureux (Stockin *et al*., 2008 ; Arcangeli & Crosti, 2009).

I.2.4 Protection

Le Grand Dauphin a une forte valeur patrimoniale et est strictement protégé en Méditerranée. Il figure en Annexe II de la Convention de Washington sur le Commerce International des Espèces Menacées, mesure renforcée en Europe *via* la régulation 3626/82, ce qui lui confère un statut d'annexe I, qui est la protection la plus rigoureuse. Il est inscrit en Annexe II de la Convention de Berne pour la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel en Europe, listant les espèces animales strictement protégées pour lesquelles il est nécessaire de préserver les habitats par le biais de mesures législatives et réglementaires, et en Annexe II (espèces menacées ou en danger) du Protocole de la Convention de Barcelone sur les Aires Spécialement Protégées d'Importance Méditerranéenne (ASPIM). C'est également une des deux seules espèces de cétacés figurant dans l'Annexe II de la Directive Habitats du 21 mai 1992, définissant les espèces animales et végétales d'intérêt communautaire, dont la protection nécessite la désignation de Zones Spéciales de Conservation.

Il est bien sûr protégé par l'arrêté du 01 juillet 2011 interdisant entre autres la destruction, la capture et le dérangement intentionnel des mammifères marins et figure dans l'Accord ACCOBAMS (Agreement on the Conservation of Cetaceans in the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area).

I.2.5 Conservation du Grand Dauphin : les Aires Marines Protégées en Méditerranée française

Les Aires Marines Protégées (AMP) sont des espaces délimités qui répondent à un objectif de protection de la nature à long-terme, pour lequel des mesures de gestion sont définies et mises en œuvre. Elles doivent assurer la préservation d'un ensemble d'habitats remarquables, gérer durablement le milieu naturel soumis à de multiples usages et protéger ou reconstituer les ressources halieutiques. En France, il existe 15 catégories d'AMP dont, les parcs nationaux, les réserves naturelles marines, les arrêtés préfectoraux de protection des biotopes, les sites Natura 2000 en mer (qui se développent de plus en plus), les parties du domaine public confiées au conservatoire du littoral ou encore les parcs naturels marins (fig. 1).

La Méditerranée, *hot-spot* de biodiversité, a vu se développer depuis 1960 une centaine d'AMP couvrant 3.8% de sa surface totale soit 97 410 km^2 (Abdulla *et al.*, 2008). Elles sont établies en Algérie, Croatie, Chypre, France, Grèce, Israël, Italie, Liban, Malte, Maroc, Monaco, Slovénie, Espagne, Syrie, Tunisie et Turquie mais leur plan de gestion inclut rarement des mesures pour la conservation des cétacés. Une exception notable est le Sanctuaire Pelagos pour les cétacés de 87 500 km^2 créé en 1999 par la France, l'Italie et la Principauté de Monaco dans le bassin corso-liguro-provençal, dont l'objectif est de protéger les cétacés et leurs habitats contre toutes les causes de perturbations : pollutions, bruit, captures et blessures accidentelles, dérangement, etc. Gérées de façon appropriée, les AMP, et notamment les AMP côtières, peuvent contribuer à la conservation du Grand Dauphin en préservant leurs proies et leurs habitats, en réduisant les risques de mortalité dans les filets de pêche, en offrant un refuge contre le bruit et autres types de perturbations, en sensibilisant, en stimulant la

recherche et en facilitant l'échange d'informations.

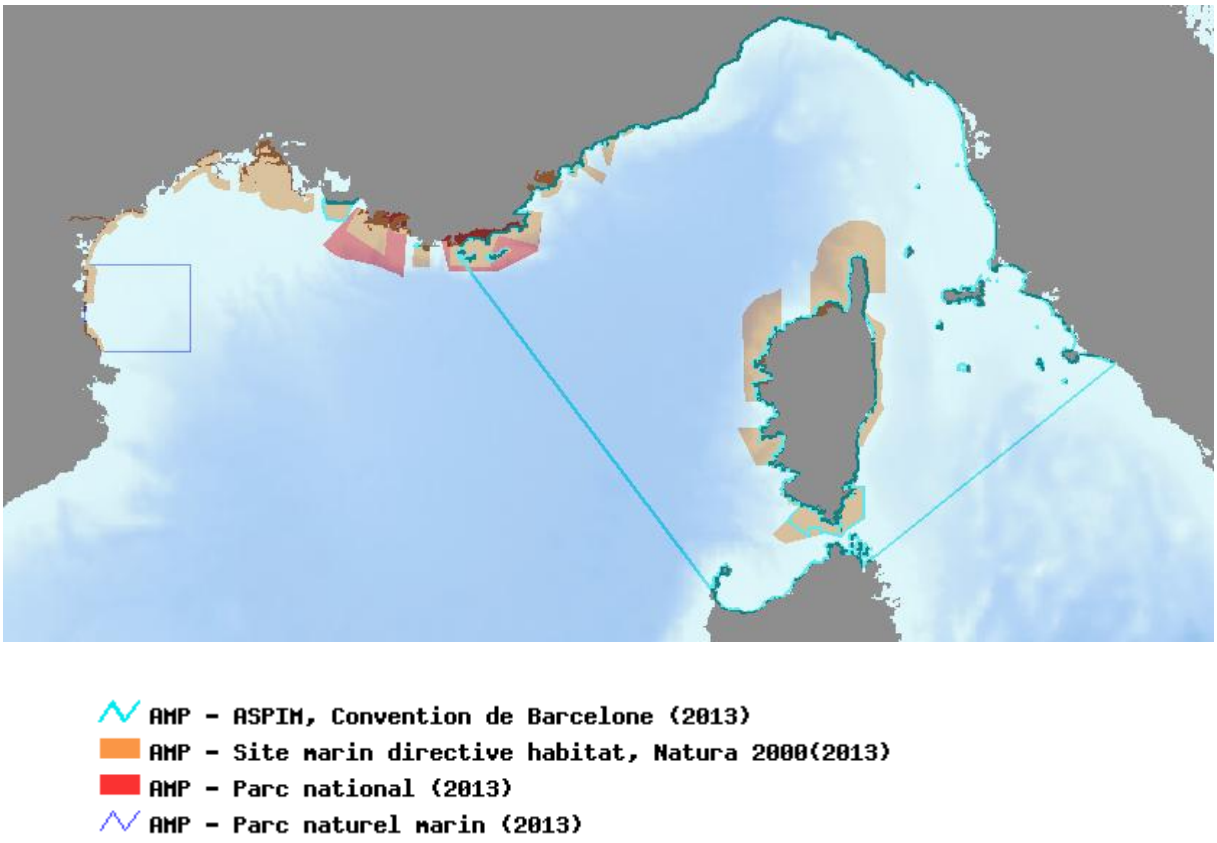


Figure 1 : Carte des Aires Marines Protégées Méditerranéennes françaises. (Source : *Cartomer - AAMP*)

Afin d'appréhender les moyens de conservation du Grand Dauphin existants au sein des AMP méditerranéennes, dans le cadre du projet GDeGeM, un questionnaire a été soumis à l'ensemble des gestionnaires (Annexe A, p. 55-58). L'analyse des réponses révèle que bien que le Grand Dauphin ait été observé dans 100% des AMP ayant répondu (soit environ 90% des AMP méditerranéennes françaises), pratiquement aucune n'effectue de suivi de l'espèce ou n'a de mesures spécifiques mises en place pour celle-ci. Les deux seules mesures existantes sont « une sensibilisation auprès des plaisanciers » et « une réduction de vitesse dans certaines zones». Plus de 90% des répondants juge que leur AMP pourrait améliorer les moyens de gestion en faveur du Grand Dauphin mais qu'ils sont bridés par un manque de collaboration avec les scientifiques et les autres AMP, un manque de moyens financiers, de protocoles et de formations. Il est cependant encourageant de constater que des mesures sont en projet pour le Grand Dauphin dans la majorité des AMP questionnées, bien qu'elles ne soient pas encore bien définies. En conclusion, il semblerait que le Grand Dauphin ne soit pas particulièrement pris en compte à l'heure actuelle au sein des AMP méditerranéennes malgré la volonté des gestionnaires.

II. Méthodes de suivi du Grand Dauphin

La mise en place de suivis d'une espèce représente un moyen efficace pour combler certaines lacunes de connaissance notamment concernant l'état des

populations et ses changements dans le temps. Le suivi et la surveillance d'une espèce sont au cœur de sa conservation et permettent de déterminer si des actions de gestions sont nécessaires et de connaître l'efficacité des mesures déjà prises. Un suivi au sein d'une AMP permettrait de déterminer la dépendance de l'espèce vis-à-vis de cette zone ainsi que l'importance des habitats pour l'alimentation, la reproduction, ou les déplacements par exemple.

Le choix d'une méthodologie pour le suivi d'une espèce dépend des objectifs de l'étude. Celle-ci peut porter sur la répartition spatiale de la population, sur son abondance ou encore sur différents paramètres de traits d'histoire de vie tels que les taux de fécondité ou de mortalité de la population.

II.1. Capture-Marquage-Recapture

La méthode de capture-marquage-recapture est communément utilisée en écologie pour estimer la taille d'une population. Une portion de la population est capturée, marquée, et libérée. Lors d'une capture suivante, le nombre d'individus marqués dans l'échantillon est compté. En partant de l'hypothèse que les échantillons sont représentatifs de la population et donc que le nombre d'individus marqués dans le deuxième échantillon doit être proportionnel au nombre d'individus marqués dans l'ensemble de la population, une estimation de la taille totale de la population peut être obtenue. Pour cela, il est nécessaire de pouvoir identifier les individus et d'avoir des données sur l'histoire de capture des individus identifiés. Les principales hypothèses sous-jacentes de cette méthode sont que les marques sont uniques à chaque individu, ne peuvent être perdues et que tous les individus ont une probabilité égale de capture. Dans les paragraphes suivants sont présentées différentes techniques d'identification du Grand Dauphin (Scott *et al.,* 1990a).

II.1.1. Pose de tags

Après capture et immobilisation de l'individu, le bord de fuite de l'aileron dorsal est perforé avec une lame circulaire stérile de 6 mm et un tag coloré (rototag) y est inséré. L'aileron dorsal est le site le plus utilisé pour l'attachement d'un tag car il est le plus facilement observable. Sa couleur et sa localisation sur l'aileron (à gauche ou à droite selon le sexe) fournissent des informations très utiles pour l'identification de l'individu. La pose de tags sur l'aileron dorsal du Grand Dauphin s'est montrée efficace lors d'un suivi de 17 ans sur l'espèce (Wells *et al*., 1987). La durée d'attachement d'un tag peut être de plusieurs années mais la plupart sont perdus en quelques mois.

II.1.2. Tatouage

Le tatouage consiste à appliquer sur une partie du corps un objet (chaud ou froid) afin d'y laisser une forme particulière et durable, voire définitive. Le *freeze-branding* est une méthode de tatouage qui consiste à refroidir un fer à marquer dans de l'azote liquide (–190°C) puis à le poser sur la peau de l'animal pendant quelques secondes. Plus de 260 Grands Dauphins ont été marqués de cette manière depuis 1970 dans la baie de Sarasota (Floride). Cette technique s'est montrée efficace sur le Grand Dauphin, les marques restant lisibles pendant plus de 10 ans dans certains cas (Wells, 2002).

Les difficultés et les risques associés à l'approche et au contact physique des cétacés rendent ces techniques d'identification délicates (Walker *et al.,* 2012). Jugées invasives et parfois peu éthiques, ces méthodes de marquage sont peu employées. D'autres méthodes d'identification, plus adaptées pour les cétacés et beaucoup plus fréquemment utilisées, existent, comme la photo-identification (Würsig & Jefferson, 1990). Ici, la « capture » se réfère à l'identification photographique d'un individu.

II.1.3. Photo-identification

La photo-identification (photo-ID) se base sur la reconnaissance des individus grâce à des marques naturelles. Chaque espèce offre différentes opportunités de reconnaissance individuelle. En effet, différentes zones corporelles peuvent être utilisées comme la nageoire caudale, le chevron ou l'aileron dorsal. Les Baleines Franches par exemple, exhibent sur leur tête des callosités distinctives reconnaissables. Les Grands Dauphins sont identifiables à partir de leur aileron dorsal, uniques grâce à la combinaison de leur forme, des entailles et encoches sur le bord de fuite (issues d'interactions sociales et/ou de blessures), et de traces de dépigmentation telles que les cicatrices. Cette technique est performante et non intrusive et est couramment employée pour des estimations d'abondance. Les animaux évoluant près des côtes, comme c'est le cas parfois pour les Grands Dauphins, offrent la possibilité d'effectuer le suivi par photo-ID à partir du rivage (Vermeulen *et al.*, 2008), bien qu'il soit recommandé d'être à moins de 15 m au dessus du niveau de la mer et à moins de 500 m de l'individu. Néanmoins, la photo-ID est le plus souvent réalisée depuis un bateau. Cette méthode nécessite que les dauphins soient bien distinguables et facilement photographiables ; les individus possédant peu de marques, en particulier les jeunes, étant difficilement identifiables. La photo-identification est une méthode très adaptée et utilisée pour le suivi des Grands Dauphins et a permis le suivi de certaines populations sur une vingtaine d'années (Wells *et al.*, 1987).

La méthode de capture-marquage-recapture par photo-identification est communément utilisée pour des estimations d'abondance chez le Grand Dauphin. La méthode permet d'estimer le nombre d'individus présents dans une zone à une période donnée avec fiabilité (Bearzi *et al*., 2008 ; Read *et al*., 2003 ; Wilson *et al.,* 1999) même pour de petites populations (Irwin & Würsig, 2004). Elle permet de détecter des tendances démographiques (Tezanos-Pinto *et al*., 2013, Henderson *et al*., 2013) à condition que le suivi s'étende sur au moins huit ans, période de temps nécessaire pour détecter un changement avec fiabilité, d'après Wilson *et al*. (1999). En Méditerranée, la fréquentation des Grands Dauphins le long des côtes provençales à été étudiée par cette technique et de nombreux groupes ont été photo-identifiés (Labach *et al*., 2011). Cette étude a notamment permis de mettre en évidence des déplacements « longue distance » de certains individus jusqu'à 427 kms. En Irlande, des déplacements de 130 à 650 kms mettent en évidence la nature hautement mobile et transitoire du Grand Dauphin (O'Brien *et al*., 2009).

Outre les estimations d'abondance et les déplacements, la structure sociale des groupes peut également être étudiée par photo-identification. Par exemple, Würsig & Würsig (1977), pionniers dans l'utilisation de la photo-identification, ont pu observer que les individus de la population étudiée se déplaçaient en petits groupes de 15 individus composés d'un noyau stable d'environ 5 animaux plus d'autres individus qui varient selon les observations.

La photo-ID permet également de déterminer certains traits d'histoire de vie tels que l'intervalle entre les mises bas. Plusieurs suivis du Grand Dauphin sur le long terme ont utilisé cette technique dont notamment à Shark Bay en Australie et à Moray Firth en Ecosse. Un des plus longs suivi par photo-identification du Grand Dauphin est celui de la communauté de Sarasota Bay, en Floride, débuté en 1970. Ce suivi a permis d'obtenir de nombreuses informations sur la biologie de l'espèce notamment sur la taille de la communauté et les déplacements (Scott *et al*., 1990b). Wells & Scott (1990) ont ainsi pu déterminer certains paramètres de la dynamique de population de Grands Dauphins de la baie de Sarasota tels que le taux de recrutement, de mortalité, d'immigration ou encore, de fécondation ; essentiels pour prévoir l'évolution de la population et pouvoir mieux la conserver. Pour plus de robustesse dans les estimations, la photo-identification est souvent utilisée en complément avec la méthode des transects de ligne (Baines *et al*., 2002 ; Lukoschek & Chilvers, 2008 ; Williams *et al*., 1993).

II.2. Transects de ligne

La méthode des transects est très utilisée pour des estimations de densité et de taille de population des cétacés. Le principe est de compter tous les individus rencontrés le long d'une route (*i.e*. transect, parcouru par avion ou par bateau) préalablement définie selon un protocole standard en estimant la distance entre l'individu et le transect. Les données obtenues sont ensuite extrapolées en se basant soit sur un modèle d'abondance (*model-based* method) soit sur la stratégie d'échantillonnage (*design-based* method) pour estimer la densité et l'abondance de la population sur la totalité de la zone d'étude.

Cette technique repose sur certaines hypothèses :
- *La détection sur le transect est garantie* : si la probabilité de détection sur le transect est inférieure à 1, la densité de l'échantillon et donc l'abondance dans la zone d'étude sont sous-estimées.
- *Les animaux ne se déplacent pas* : les animaux sont distribués de manière homogène en ce qui concerne le transect. Si les animaux se déplacent en réponse au bateau avant qu'ils ne soient détectés par les observateurs, alors leur distribution n'est plus homogène et un biais dans la densité de l'échantillon peut en résulter.
- *L'échantillon est représentatif* : la densité de l'espèce dans la zone prospectée (c'est-à-dire autour du transect) est représentative de l'abondance de l'espèce dans l'ensemble de la zone d'étude. Pour cela les transects doivent être placés au hasard dans la zone d'étude, toutes les parties de la zone ayant la même probabilité d'être prospectées.

La technique du transect de ligne est communément employée à partir d'un bateau. De petits bateaux conviennent à ce genre d'étude comme le démontrent Dick & Hines (2011), rendant ainsi l'approche accessible aux pays en voie de développement (Aragones *et al*., 1997). Le principal inconvénient de cette méthode est que certains biais dans les estimations peuvent résulter du fait des mouvements de réponse des individus par rapport au bateau (Palka & Hammond, 2001). Les suivis aériens ont d'importants avantages par rapport à ceux par bateau. De tels suivis permettent de couvrir une zone beaucoup plus importante pour une même période de temps et ne dépendent pas de la profondeur ou des zones de navigation réglementées. L'avion permet également de profiter des courtes périodes de beau temps (particulièrement important en hiver), et les incertitudes dans les mesures de distance et d'estimation de la taille des groupes sont réduites. De plus il y n'a que peu ou pas de problème de mouvement ou d'évitement des

animaux grâce à la hauteur de la plateforme d'étude. Les suivis par avion se prêtent bien aux études d'abondance et de distribution du Grand Dauphin comme en Méditerranée nord-occidentale (Forcada *et al*., 2004 ; Panigada *et al*., 2011), ou encore dans le Golfe de Mexico (Mullin *et al*., 1990 ; Leatherwood & Reeves, 1983). D'autres ont choisi l'avion pour estimer la taille des groupes et l'utilisation de l'habitat (Irvine *et al*., 1982b). Cependant il existe aussi des facteurs limitant les observations aériennes comme la couverture nuageuse ou la réflexion du soleil (Holt & Cologne, 1987).

L'efficacité de cette méthode de transects de ligne, que ce soit par bateau ou par avion, est dépendante de plusieurs facteurs dont la visibilité, l'état de la mer ainsi que les compétences des observateurs (Dawson *et al*., 2008).

II.3. Suivi depuis la terre

L'observation de cétacés à partir d'une plateforme terrestre offre la possibilité de recueillir des données sans risque d'interférence entre l'observateur et le sujet. De telles observations permettent d'étudier le comportement, l'utilisation de l'habitat, et les déplacements des dauphins, sans que la présence d'un bateau de recherche par exemple ait une incidence sur le comportement naturel des animaux. L'observation est effectuée à partir d'une plateforme élevée (par exemple le sommet d'une colline, d'une falaise, d'un immeuble) permettant d'avoir une vue d'ensemble. Contrairement à la technique des transects, les observateurs sont stationnaires par rapport aux dauphins. Deuxièmement, cette méthode ne suppose pas que la distribution des individus dans la zone prospectée est égale à celle de la zone d'étude. Cependant il est supposé que tous les dauphins à l'intérieur d'une certaine distance de la plateforme d'étude sont certains d'être vus, leur distribution étant sans importance. Cette méthode est bien sûr soumise à la présence régulière des animaux suffisamment près des côtes et du point d'observation.

Les méthodes d'observation visuelles ou photographiques (photo-identification, transects, suivi depuis la terre) pour les cétacés ont l'avantage d'être des techniques non invasives et faciles à mettre en place. Cependant elles sont très tributaires des conditions d'observation, météorologiques et de lumière (impossible pendant la nuit) et du temps passé en surface par les animaux (environ 2 ou 3 fois par minute pour les Grands Dauphins, bien qu'ils puissent rester sous l'eau jusqu'à 20 minutes) (Mellinger & Barlow, 2003). Les résultats provenant d'observations visuelles sont surtout très limités dans l'espace et dans le temps. Les observations sont généralement réalisées à partir d'un petit nombre de points d'observation - un ou quelques bateaux - pendant quelques semaines voire quelques mois dans l'année et sont très dépendantes des conditions météorologiques.

Chaque méthode présente des avantages et des inconvénients et leur applicabilité varie. L'utilisation de stations fixes (suivi depuis la terre) permet un suivi durable à coûts relativement faibles mais la zone de prospection est limitée au voisinage immédiat. Pour des zones d'études plus grandes, des plateformes d'observation mobiles sont nécessaires. Les plateformes d' « occasion » telles que les ferries ou les bateaux de *whale-watching*, sont souvent utilisées pour prospecter des zones à faible coût. Cela permet de faire des observations répétées dans le temps, mais sans contrôle de la direction du bateau, il est impossible d'échantillonner de grandes zones, limitant ainsi l'estimation d'abondance.

II.4. Télémétrie

La télémétrie se réfère à la mesure de différents paramètres à distance *via* des instruments électroniques (balises) installés sur l'animal. Ces balises sont composées de capteurs qui donnent des informations sur l'animal et son environnement. Elles peuvent être utiles pour tester des hypothèses relatives aux déplacements et au comportement de chasse. Ils existent de nombreuses balises capables par exemple de renseigner sur la température de l'estomac (Wells *et al.*, 2013), le mouvement des mâchoires (Hall effect sensor), le rythme cardiaque, la vitesse de nage, la position GPS mais également des données physiques sur l'environnement comme la température, la pression ou la salinité de l'eau. Elles peuvent être attachées avec ou sans pénétration dans la peau (à travers la dorsale ou par ventouses). Balmer *et al*. (2011) ont ainsi équipé 28 Grands Dauphins de balises pénétrantes pour étudier leur mouvement mais celles-ci ne restèrent attachées que 2 mois en moyenne. Irvine *et al.* (1982a) ont documenté les premières expériences d'attachement de balises-radio sur la dorsale de Grands Dauphins dans la Baie de Sarasota (Floride). La télémétrie permet de traduire les informations obtenues en mesures de gestion en quelques heures voire quelques minutes plutôt que les mois nécessaires pour analyser pleinement le retour d'études en mer, et fournit la position passée et actuelle de l'animal. Elle permet non seulement l'identification des habitats critiques et des routes de migration, mais aussi le moment de la migration, de l'alimentation et de la reproduction, et permet de mieux comprendre la variabilité du mouvement des individus en relation avec les saisons, les conditions environnementales, la géographie, etc. De plus, l'individu, en se déplaçant, permet d'enregistrer les conditions environnementales de son habitat ce qui donne une idée des facteurs essentiels qui déterminent les processus de décision de déplacement des individus.

Cette technique offre de nombreux avantages comme la réactivité, la couverture continue, les relations avec les données environnementales, la connaissance du profil environnemental de l'habitat. Cependant cette technique est une méthode invasive, coûteuse, pas toujours facile à mettre en place et présente des limites notamment en ce qui concerne la taille des batteries et la durée d'attachement (Balmer *et al*., 2013).

II.5. Acoustique passive

L'océan est un milieu sonore. Les sons et bruits qui y règnent proviennent de sources naturelles (des invertébrés aux mammifères marins en passant par les tremblements de terre, les vagues ou la pluie) ainsi que de sources anthropiques (activités humaines). Sous l'eau, le son se propage 5 fois plus vite que dans l'air et sur de plus grandes distances qui, selon les propriétés du son, sont de l'ordre de quelques mètres (son d'un oursin) à quelques milliers de kilomètres (vocalise de baleine bleue).

L'acoustique marine utilise les sons pour étudier le milieu sous-marin. On distingue l'acoustique active de l'acoustique passive. L'acoustique active, pour laquelle un son est émis par un échosondeur et l'écho analysé, est largement utilisée lors des activités militaires, pour l'analyse des fonds marins (par exemple dans la recherche pétrolière), ou encore pour la recherche halieutique (Holliday *et al*., 1989). L'acoustique passive, quant à elle, enregistre les bruits présents dans l'environnement et permet d'identifier les sources des signaux acoustiques selon leurs caractéristiques (fréquence, puissance, niveau, modulation, composition, etc.). Parmi de multiples applications, c'est

une méthode utilisée dans la recherche sur la bioacoustique notamment pour étudier la faune marine (invertébrés, poissons et mammifères marins) ainsi que l'impact acoustique de certaines activités anthropiques sur ces animaux.

L'hydrophone est le capteur de base de l'acoustique sous-marine. De la même façon que les microphones captent les sons à l'air libre, les hydrophones détectent les signaux acoustiques sous l'eau. La plupart des hydrophones sont basés sur une propriété particulière de certaines céramiques (la piézo-électricité) produisant un faible courant électrique lorsqu'il est soumis à des variations de pression (Au & Hastings, 2008). Immergé dans l'eau, un hydrophone est exposé à des sons sous-marins se propageant dans n'importe quelle direction. En amplifiant et en enregistrant les signaux électriques produits par un hydrophone, le son dans la mer peut être mesuré avec une grande précision. Bien que dans la plupart des cas un seul hydrophone enregistre les sons, plusieurs hydrophones déployés simultanément en « antenne » (ou « array ») permettent de localiser la source des signaux acoustiques. La distance entre les capteurs d'une antenne est définie par la longueur d'onde du signal acoustique qu'on souhaite localiser. Le délai d'arrivée d'un même son aux différents capteurs permet de localiser l'origine du son par rapport à l'antenne.

Le suivi par acoustique passive a l'avantage de fonctionner en continu (jours et nuits) pendant de longues périodes de manière non intrusive, indépendamment de la météo ou du type de substrat, et lorsque les observations visuelles ne sont pas possibles ou pas faciles. Il a l'avantage de fournir des informations sur la présence et les activités des mammifères marins sous la surface, où ces derniers passent la majorité de leur temps. Il permet également d'identifier plusieurs sources en même temps, que ce soient des bruits anthropiques ou de différentes espèces de mammifères marins, poissons, etc. Cependant cette richesse sonore comporte aussi des contraintes. La difficulté principale de l'acoustique passive est la non-sélectivité. Les enregistreurs captent tous les sons (dans la bande de fréquence prédéfinie) et la quantité de données est souvent très importante. Des méthodes de traitement (qui par exemple permettent semi-automatiquement de détecter les sons d'intérêts) sont requises. Cette détection peut parfois être perturbée par le bruit marin ambiant, si celui-ci a des niveaux élevés dans la bande de fréquence des signaux d'intérêt. Dans le cas des mammifères marins, malgré leur forte activité sonore, l'acoustique passive donne des informations utiles uniquement si les animaux émettent des sons. Cette méthode, bien qu'encore peu utilisée se développe de plus en plus pour l'étude et le suivi des cétacés.

Tableau 1 : Résumé des avantages et des inconvénients des méthodes de suivi appliquées au Grand Dauphin.

Type de suivi	Applications	Avantages	Inconvénients
CMR	Distribution spatio-temporelle, structure sociale, traits d'histoire de vie, abondance, déplacements	- Identification fiable des espèces - Suivi durable	- Tributaire du temps passé en surface des animaux -Nécessité de plusieurs captures
Pose de tags		- Individus identifiables immédiatement	- Durée d'attachement du tag courte - Risque de blessures - Peut nécessiter une capture physique
Tatouage		- Individus identifiables immédiatement - Tatouages visibles longtemps	- Capture physique obligatoire
Photo-identification		- Minimise le dérangement des animaux - Technologies progressent (optique, logiciels de matching)	- Difficile d'obtenir des photographies exploitables - Nécessite des marques naturelles prononcées
Transects de ligne	Estimation de densité et d'abondance, distribution spatio-temporelle	- Un seul échantillonnage nécessaire - Données auxiliaires peuvent être collectées (environnementales, autres espèces)	- Applicable par beau temps et de jour uniquement - Contraintes logistiques et financières - Mouvement de réponse des animaux - Faible taux de détection

Type de suivi	Applications	Avantages	Inconvénients
Depuis la terre	Taille population, comportement, déplacements, interactions bateaux/cétacés	- Suivi durable - Faible coût - Non invasif	- Limité au voisinage immédiat -Tributaire du temps passé en surface des animaux
Télémétrie	Déplacements, comportement, tracking, paramètres physiologiques et environnementaux	- Suivi d'un animal dans régions isolées et en profondeur	- Taille importante des batteries - Durée d'attachement courte - Potentielle gêne pour l'animal
Acoustique passive	Présence/absence, utilisation de l'habitat, distribution spatio-temporelle, tracking, comportement	- Non invasif - Grande couverture spatio-temporelle - Mesure en parallèle des activités anthropiques	- Identification difficile pour des espèces proches (Grand Dauphin et Dauphin bleu et blanc par ex.) - Dénombrement des individus très difficile - Tributaire de la vocalisation des individus
Mobile		- Données en temps-réel - Aide à la détection visuelle	- Mouvement de réponse des animaux - Etude courte, ponctuelle - Contraintes logistiques - Qualité des données altérée par le bruit du bateau
Fixe		- Applicable sur de longues périodes, dans des zones peu accessibles - Indépendante de la météo - Possibilité d'enregistrer en continu, nuit et jour -Données en temps réel ou différées	- Contraintes géo-physiques (amarrage) - Contraintes en lien avec les activités de la zone (pêcheurs, armée, …) - Contraintes législatives

III. Utilisation de l'acoustique passive pour le suivi du Grand Dauphin

III.1. L'acoustique chez le Grand Dauphin

Les ondes acoustiques se propagent 5 fois plus vite et beaucoup plus loin dans l'eau que dans l'air alors que l'électromagnétisme, la chaleur et la lumière s'y propagent beaucoup moins efficacement. Les cétacés sont des animaux vocalement actifs, environ 30% de leur cortex est dévoué à l'acoustique, contre 5% chez l'Homme. Ils sont classés, du point de vue des fréquences d'émission sonore, en deux groupes coïncidant avec les deux sous-ordres des Odontocètes (cétacés à dents) et des Mysticètes (cétacés à fanons). Ces derniers utilisent des sons de basse fréquence pour communiquer sur de longues distances (Tyack & Clark, 2000), alors que les Odontocètes émettent et perçoivent de préférence des sons de haute fréquence (tableau 1). Chez les Odontocètes on fait une distinction entre deux catégories principales de sons (fig. 2):

- ✓ les sifflements, vocalisations utilisées pour la communication ;
- ✓ les clics, impulsions sonores (ultrasons) utilisés pour l'écholocation.

Le Grand Dauphin utilise des fréquences allant de 4 à 170 kHz. Il émet des clics de haute fréquence (110 à 130 kHz) au nombre de 30 à 800 par seconde qui ont une diffusion étroite et ciblée et des sifflements de 1 à 4 kHz qui ont une propagation plus diffuse. Ces deux types de signaux sont émis non simultanément.

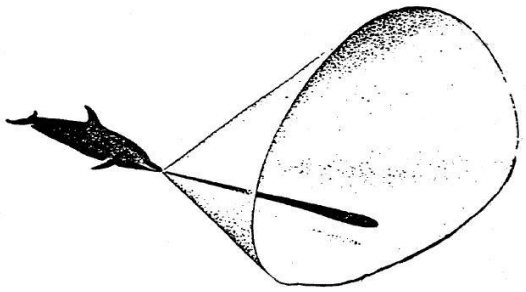


Figure 2 : Schéma des signaux fins (clics) et grossiers (sifflements) émis par le Grand Dauphin.

L'acoustique passive et active (écholocation) est le sens le plus développé chez les Odontocètes et est utilisé pour leurs fonctions vitales comme la communication, la navigation ou encore la chasse (fig. 3). Le principe de l'écholocation des Odontocètes est de « voir avec les oreilles ». L'animal émet des ultrasons (trains d'ondes) qui, lorsqu'ils rencontrent un obstacle (objets, fonds océaniques), rebondissent et sont renvoyés à l'expéditeur. L'animal est capable de capter et d'analyser cet écho qui lui fournit une « photographie » acoustique fidèle de son environnement.

Emission. Les Odontocètes ne possèdent pas de cordes vocales. Les sons sont produits par des sacs aériens situés à la base de l'évent qui vibrent et produisent, selon l'ouverture et le débit, des clics ou des sifflements.

Focalisation. Les ondes acoustiques produites traversent l'os frontal et pénètrent dans le melon ('spermaceti' chez les cachalots). Le melon est composé de sacs de graisse contrôlés par des muscles qui peuvent étirer ou comprimer ces sacs et ainsi modifier leur conformation. Cet organe totalement déformable fonctionne comme une lentille acoustique qui permet à l'animal d'orienter à sa guise les sons émis. Les grandes

longueurs d'ondes conviennent à la vision acoustique de loin, large et panoramique alors que les longueurs d'ondes courtes permettent la perception précise rapprochée et focalisée.

Réception. Les signaux sonores sont reçus par les os des mandibules dont les articulations sont en contact avec l'oreille interne qui les transmet au cortex auditif où ils sont analysés.

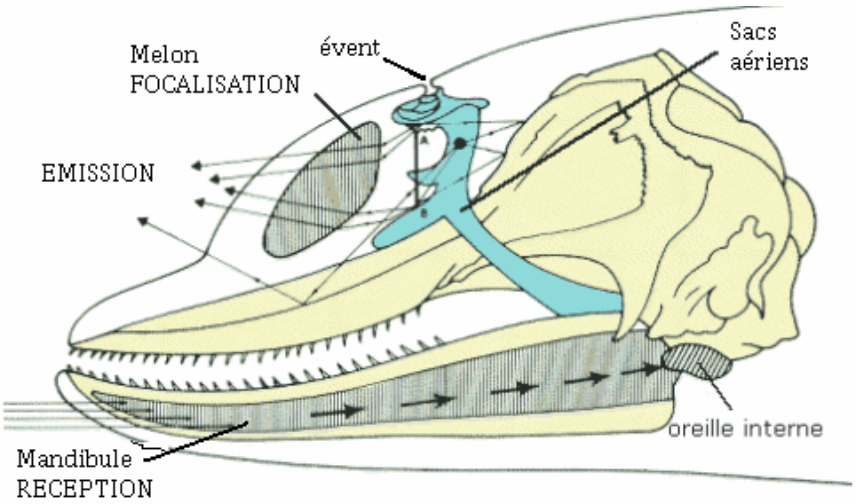


Figure 3 : Structures biologiques responsables de l'écholocation (Source *: Eric Poncelet d'après Norris*)

L'écholocation est principalement utilisée dans la navigation et la recherche de nourriture, bien que la détection de proies puisse se faire également par écoute passive de celles-ci (Gannon *et al*., 2005). Le dauphin en nage de croisière émet 30 à 50 signaux par seconde, si un écho « poisson » est renvoyé, le rythme augmente en raison de la diminution de la distance, jusqu'à la capture, moment auquel le rythme diminue. Leurs sifflements sont relativement longs, la fréquence des sons est plus basse. Ces sons sont supposés être principalement utilisés dans des contextes sociaux.

Tableau 2 : Caractéristiques des clics et sifflements émis par le Grand Dauphin (Hertz = Hz et Kilohertz = kHz pour la fréquence ; décibel = dB pour le niveau sonore)

Caractéristiques	Gamme documentée	
	Clic	Sifflement
Niveau de pression sonore (re 1 µPa @ 1m)	177-228 dB	125 – 173 dB
Durée	8 - 72 µs	50 ms – 4 s
Fréquence du pic	30-150 kHz	800 Hz – 24 kHz
Largeur du faisceau à -3dB	9-10°	NA
Références	(Au *et al.,* 2012 ; Wahlberg *et al.,* 2011)	(Bazua-Duran & Au, 2002)

D'autres types de sons également émis par les Grands Dauphins ont pu être détectés dans certaines populations (fig. 4) :

- ✓ Les « burst pulse calls » sont compris entre 20 Hz et 20 kHz et comprennent des sons qui varient grandement en amplitude et en vitesse.
- ✓ Les « pops » sont des sons à large bande qui peuvent être utilisés dans un contexte social (Connor & Smolker, 1996) ou bien durant l'alimentation (Nowacek, 2005).
- ✓ Les « bray calls », de fréquence inférieure à 4 kHz et émis pendant la chasse et d'autres contextes de nature sociale avec les sons de basse fréquence (Janik, 2000).
- ✓ Les sons de basse fréquence (< 2kHz), souvent émis pendant les interactions sociales (Janik *et al.,* 2009).

La diversité du répertoire acoustique du Grand Dauphin peut être un indicateur du comportement ou de l'appartenance (population, groupe, individu). La majorité de ces vocalises (principalement les sifflements) peuvent s'entendre à plusieurs centaines de mètres, voire kilomètres, selon l'intensité du bruit de fond. La nature hautement acoustique des Grands Dauphins fait de l'acoustique passive un outil efficace pour détecter leur présence, connaître leurs lieux privilégiés, ainsi que la fréquence d'utilisation du site. Ces connaissances peuvent servir au suivi d'une population, ou groupe, sur le long-terme.

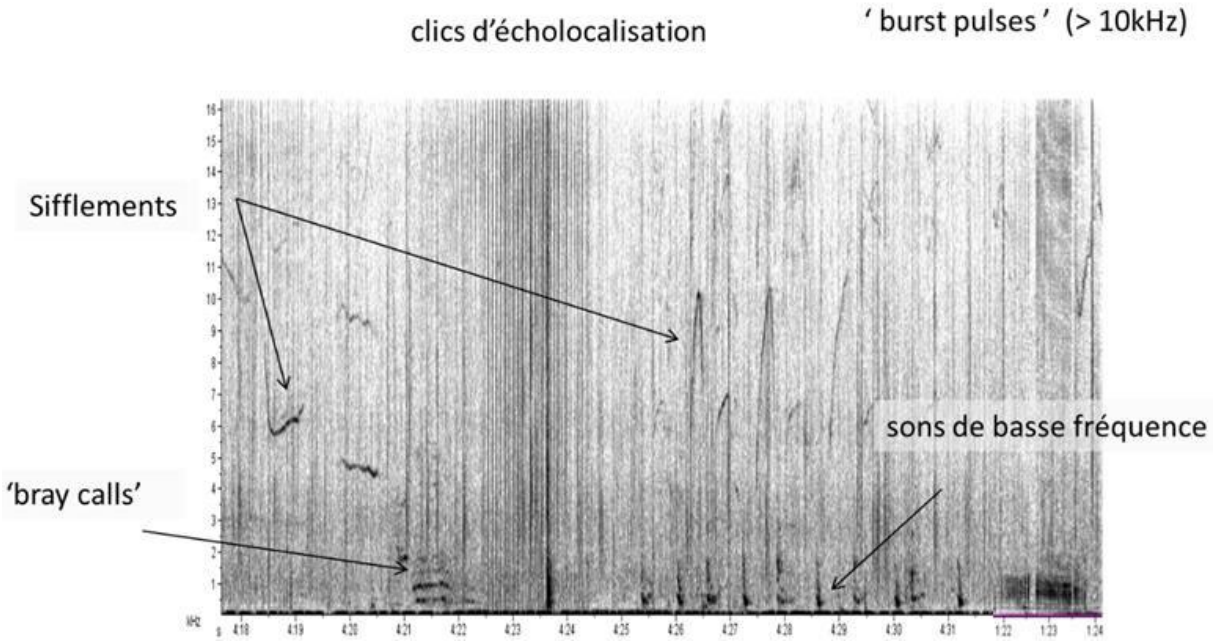


Figure 4 : Répertoire acoustique du Grand Dauphin pour les fréquences inférieures à 16 384 Hz, signaux mesurés en Iroise durant la campagne AcDau par un enregistreur AURAL.

III.2. Les outils

Récemment, les méthodes d'acoustique passive se sont progressivement généralisées pour l'observation des cétacés (Moore *et al*., 2006). Le suivi par acoustique passive est utilisé lors de recensements et d'études comportementales, en particulier pour des suivis en continu et sur le long-terme, dans des zones hostiles ou inaccessibles

(Wartzok *et al*., 1992). Plusieurs méthodes existent pour détecter "passivement" et localiser les mammifères marins. Cependant, la plupart a été utilisée pour l'étude des baleines (McDonald *et al*., 1995 ; McDonald & Fox, 1999 ; Tiemann *et al*., 2004) et très peu pour l'étude des dauphins. On distingue deux approches de suivi par acoustique passive : mobile ou fixe.

III.2.1. L'approche mobile

Dans l'approche mobile, les hydrophones sont le plus souvent tractés à l'arrière d'un bateau ou apposés à un « planeur » sous-marin (comme pour le marsouin commun ; voir Wilson *et al*., 2013) ou tout autre plateforme mobile dans le but d'échantillonner une large zone. Le plus souvent de tels systèmes sont utilisés en complément d'observations visuelles ce qui permet d'affiner grandement la collecte de données. Le suivi par hydrophone tracté a l'avantage d'identifier en temps réel les animaux présents dans la zone. Cependant il partage certains des désavantages des campagnes d'observations visuelles en mer. Il n'est praticable que par beau temps et la présence du bateau peut influencer le comportement vocal des dauphins. Cette approche est relativement coûteuse, nécessite un bateau et ne peut se faire que sur de courtes périodes de temps avec une couverture spatiale relativement limitée. De plus, l'approche mobile est ponctuelle et de courte durée et ne donne qu'un « instantané » de la fréquentation des cétacés présents dans un lieu et pour un instant précis. De tels systèmes ont été utilisés sur le Grand Dauphin comme par exemple dans l'estuaire de Cromarty, en Ecosse, où 4 hydrophones ont été positionnés sur une corde verticale derrière un bateau pour déterminer la profondeur des sources vocalisant et ainsi avoir un aperçu de l'utilisation de la colonne d'eau (fig. 5). Cette méthode ne semble pas très adaptée pour acquérir des connaissances relatives à la présence des Grands Dauphins sur une grande surface et pendant une longue période de temps et elle ne sera pas préconisée pour notre étude.

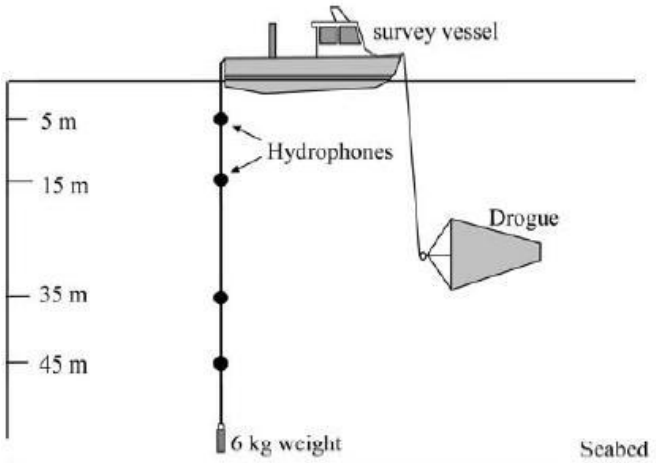


Figure 5 : Schéma de l' « array » constitué de 4 hydrophones tractés derrière un bateau dans l'estuaire de Cromarty en Ecosse (Source : *Hastie et al., 2005*).

III.2.2. L'approche fixe

Dans l'approche fixe, les hydrophones sont laissés sur place pendant de longues périodes (Mellinger *et al*., 2007). Cette approche a l'avantage de pouvoir être opérée en continu, de jour comme de nuit et est indépendante des conditions météorologiques.

Plusieurs types d'instruments sont disponibles, qui diffèrent par leur système de transmission ou d'enregistrement des données (paramètres). On retrouve les hydrophones câblés, les hydrophones-radio et les enregistreurs autonomes.

III.2.2.1. Les hydrophones câblés

Ces systèmes permanents ou semi-permanents fournissent des données en temps réel, ou presque, à une station de réception située à terre ou sur un navire par le biais d'un câble. En raison du coût de l'installation, les hydrophones câblés sont utilisés principalement par la Navy et des organisations gouvernementales. Ces systèmes pourraient être très bénéfiques à la recherche sur les mammifères marins mais les données ne sont que peu accessibles du fait des restrictions d'accès par l'armée. De plus, les bandes d'enregistrement sont souvent limitées aux basses fréquences. Un système de ce type, nommé EARS (Earing Acoustic Recording System), a été utilisé en Corse, afin d'étudier les vocalisations des dauphins pendant les attaques des filets de pêche afin de mieux comprendre les systèmes acoustiques utilisés pour l'écholocation (Maggiani, 2006). L'observatoire MeDON, un projet INTERREG franco-anglais situé au large de l'Ile de Molène en Mer d'Iroise, a été développé afin de tester un nouveau concept de monitoring côtier câblé public, basé sur un réseau de capteurs pour l'acquisition de données en temps réel. Trois hydrophones de type RTSYS y sont intégrés avec l'objectif de suivre le bruit ambiant et détecter les vocalises des Grands Dauphins de la zone.

III.2.2.2. Les hydrophones radio

Les données sont transmises par onde radio à la station d'enregistrement et d'analyse. La bouée acoustique, par exemple, comprend un seul hydrophone sous-marin et un émetteur radio pour envoyer les signaux enregistrés. Cependant, la courte autonomie de l'appareil ne permet pas la surveillance à long terme des sons de l'océan, il est donc peu utilisé dans la recherche sur les cétacés.

III.2.2.3. Les enregistreurs autonomes

Les enregistreurs autonomes sont composés d'un ou plusieurs hydrophones attachés à une boîte (enregistreur) résistant à l'eau et à la pression et contenant toutes les batteries, ordinateurs et autres appareils électroniques nécessaires à l'enregistrement des données pendant plusieurs mois voire plusieurs années. Les données sont stockées dans une carte mémoire ou un disque dur interne. L'inconvénient est que les données ne peuvent pas être transmises en temps réel : il faut revisiter le site de déploiement et récupérer le système de stockage. Le traitement des données ce fait donc *a posteriori*. Avant de mettre à l'eau l'instrument, il est possible de choisir le taux d'échantillonnage qui est la cadence à laquelle les valeurs sont enregistrées (qui permettra d'enregistrer toute la bande de fréquences ou non) et la durée des enregistrements (en continu ou non). Techniquement il faut que la fréquence d'échantillonnage soit au moins le double de celle du son le plus aigu que l'on souhaite enregistrer. Les enregistreurs autonomes ont été utilisés avec succès dans les études sur les mammifères marins. Ils ont l'avantage d'être portatifs, contrairement aux hydrophones câblés, et relativement peu coûteux (par rapport à un système câblé) par exemple. Cette catégorie d'instrument semble adaptée pour un suivi du Grand Dauphin sur le long terme et est présentée dans la suite de ce rapport.

III.3. Méthodologies de suivi par acoustique passive fixe et autonome

Pour le suivi par acoustique passive fixe du Grand Dauphin, plusieurs enregistreurs autonomes ont été utilisés dans le passé (tableau 3). Pour collecter des données acoustiques de Grands Dauphins sur une longue période à partir d'un enregistreur autonome, celui-ci doit consommer peu d'énergie, doit numériser les données à grande vitesse et doit avoir une capacité de stockage des données importante.

III.3.1. T-POD / C-POD

Les T-POD et les C-POD sont des systèmes constitués d'un capteur qui enregistre les sons du milieu marin et d'un algorithme de détection, interne à l'instrument, qui compare directement l'énergie présente entre une bande de fréquence de référence et celle des signaux d'intérêts (*i.e.* clics de Marsouin, Grand Dauphin, Beluga). Lorsqu'un bruit est en phase avec ces critères alors l'instant auquel le signal d'intérêt recherché a eu lieu et sa durée sont enregistrés dans un fichier comme un évènement. La répétition, la durée et la fréquence des évènements détectés sont analysées à l'aide d'un logiciel spécifique et la source des évènements est alors catégorisée entre différentes possibilités : *cétacé*, *probablement un cétacé*, *inconnu* et enfin *sonar de bateau*. Le signal original attestant la présence de l'évènement ainsi que les signaux non reconnus comme d'intérêt par l'algorithme ne sont pas conservés, ce qui permet d'économiser du stockage et ainsi déployer le système sur de plus longues périodes. Les données sont automatiquement filtrées pour éliminer le bruit inhérent aux bateaux. La durée des intervalles entre les clics apportent des informations sur le comportement acoustique de l'animal. Les T-POD ont été utilisés pour surveiller l'activité et le comportement du marsouin commun mais sont également utilisés pour le suivi du Grand Dauphin. Le T-POD se présente sous la forme d'un tube de 50 à 70 cm de long et de 3.9 kg avec les batteries (8 ou 10 piles alcalines). Il fonctionne uniquement s'il est en position verticale, dans des profondeurs allant de 0 à 100 m et a une autonomie moyenne de 3 mois. Le capteur du T-POD est un hydrophone omnidirectionnel couvrant une bande passante de 9 à 170 kHz. L'efficacité du détecteur varie selon les études avec 11% de détection du Grand Dauphin pour une étude dans la Zone Spéciale de Conservation de Cardigan Bay en Ecosse (Reyes-Zamudio, 2005) ou encore 82% pour une étude du Grand Dauphin dans l'estuaire de Shannon en Irlande (Philpott *et al*., 2007). Une autre étude ayant pour but d'une part de comparer les détections visuelles et acoustiques des Grands Dauphins et d'autre part de comparer la probabilité de détection par les T-POD et par un enregistreur embarqué sur un bateau démontre que les T-POD ne détectent pas tous les clics d'écholocation des Grands Dauphins enregistrés par bateau. De plus les T-POD ne détectaient pas systématiquement les dauphins lorsqu'ils étaient observés visuellement (Bailey *et al*., 2010).

Le C-POD est une version avancée du T-POD (même fabricant : *Chelonia Ldt*) et présente plusieurs avantages en comparaison avec ce dernier. Il détecte simultanément tous les évènements dans une large gamme de fréquence (20-160 kHz) sans configuration avant sa mise à l'eau. En *post* traitement, à l'aide du logiciel CPOD.exe, la source de l'évènement est attribuée. L'algorithme compare ici l'énergie entre différentes bandes de fréquences de références selon la source ou l'espèce recherchée (*i.e.* 130 kHz pour le marsouin commun et 50 kHz pour le Grand Dauphin). La carte mémoire (SD)

possède une plus grande capacité et peut être changée en mer. Enfin la durée de vie des batteries est beaucoup plus longue en comparaison avec le T-POD (Diederichs *et al*., 2008). A Cardigan Bay, en Ecosse, Nuuttila *et al*., (2013) se sont intéressés à l'effet de la distance, du comportement et de la taille du groupe sur la probabilité de détection des Grands Dauphins par des C-POD.

Les désavantages des T- et C-POD sont multiples. Ils détectent uniquement les clics d'écholocalisation qui, étant très directionnels et ayant une fréquence très élevée, se détectent à de très courtes distances (de quelques mètres à quelques dizaines de mètres). La donnée brute (clip du son) n'est pas enregistrée et l'algorithme qui détecte et classifie les signaux n'a pas été publié. Il s'agit donc d'une boite noire. L'algorithme est mis à jour régulièrement ce qui implique que différentes séances d'acquisition utilisant différentes versions, ne sont pas vraiment directement comparables. De plus, dans des zones côtières rocheuses ou des récifs riches en signaux transitoires d'origine benthique (crevette claqueuse (pistolet), oursins, etc.) comme c'est souvent le cas en Méditerranée, les cartes mémoires saturent et le détecteur perd de sa fiabilité. Une étude exhaustive de calibration des C-PODS dans différents milieux a été menée dans le cadre du projet MARSAC (suivi acoustique de marsouins communs en Atlantique et dans la Manche) des Aires Marine Protégées et Ministères de l'environnement et est en cours de publication (Samaran, Gervaise et collaborateurs).

III.3.2. HARP (High-frequency Acoustic Recording Package)

Ce 'pack' est composé d'un hydrophone, d'un poids et d'un système d'acquisition de données composé essentiellement de 16 disques durs (2TB d'enregistrement) et de 192 piles alcalines permettant un enregistrement continu de 54 jours à une fréquence d'échantillonnage de 200 kHz (ou 1 an en continu à 30 kHz) (fig. 6). Pour rallonger la durée d'enregistrement l'instrument peut être programmé pour enregistrer par cycle de 5 minutes toutes les 10 minutes (par exemple). Fonctionnel jusqu'à 7000 m de profondeur, le format standard pèse 60 kg et se présente sous la forme d'un rectangle d'1.5 m de long contenant 6 sphères de 30.5 cm de diamètre plus une ligne câblée de 10 m pour la flottaison de l'hydrophone. Les données obtenues sont brutes (format .xwav) et sont analysables sous MATLAB.

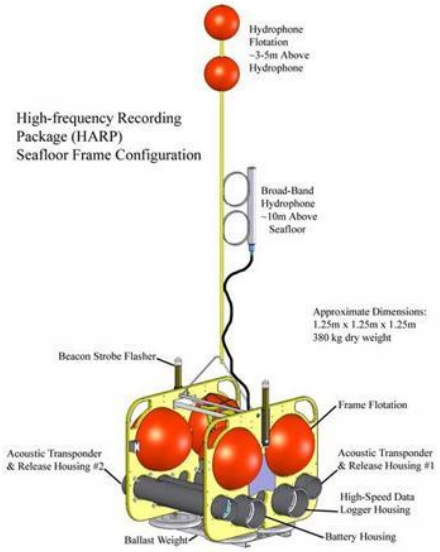


Figure 6: Instrument HARP (Source: *Scripps Whale Acoustic Lab*)

Baumann-Pickering *et al*., (2010) ont utilisé cet instrument pour une étude du Grand Dauphin dans les eaux américaines, en complément d'une approche mobile ; d'autres en complément d'observations visuelles (Wiggins *et al*., 2013). Cet instrument permet donc d'enregistrer des sons de fréquence inférieure ou égale à 100 kHz, correspondant aux sifflements des Grands Dauphins. Cependant il nécessite un navire de taille importante possédant un treuil pour le déploiement.

III.3.3. AURAL-M2

Cet instrument est composé d'un hydrophone, d'un capteur de pression et de température, et de disques durs (format .wav) (fig. 7). Il est capable d'enregistrer en continu ou par cycle (1GB ou plus) jusqu'à 1 an selon les paramètres programmés. Il est disponible en trois dimensions différentes (178 cm – 49 kg ; 120 cm – 32 kg ; 90 cm – 20 kg). Entre 16 et 128 piles alcalines sont nécessaires selon la taille choisie, le nombre de batterie affectant la durée d'enregistrement. La profondeur maximale de déploiement est de 300 m est la gamme de fréquence de la bande passante est de 256 Hz à 33 kHz.

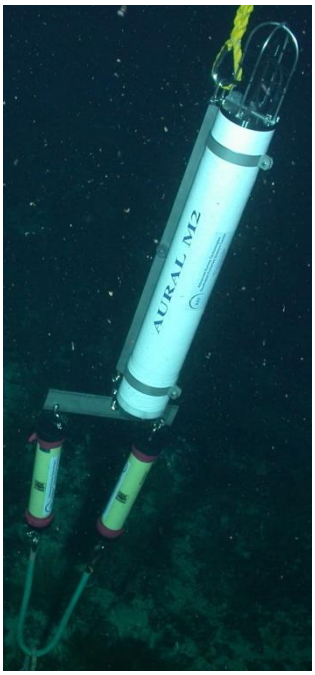


Figure 7 : Instrument AURAL-M2 (source : *Multi-Electronique Inc., France*)

Cet instrument a été utilisé pour une étude sur l'utilisation spatiale (présence/absence), temporelle (rythme, saisonnière, journalière) et fonctionnelle (comportement) des Grands Dauphins au sud de l'archipel de Béniguet, dans le Parc Marin d'Iroise pendant 6 mois (projet AcDAU). Des sifflements des Grands Dauphins ont été détectés durant 6 650 minutes sur 6 mois, soit 2.3% du temps.

III.3.4. RASP (Registratore Acustico Subacqueo Programmabile)

L'instrument est composé d'un hydrophone, d'une carte mémoire de 32 GB et peut être déployé plusieurs semaines jusqu'à 250 m de profondeur (fig. 8). Il possède une bande passante de 10 Hz à 96 kHz. C'est un cylindre de 9 cm de diamètre et de 25 cm de long facilement mis à l'eau à partir d'un petit bateau type Zodiac. Les enregistreurs ont une minuterie programmable qui peut suivre un calendrier souhaité.

Au cœur de l'aire marine protégée des îles Pélagie (Italie), La Manna *et al*. (2013) ont utilisé un système RASP et ont mis en évidence son efficacité dans la détection de la réponse comportementale des Grands Dauphins face aux bateaux, suggérant ainsi une nouvelle approche de l'évaluation de la pression anthropique sur la vocalisation des mammifères marins en l'absence de surveillance visuelle. Après l'analyse préliminaire des enregistrements, les données ont été récupérées à un intervalle de 10:10 (autrement dit, 10 min d'enregistrements suivis par 10 minutes de pause). Cette programmation est apparue comme le meilleur compromis entre la probabilité de capture du signal d'intérêt, la consommation d'énergie de la batterie et la capacité de stockage du disque dur.

Figure 8 : Instrument RASP (source : *NAUTA*)

III.3.5. EAR (Ecological Acoustic Recorder)

Développé par *Oceanwide Science Institut* (Lammers *et al*., 2008), ce cylindre de 10 cm de diamètre par 60 cm de long peut être installé jusqu'à 1000 m de profondeur (fig. 9). Il peut enregistrer sur un disque dur de 160 GB pendant 1 an selon les paramètres programmés et possède une bande de fréquence allant de 2 Hz à 80 kHz. Le mode d'enregistrement est variable (en continu ou par cycle) et dépend de la manière dont le système est configuré. L'enregistrement démarre à partir de la réception d'un son de fréquence prédéterminée, qui agirait comme un déclencheur dans le système. A ce stade, le système est activé pendant un certain temps et sera éteint pour être en mesure de démarrer à nouveau quand il reçoit le son. Les données acoustiques résultantes sont sous forme binaire. Cet appareil est disponible uniquement sur location à un prix abordable.

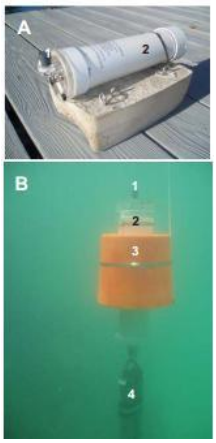


Figure 9 : Instrument EAR (Source : *pifsc.noaa.gov*)

Ce système a été utilisé au sein de deux zones protégées Méditerranéennes : le Sanctuaire Pelagos (Laran *et al.,* 2008) où l'instrument a été déployé sous une bouée existante sur le site Boussole au large de Nice afin d'enregistrer les cétacés vocalement actifs entre 5 Hz et 32 kHz et déployé dans l'aire marine protégée de Portofino en mer Ligure (Fossa *et al.,* 2011) où l'instrument a été installé directement sur des filets de pêche dans le but de quantifier les interactions des Grands Dauphins avec la pêche artisanale.

III.3.6. EA-SD14-1000 (RTSYS)

Les enregistreurs autonomes EA-SD14-1000 de chez RTSYS ont une large bande de fréquence, sont autonomes en continu pendant plusieurs mois (programmables) et peuvent être déployés jusqu'à 700 m de profondeur (fig. 10). Ils fournissent des données brutes (format .wav) qui sont stockées sur des disques durs ou des cartes SD au choix. Trois tailles sont disponibles d'1.20 m à 32 cm et pèsent de 10 à 5 kg. Le post-traitement peut se faire sur un logiciel fourni. Les différences principales avec les autres types d'enregistreurs autonomes, sont (1) la possibilité d'acquérir la donnée sur plusieurs voies (jusqu'à quatre) de façon synchronisée et donc de permettre la localisation de la source et (2) sa carte électronique intelligente (smart sensor), qui permet l'intégration d'algorithmes (p. ex. de détection), l'intégration très flexible d'autres capteurs, la communication à distance, etc. Les différentes options sont déjà proposées et en cours de développement.

Ce type d'enregistreur autonome a été choisi pour le volet « Test d'une méthode de suivi en continu par acoustique passive de la fréquentation par l'espèce d'une aire marine protégée par les Grands Dauphins » du projet GDEGeM. Des sites au mouillage existant ont été sélectionnés. La fréquence d'échantillonnage sélectionnée pour l'étude est de 78 kHz (enregistrements des sons jusqu'à 38 kHz). L'instrument possède une bande passante de fréquences allant de 3 Hz à 500 kHz.

Figure 10 : Enregistreur autonome EA-SD14-1000 de RTSYS (source : *rtsys.eu*)

IV. Faisabilité d'un suivi par acoustique passive fixe pour le Grand Dauphin dans les AMP Méditerranéennes françaises

L'adaptation d'une méthodologie de suivi par acoustique passive fixe et autonome au sein des aires marines protégées Méditerranéennes françaises nécessite de porter une attention particulière à l'ensemble des contraintes physiques, logistiques et législatives qui pourront être rencontrées durant la réalisation du suivi.

IV.1. Contraintes géophysiques

La figure 11 représente la bathymétrie le long des côtes méditerranéennes françaises (Annexe B, p. 59-62). La plupart des enregistreurs autonomes présentés ici sont fonctionnels à plus de 100 m de profondeur. Seuls les T-POD et les C-POD sont restreints à cette profondeur. Avec une logistique adéquate la mise à l'eau des instruments peut potentiellement se faire partout le long des côtes méditerranéennes de France et même au large concernant le Golfe du Lion.

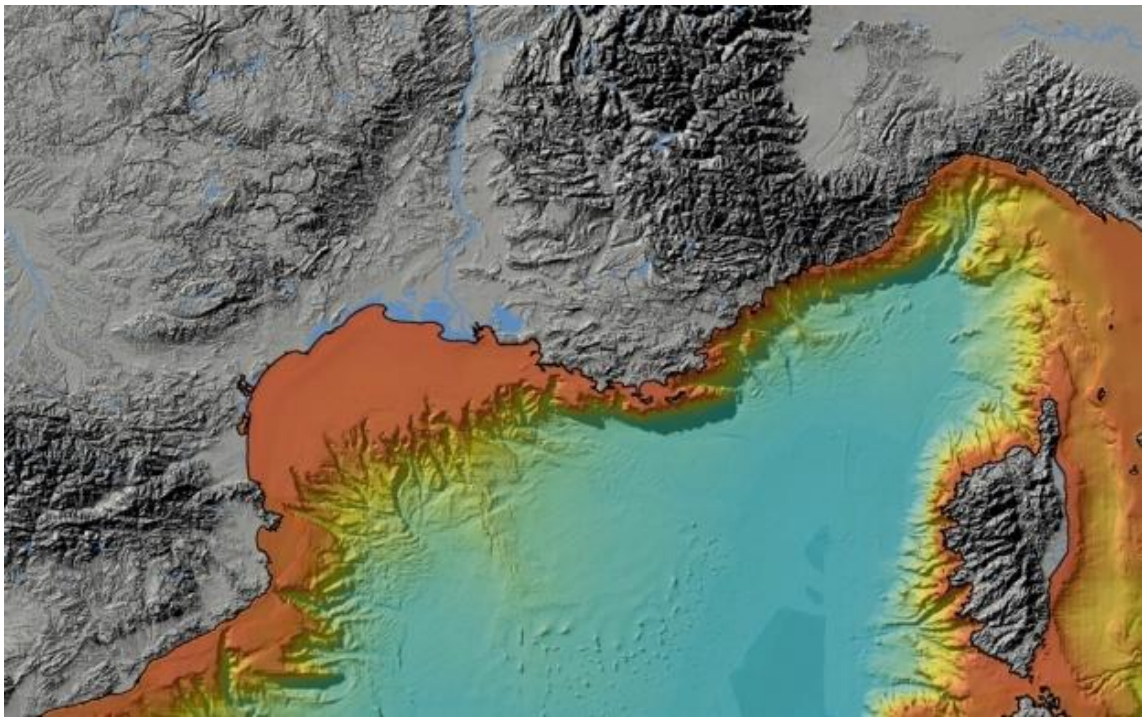


Figure 11 : Carte morpho-bathymétrique de la marge continentale méditerranéenne française à l'échelle de 1/4000000. En orange sont représentées les zones de profondeur inferieure à 100 m et en jaune et bleu celles de plus de 100 m. (Source *: CCGM)*

Au large du Golfe du Lion s'étale un grand plateau sédimentaire, découpé par de nombreux canyons entaillant la couverture sédimentaire. Plus à l'Est, depuis Marseille et tout au long de la Provence, de la Riviera, de la Ligurie ainsi que dans l'ouest de la Corse, le plateau et la pente continentale sont très étroits, presque dépourvus d'importantes constructions sédimentaires, et également incisés par de nombreux canyons très abrupts. Le déploiement des instruments dans des fonds rocheux est fortement déconseillé (difficultés d'ancrage et bruit parasite). Cette restriction posera problème le

long des côtes provençales, cependant il est toujours possible de trouver des bandes de sédiment pour déployer les instruments (fig. 12).

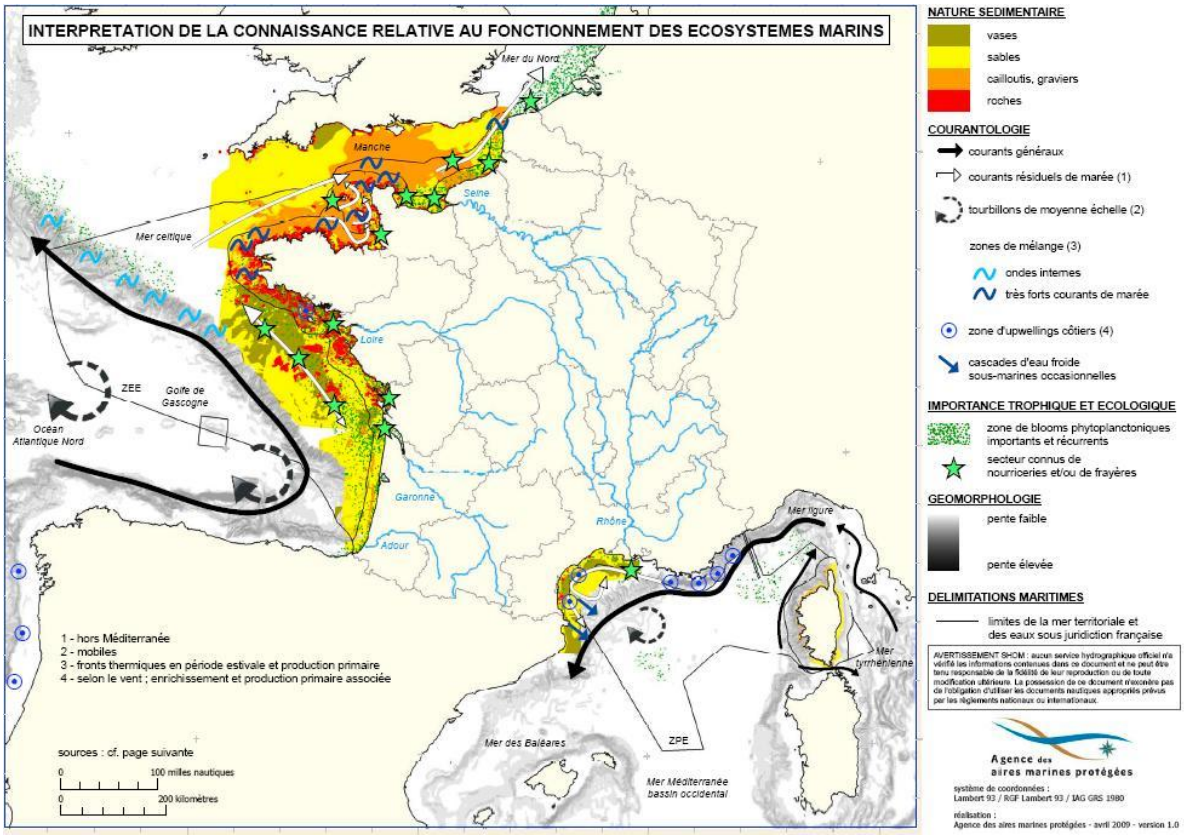


Figure 12 : Carte d'interprétation de la connaissance relative au fonctionnement des écosystèmes marins (Source : *AAMP*).

En mer Méditerranée, les marées sont peu prononcées sur les côtes. La partie nord de la Méditerranée occidentale est soumise à un courant assez puissant de 25 à 50 cm/s entraînant en surface les eaux moins salées de l'Atlantique (entrées par le détroit de Gibraltar) depuis les côtes de la Corse vers l'Espagne, en longeant le littoral de la côte d'Azur et de la Provence (fig. 12). Ce courant, connu sous le nom de courant Liguro-Provençal, courant Ligure ou courant Nord, est présent toute l'année. Sous l'effet du vent, de l'évaporation, des arrivées de fleuves, du refroidissement ou du réchauffement de la mer, cette circulation « moyenne » peut être perturbée. Vents et courants sont donc à prendre en compte pour le choix des sites et le type de mouillage utilisé. Des sites abrités sont à favoriser. Pour le projet GDEGeM des dispositifs existants seront utilisés pour le mouillage de l'instrumentation, ce qui évitera les impacts sur les biocénoses.

IV.2. Activités, fréquentation des sites

Les côtes méditerranéennes françaises représentent un vaste espace largement utilisé. Diverses activités maritimes y ont lieu tout au long de l'année, telles que la pêche, l'aquaculture, le transport de marchandises et de passagers, l'exploitation industrielle énergétique, les loisirs nautiques ou les activités de défense nationale (fig. 13). L'installation d'un système de suivi par acoustique passive nécessitera la prise en

compte de l'ensemble de ces activités afin de réduire au maximum la probabilité de perte ou d'endommagement du matériel ainsi que le bruit ambiant pouvant masquer ou parasiter les signaux d'intérêt (utilisation d'un système d'ancrage solide, communication avec les professionnels travaillant sur le site et éventuellement signalisation efficace de l'instrumentation en surface).

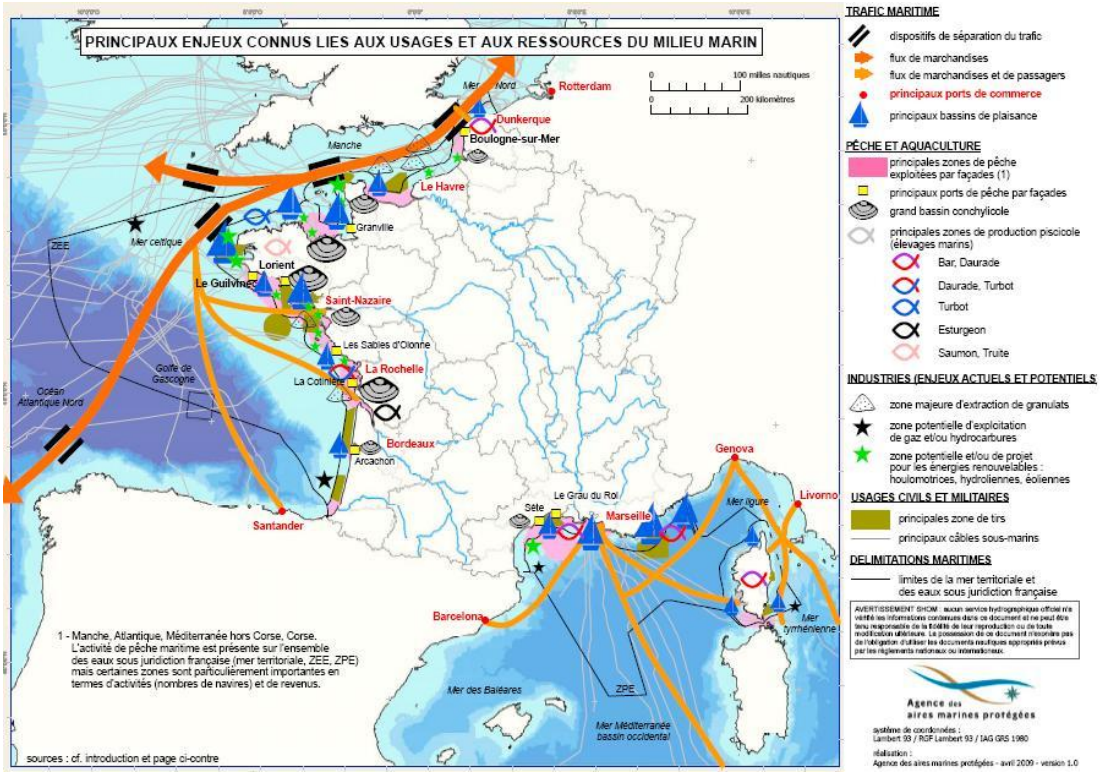


Figure 13 : Carte des principaux enjeux connus liés aux usages et aux ressources du milieu marin. (Source : *AAMP*)

IV.3. Systèmes de mouillage et de récupération

Au vu de ces contraintes (vent, courant, profondeur, nature sédimentaire et fréquentation du site), différentes caractéristiques relatives au mouillage de l'instrumentation doivent être prises en considération afin d'assurer le succès du déploiement. Au Pays de Galles, afin de résister aux tempêtes, Simon *et al*. (2010) ont utilisé 3 poids séparés (rails) (fig. 14a). Le 1er poids était connecté à une bouée de surface, le 2ème poids à un T-POD et le 3ème poids à une ancre. Tous étaient connectés entre eux par une longue corde. Durant le déploiement le T-POD flottait dans la colonne d'eau à 1.5 m au-dessus du fond. En Ecosse, à 45 m de profondeur, Bailey *et al*., (2010) ont attaché 2 T-POD à 15 et 40 m de profondeur le long d'une corde amarrée à 2 poids de 90 kg (blocs de ciment) et à une bouée de surface (fig. 14b).

a. b.

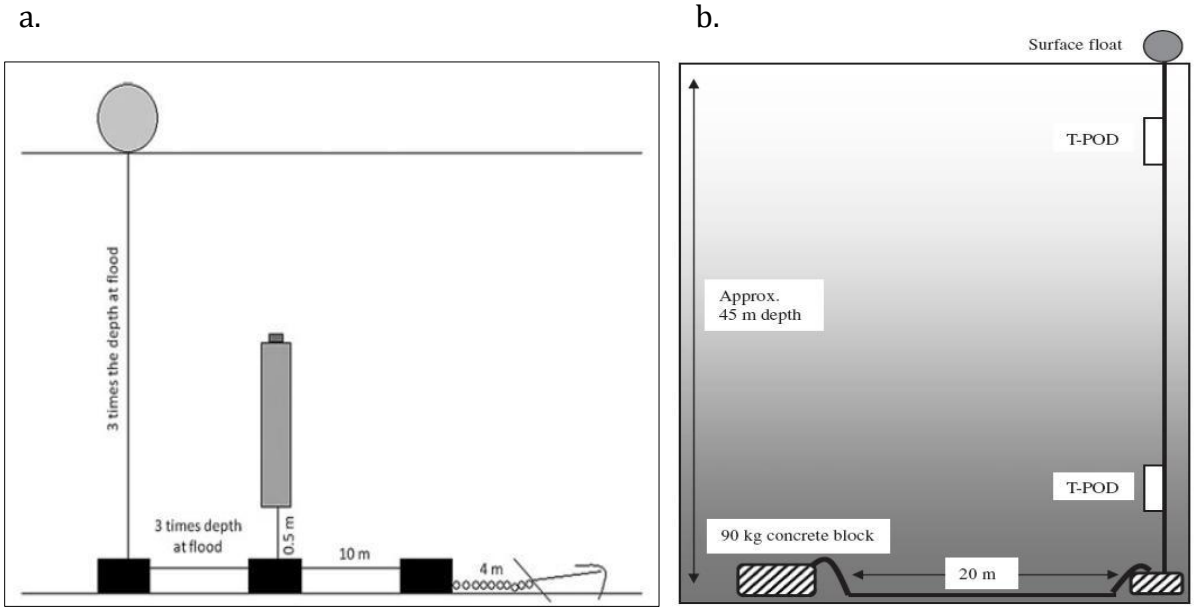


Figure 14 : a) Système de mouillage résistant aux tempêtes utilisé par Simon *et al.* (2010) à Cardigan Bay, au Pays de Galles et b) schéma du mouillage utilisé dans l'estuaire de Moray en Ecosse (Bailey *et al*. 2010).

Afin de résister au fort marnage, l'instrument peut être fixé à une structure tripode ancrée au fond comme cela a été le cas pour le suivi du Grand Dauphin dans le Parc Marin d'Iroise (projet AcDAU).

a. b.

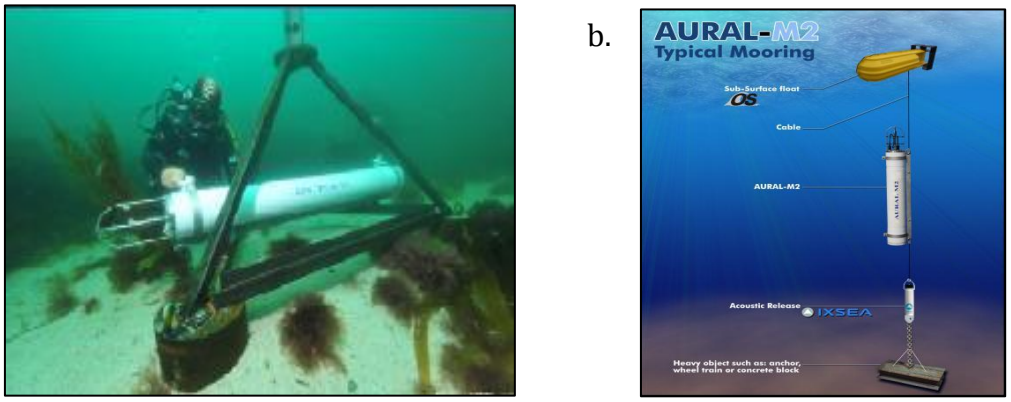


Figure 15 : a) Schéma du mouillage d'AURAL dans le Parc Marin d'Iroise (source : *projet AcDAU*) et b) autre type de mouillage possible (source : *Multi-Electronique Inc., France*)

En Méditerranée, le système choisi pour l'installation de 3 hydrophones dans le Parc national de Port-Cros pour le projet GDEGeM, prévoit l'utilisation d'un bâti existant (corps-mort) relié, à 20 m de distance, à un enregistreur tenu à la verticale par une bouée sub-surface résistant à la pression (fig. 16).

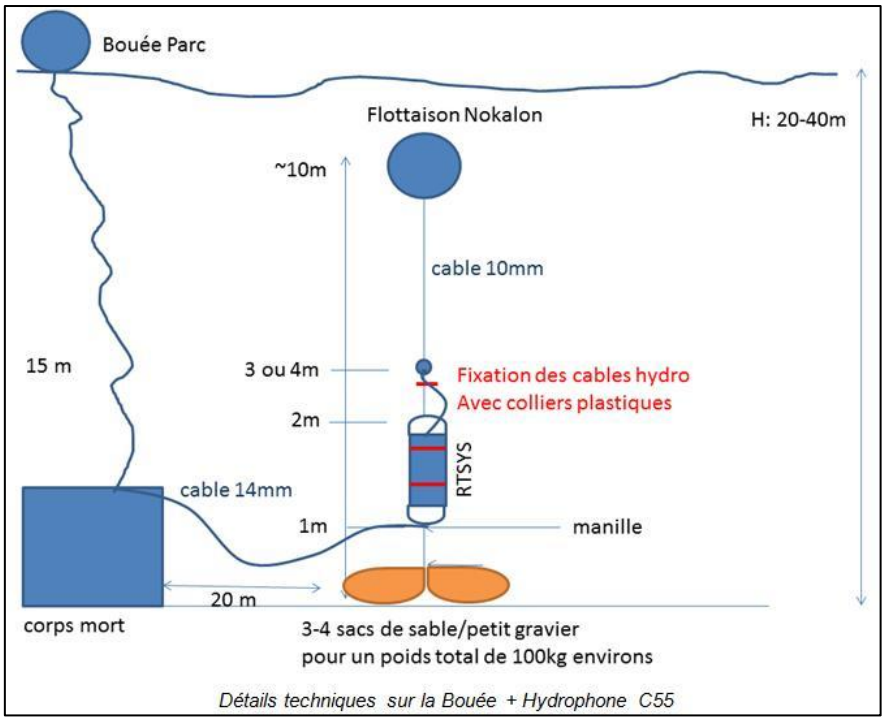


Figure 16 : Schéma du système de mouillage utilisé dans le projet GDEGeM (Source : *GDEGeM*)

Selon la taille de l'instrument et la configuration du mouillage, le système d'enregistrement peut être récupéré soit manuellement (par des plongeurs ou en tirant sur un petit flotteur) soit *via* un système de récupération acoustique. Ce dispositif est utilisé pour la récupération de l'instrumentation. Un signal acoustique envoyé depuis un bateau déclenche un largueur qui libère l'instrumentation.

IV.4. Coût

La principale contrainte quant à la mise en place d'un tel suivi est le coût de l'opération. Aux frais de l'enregistreur, s'ajoutent les frais relatifs aux moyens à la mer, aux moyens humains, aux travaux d'installation, à la maintenance et à l'analyse. Certains instruments ne sont disponibles qu'à la location et sont abordables comme le système EAR. Pour ceux disponibles à la vente, le prix s'échelonne entre 6000 (certains instruments RTSYS) et 15 000 € l'unité (AURAL, RTSYS). Le prix des instruments varie selon les options et les performances de l'enregistreur (capacité de stockage, fréquence d'échantillonnage, batterie, etc.). Des enregistreurs un peu moins performants mais à coût inférieur sont en cours de développement (SYLence, RTSYS). Les SM2M+ de Wildlife Acoustics sont des enregistreurs équivalents aux RTSYS mais un peu moins performants. Le coût est d'environ 10 000 € l'unité. Les AURAL coûtent autour de 15 000 € l'unité. Il s'agit d'un système robuste mais lourd et bien moins performant que les RTSYS ou Wildlife Acoustics à cause de son ancienneté. Le C-POD est l'instrument le moins cher (environ 3 200 €). Quant au T-POD, il n'est plus commercialisé depuis 2007.

IV.5. Législation

Toute installation de bâti ou de corps-mort sur le fond marin nécessite l'obtention d'une Autorisation d'Occupation Temporaire (AOT) du territoire auprès de la préfecture concernée. L'AOT permet à une personne d'occuper un espace du domaine public pour une durée déterminée. Elle doit détailler les caractéristiques techniques de l'installation (instruments, mouillage, balisage, etc.) et sa localisation géographique précise, la méthode de déploiement, la durée d'implantation, le coût du projet, ainsi qu'une évaluation des incidences de l'installation sur l'écosystème. Dans le cas d'une installation dans une Aire Marine Protégée, il est également nécessaire d'obtenir l'autorisation des gestionnaires de l'AMP.

IV.6. Traitement, analyse et interprétation des enregistrements

Le traitement des données issues d'enregistreurs autonomes ne peut se faire *qu'a posteriori*, après la récupération du système d'enregistrement. Une partie des données enregistrées peut être aberrante ou bruitée, à cause d'un état de la mer défavorable affectant l'enregistrement par des bruits parasites dus au mouvement physique de l'appareil (*i.e*. strumming). La distance de détection d'un signal acoustique peut varier en fonction des variations spatiales ou temporelles de la température (et de la salinité) de l'eau qui modifient la propagation du signal dans l'eau. Cependant, cela se produit de manière plus importante dans des eaux profondes et stratifiées. Ces effets sont moins importants en zone côtière et dans une colonne d'eau homogène. D'autres paramètres influent également sur la qualité des données, comme le positionnement des enregistreurs ou le système d'amarrage (bruits de chaînes par exemple). Ils doivent être contrôlés et éventuellement corrigés pour assurer la meilleure qualité possible des données. C'est pourquoi il est important d'effectuer une phase « test » qui permettra de valider le système avant de l'utiliser sur une plus longue période. Seuls les T-POD et les C-POD sont capables de traiter directement les signaux acoustiques et de les classer (cétacés, sonar, etc.) ils fournissent donc des informations directement utilisables par les gestionnaires. Leur fiabilité est cependant douteuse, surtout dans des zones riches en zoo-benthos (crevette claqueuse, *Athanas nitescens*). Les autres enregistreurs autonomes présentés ici enregistrent les données brutes, offrant la possibilité à l'analyste de vérifier et de contrôler les données, cependant l'analyse des enregistrements nécessite des logiciels spécifiques et des compétences en acoustique. L'ensemble de ces enregistreurs est fourni avec des logiciels d'aide au traitement.

Tableau 3 : Comparaison des principales caractéristiques techniques des différents enregistreurs autonomes fixes présentés.

Instrument	Profondeur max. (m)	Dimensions	Autonomie	Fréquence d'échantillonnage (Hz)	Données
AURAL	300	14.6 x 90 cm, 20 kg ; 14.6 x 120 cm, 32 kg ; 14.6 x 178 cm, 49 kg	1 an selon les paramètres	128 – 32 768	.wav
C-POD	100	66 cm long x 9 cm dia, 2.1 kg	4 mois	200 000 – 160 000	Fréquence, durée, intensité du clic, angle du POD par rapport à la verticale, température
EAR	999	60 cm long x 10 cm dia	1 an	2 – 800 000	binaires
HARP	7000	1.5 x 1.5 x 1.5 m	300 j à 200 kHz en continu	10 000 à 3 200 000	.xwav
RASP	250	9 x 25 cm	Plusieurs semaines	Jusqu'à 960 000	.wav ; .mp3
RTSYS	700	55 cm long x 12 cm dia, 10 kg	Plusieurs mois en continu	39 000 à 1 000 000	.wav
T-POD	100	86 cm long x 90 dia, 4.4 kg	1 an	200 000	Début et fin du clic, angle du POD par rapport à la verticale, bruit du système, température

Le système HARP est important en poids et en volume et nécessite un bateau avec un système de treuil pour le déploiement en mer ce qui augmente le budget. En contrepartie, il contient beaucoup de batteries et d'espace de stockage et est donc autonome longtemps et à une grande profondeur. Les T-POD et les C-POD traitent eux-mêmes les données ce qui permet d'économiser de l'espace de stockage et nécessitent moins de connaissances en acoustique pour l'analyse des données. Cependant ils ne sont pas conçus pour des profondeurs supérieures à une centaine de mètres. Les autres systèmes (RTSYS, EAR, RASP et AURAL) enregistrent la donnée brute et sont programmables (enregistrement continu ou cyclique) ce qui permet d'économiser la batterie et l'espace de stockage. Ils sont également moins lourds ce qui permet de les manipuler aisément.

Conclusion

Les dauphins émettent une variété de sons sous l'eau pour analyser leur environnement et communiquer. Ces sons peuvent être enregistrés de manière autonome sur de longues périodes par des instruments d'acoustique passive installés dans la colonne d'eau. Ces outils fournissent des informations sur la distribution spatiale et temporelle des dauphins et sur leur comportement acoustique qui peut également être un indicateur d'appartenance des animaux enregistrés, surtout si combiné avec des méthodes d'observation de surface (dénombrement, éthogrammes, photo-ID). La mise en place d'un suivi du Grand Dauphin par acoustique passive fixe et autonome au sein des Aires Marines Protégées méditerranéennes françaises semble être une bonne méthode pour améliorer nos connaissances sur cette espèce et suivre l'évolution de la présence de l'espèce dans les zones étudiées. L'intérêt de la méthode peut être renforcée par la mise en place de suivis complémentaires de surface. Cependant il est nécessaire de bien évaluer les nombreuses contraintes d'ordre géophysique, financier et technique pouvant entraver la mise en place d'un tel suivi.

Les instruments doivent être adaptés aux conditions spécifiques qu'ils devront supporter et à la durée pour laquelle ils seront déployés. Ils doivent également être programmés pour les différents types de données qu'ils sont destinés à enregistrer. Plusieurs compromis existent en fonction de l'objectif d'étude et des contraintes potentielles. Afin d'être applicable sur le terrain, le système d'enregistrement par acoustique passive dans sa globalité (*i.e*. instruments, mise en place, maintenance) doit être accessible financièrement et relativement facile à déployer d'un point de vue technique par les gestionnaires d'AMP (peu de matériel annexe, de moyens à la mer, de plongeurs). De plus, un suivi sur le long-terme nécessite un instrument autonome au niveau du stockage de données et durable du point de vue de la consommation d'énergie. En particulier, le suivi acoustique du Grand Dauphin requiert un instrument ayant une bande adaptée capable d'enregistrer les signaux (notamment les sifflements) émis par cette espèce (jusqu'à 150 kHz). Enfin le traitement et l'analyse des données est également une considération importante et nécessite des compétences humaines supplémentaires. En effet l'analyse est dépendante des espèces (et des sons), de la région et de la période (propagation acoustique), de la sensibilité de la chaine d'enregistrement, et de l'algorithme (performance du détecteur). Ainsi il n'est pas facile de définir une méthode universelle. Des approches complémentaires (visuelles) sont intéressantes pour valider les données acoustiques.

Bibliographie

Abdulla A, Gomei M, Hyrenbach D, Notarbartolo-di-Sciara G, Agardy T. 2008. Challenges facing a network of representative marine protected areas in the Mediterranean: prioritizing the protection of underrepresented habitats. ICES Journal of Marine Science. 66:22-28.

Aragones LV, Jefferson TA, Marsh H. 1997. Marine mammal survey techniques applicable in developing countries. Asian Marine Biology. 14(1997):15-39.

Arcangeli A, Crosti R. 2009. The short-term impact of dolphin-watching on the behaviour of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Western Australia. Journal of Marine Animals and Their Ecology. 2(1)

Au WWL, Hastings MC. 2008. Measurement and generation of underwater sounds. In: Principles of marine bioacoustics (Springer Science and Business, New York). :27-56 680 pp.

Au WWL, Branstetter B, Moore PW, and Finneran JJ. 2012. The biosonar field around an Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*), Journal of the Acoustic Society of America. 131:569–576.

Bailey H, Clay G, Coates EA, Lusseau D, Senior B, Thompson PM. 2010. Using T-PODs to assess variations in the occurrence of coastal bottlenose dolphins and harbour porpoises. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 20(2):150-158.

Baines ME, Reichelt M, Evans GH, Shepherd B. 2002. Bottlenose dolphin studies in Cardigan Bay, West Wales. Report to INTERREG, Oxford, UK. pp 19.

Balmer BC, Wells RS, Schwacke LH, Rowles TK, Hunter C, Zolman ES, Townsend FI, Danielson B, Westgate AJ, McLellan WA, Pabst DA. 2011. Evaluation of a single-pin, satellite-linked transmitter deployed on bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*)

along the coast of Georgia, USA. Aquatic Mammals. 37(2):187-192.

Balmer BC, Wells RS, Howle LE, Barleycorn AA, McLellan WA, Pabst DA, Rowles K, Schwacke LH, Townsend FI, Westgate AJ, Zolman ES. 2013. Advances in cetacean telemetry: A review of single-pin transmitter attachment techniques on small cetaceans and development of a new satellite-linked transmitter design. Marine Mammal Science.

Baumann-Pickering S, Wiggins SM, Hildebrand JA, Roch MA, Schnitzler HU. 2010. Discriminating features of echolocation clicks of melon-headed whales (*Peponocephala electra*), bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), and Gray's spinner dolphins (*Stenella longirostris longirostris*). The Journal of the Acoustical Society of America. 128(4):2212-2224.

Bazua-Duran C, Au WWL. 2002. The whistles of Hawaiian spinner dolphins. Journal of the Acoustical Society of America, 112 (6): 3064-3072

Bearzi G, Holcer D, Notarbartolo di Sciara G. 2004. The role of historical dolphin takes and habitat degradation in shaping the present status of northern Adriatic cetaceans. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 14(4):363-379.

Bearzi G, Agazzi S, Bonizzoni S, Costa M, Azzellino A. 2008. Dolphins in a bottle: abundance, residency patterns and conservation of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the semi-closed eutrophic Amvrakikos Gulf, Greece. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 18(2):130-146.

Connor R, Smolker R. 1996. 'Pop' goes the dolphin: A vocalization male bottlenose dolphins produce during consortships, Behaviour, 133, 643-662.

Dawson S, Wade P, Slooten E, Barlow J. 2008. Design and field methods for sighting surveys of cetaceans in coastal and riverine habitats. Publications, Agencies and Staff of the U.S. Department of Commerce. Paper 255.

Dick DM, Hines EM. 2011. Using distance sampling techniques to estimate

bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) abundance at Turneffe Atoll, Belize. Marine Mammal Science. 27(3):606-621.

Diederichs A, Grunkorn T, Nehls G. 2008. Offshore wind farms – disturbance or attraction for harbour porpoises ? First Results of T-POD Investigations. In: Horns Rev and Nysted ASCOBANS/ECS WORSHOP 2008.

Forcada J, Gazo M, Aguilar A, Gonzalvo J, Fernández-Contreras M. 2004. Bottlenose dolphin abundance in the NW Mediterranean: addressing heterogeneity in distribution. Marine Ecology Progress Series. 275:275-287.

Fossa F, Lammers MO, Orsi Relini L. 2011. Measuring interactions between common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) and artisanal fisheries in the Ligurian sea: 1) passive acoustic monitoring on bottom set nets. Biol. Mar. Mediterr. 18(1):180-181.

Gannon DP, Barros NB, Nowacek DP, Read AJ, Waples DM, Wells RS. 2005. Prey detection by bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*: an experimental test of the passive listening hypothesis. Animal Behaviour. 69(3):709-720.

Gnone G, Bellingeri M, Dhermain F, Dupraz F, Nuti S, Bedocchi D, Moulins A, Rosso M, Alessi J, McCrea RS, Azzellino A, Airoldi S, Portunato N, Laran S, David L, Di Meglio N, Bonelli P, Montesi G, Trucchi R, Fossa F, Wurtz M. 2011. Distribution, abundance, and movements of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Pelagos Sanctuary MPA (north-west Mediterranean Sea). Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. 21(4):372-388.

Gordon J, Gillespie D, Potter J, Frantzis A, Simmonds MP, Swift R, Thompson D. 2003. A review of the effects of seismic surveys on marine mammals. Marine Technology Society Journal 37(4):16-34.

Hastie GD, Wilson B, Tufft LH, Thompson PM. 2006. Bottlenose dolphins increase breathing synchrony in response to boat traffic. Marine Mammal Science. 19:1 74-84.

Henderson S. 2013. Abundance and survival of bottlenose dolphins in Doubtful Sound and Dusky Sound, 2009-2012. Report for the Department of Conservation, New-Zealand. pp 27.

Holliday DV, Pieper RE, Kleppel GS. 1989. Determination of zooplankton size and distribution with multi-frequency acoustic technology. Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer. 46:52-61.

Holt RS, Cologne J. 1987. Factors affecting line transect estimates of dolphin school density. Journal of Wildlife Management. 51(4):836-843.

Irvine AB, Wells RS, Scott MD. 1982a. An evaluation of techniques for tagging small odontocete cetaceans. Fishery Bulletin 80:135–143.

Irvine AB, Caffin JE, Kochman HI. 1982b. Aerial surveys for manatees and dolphins in western peninsular Florida. 80(3):621-630.

Irwin L-J, Würsig B. 2004. A small resident community of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Texas: Monitoring recommendations. Gulf of Mexico Science. 1:13-21.

Janik VM. 2000. Food-related bray calls in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences 267(1446): 923-927.

Janik VM, Marc N, Klaus Z, Nicola SC, Vincent MJ. 2009. Chapter 4 Acoustic Communication in Delphinids. Advances in the Study of Behavior: Academic Press. 123-157.

Labach H, Dhermain F, Dupraz F. 2011 Le Grand Dauphin (*Tursiops truncatus*) au large des côtes provençales : bilan de quatre ans de suivi en mer par photo-identification et mise en évidence de déplacements à longue distance.

La Manna G, Manghi M, Pavan G, Lo Mascolo F, Sarà G. 2013. Behavioural strategy of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in response to different kinds of boats in the waters of Lampedusa Island (Italy). Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems.

Lammers MO, Brainard RE, Au WWL, Mooney TA, Wong KB. 2008. An ecological acoustic recorder (EAR) for long-term monitoring of biological and anthropogenic sounds on coral reefs and other habitats. Acoustical Society of America. 123(3):1720-1728.

Laran S, Castellote M, Caudal F, Monnin A, Glotin H. 2008. Suivi acoustique des cétacés au nord du Sanctuaire Pelagos. Rapport final. pp 81.

Leatherwood S, Reeves RR. 1983. Abundance of bottlenose dolphins in Corpus Christi Bay and coastal southern Texas. Contributions in Marine Science. 179-199.

Lewison RL, Crowder LB, Read AJ, Freeman SA. 2004. Understanding impacts of fisheries bycatch on marine megafauna. Trends in ecology and evolution. 19(11):598-604

López BD. 2006. Interactions between Mediterranean bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and gillnets off Sardinia, Italy. ICES Journal of Marine Sciences. 63(5) 946-951

Lukoschek V, B. Chilvers L. 2008. A robust baseline for bottlenose dolphin abundance in coastal Moreton Bay: a large carnivore living in a region of escalating anthropogenic impacts. Wildlife Research. 35(7):593.

Maggiani F. 2006. Vocalisation des dauphins, tests d'une balise acoustique sur les dauphins et les poissons. Université de Cagliari. Rapport final. pp54.

Manfredini E, Frau F, Fossa F, Bellingeri M, Gnone G, Saporiti F. 2007. Presence and abundance of bottlenose dolphin along the east Ligurian coast in relation to the

pleasure boating. 21st Annual Conference of the European Cetacen Society, San Sebastián, Spain, 22-25 April 2007.

McDonald MA, Hildebrand JA, and Webb SC. 1995. Blue and fin whales observed on a seafloor array in the Northeast Pacific. Journal of the Acoustical Society of America 98 (2):712–721

McDonald MA and Fox CG. 1999. Passive acoustic methods applied to fin whale population density estimation. Journal of the Acoustical Society of America. 105 (5):2643–2651.

Mellinger DK, Stafford KM, Moore SE, Dziak RP, Matsumoto H. 2007. An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans. Oceanography. 20(4):36-45.

Mellinger DK, Barlow J. 2003. Future directions for acoustic marine mammal surveys: stock assessment and habitat use. Report of a workshop held in La Jolla, CA, 20-22 November 2002, NOAA OAR Special Report, NOAA/PMEL Contribution No. 2557, 37 pp.

Montagu G. 1821. Description of a species of *Delphinus*, which appears to be new. Memoirs of the Wernerian Natural History Society. 3:75-82.

Moore SE, Stafford KM, Mellinger DK, Hildebrand JA. 2006. Listening for large whales in the offshore waters of Alaska. BioScience. 56(1):49-55.

Mullin KD, Lohoefener RR, Hoggard W, Roden CL, Rogers CM. 1990. Abundance of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in the coastal Gulf of Mexico. Northeast Gulf Science. 11(2):113-122

Nachtigall PE. 1980. Odontocete echolocation performance on object size, shape and material. Animal Sonar Systems 28:71-95

Natoli A, Birkun A, Aguilar A, Lopez A, Hoelzel AR. 2005. Habitat structure and the dispersal of male and female bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. 272:1217-1226.

Nowacek D. 2005. Distribution, habitat use, foraging ecology, and the acoustic environment of Florida Big Bend dolphins: Alligator Harbor to St. Joe Bay, Protect Wild Dolphins Project, progress report, February, 28 2005.

Nuti S, Gnone G, Bellingeri M, Bedocchi D, Pannoncini R, Manfredini E. 2006. Stima di abbondanza di *Tursiops truncatus* tra La Spezia, Viareggio e Marina di Pisa attraverso cattura e ricattura fotografica. Adria-Watch Conference "Cetaceans, Sea Turtles and Sharks of the Adriatic Sea", Cattolica (RI), Italy, 27–28 October 2006; 24–27.

Nuuttila HK, Thomas L, Hiddink JG, Meier R, Turner JR, Bennell JD, Tregenza NJC, Evans PGH. 2013. Acoustic detection probability of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, with static acoustic dataloggers in Cardigan Bay, Wales. The Journal of the Acoustical Society of America. 134(3):2596-2609.

O'Brien J, Berrow SD, MCGrath D, O'Connor I, Pesante G, Burrows G, Massett N, Klötzer V, Whooley P. 2009. A note on long-distance matches of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) around the Irish coast using photo-identification. Journal of Cetacean Research and Management. 11(1):71-76.

Palka DL, Hammond PS. 2001. Accounting for responsive movement in line transect estimates of abundance. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 58:777-787

Panigada S, Lauriano G, Burt L, Pierantonio N, Donovan G. 2011. Monitoring winter and summer abundance of cetaceans in the Pelagos Sanctuary (Northwestern Mediterranean Sea) through aerial surveys. PLoS ONE. 6(7):e22878.

Parsons ECM, Dolman SJ, Wright AJ, Rose NA, Burns WCG. 2008. Navy sonar and cetaceans: Just how much does the gun need to smoke before we act? Marine Pollution

Bulletin. 56(7):1248-1257.

Philpott E, Englund A, Ingram S, Rogan E. 2007. Using T-PODs to investigate the echolocation of coastal bottlenose dolphins. Journal of the Marine Biological Association of the UK. 87(01):11-17.

Read AJ, Urian KW, Wilson B, Waples DM. 2003. Abundance of bottlenose dolphins in the bays, sounds, and estuaries of North Carolina. Marine Mammal Science. 19(1):59-073.

Reyes-Zamudio M. 2005. T-POD detection and acoustic behaviour of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Cardigan Bay SAC: a comparison between T-POD recordings and visual observations. MSc Thesis University of Wales, Bangor

Ross PS. 2000. Marine mammals as sentinels in ecological risk assessment. Human and Ecological Risk Assessment. 6(1):29-46.

Roussel E. 2002. Disturbance to Mediterranean cetaceans caused by noise. In: G. Notarbartolo di Sciara (Ed.), Cetaceans of the Mediterranean and Black Seas: state of knowledge and conservation strategies. A report to the ACCOBAMS Secretariat, Monaco, February 2002. Section 13, 18 p.

Scott MD, Wells RS, Irvine AB, Mate BR. 1990a. Tagging and marking studies on small cetaceans. In Leatherwood S and Reeves RR (eds), The Bottlenose Dolphin, 489-514. Academic Press, San Diego, CA.

Scott MD, Wells RS, Irvine AB. 1990. A long term study of bottlenose dolphins on the West coast of Florida. In: The bottlenose dolphin. 235-244

Stockin KA, Lusseau D, Binedell V, Wiseman N, Orams MB. 2008. Tourism affects the behavioural budget of the common dolphin *Delphinus* sp. in the Hauraki Gulf, New Zealand. Marine Ecology Progress Serie. 355:287-295

Tanabe S, Mori T, Tatsukawa R, Miyazaki N. 1983. Global pollution of marine mammals by PCBs, DDTs and HCHs (BHCs). Chemosphere. 12(9-10):1269-1275.

Tezanos-Pinto G, Rochelle C, Brooks L, Jackson JA, Mourão F, Wells S, C. Baker. 2013. Decline in local abundance of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Bay of Islands, New Zealand. Marine Mammal Science.

Tiemann CO, Porter MB, and Frazer LN. 2004. Localization of marine mammals near Hawaii using an acoustic propagation model. Journal of the Acoustical Society of America. 115 (6), 2834–2843.

Tyack PL, Clark CW. 2000. Communication and acoustic behaviour of dolphins and whales. In: Au WWL, Popper AN, Fay RR, editors. Hearing by whales and dolphins. New York: Springer-Verlag. pp 156-224.

Vermeulen E, Cammareri A, Failla M. 2008. A photo-identification catalogue of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in North Patagonia, Argentina: A tool for the conservation of the species. SC/60/SM1 IWC 60th conference, Chile

Wahlberg M, Jensen FH, Soto NA, Beedholm K, Bejder L, Oliveira C, Rasmussen M, Simon M, Villadsgaard A, and Madsen PT. 2011. Source parameters of echolocation clicks from wild bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus* and *Tursiops truncatus*). Journal of the Acoustical Society of America. 130:2263–2274.

Walker KA, Trites AW, Haulena M, Weary DM. 2012. A review of the effects of different marking and tagging techniques on marine mammals. Wildlife Research. 39(1):15.

Wartzok D, Sayegh S, Stone H, Barchak J, Barnes W. 1992. Acoustic tracking system for monitoring under-ice movements of polar seals. Journal of the Acoustical Society of America. 92(2 part 1):682-687

Wells RS. 2002. Identification methods. In Perrin WF, Würsig B, Thewissen JGM (eds); Encyclopedia of Marine Mammals, pp 601-608. Academic Press, San Diego, CA.

Well RS, Scott MD, Irvine AB. 1987. The social structure of free-ranging bottlenose dolphins. Current Mammalogy. 1:247-305.

Wells RS & Scott M. 1990. Estimating bottlenose dolphin population parameters from individual identification and capture-release techniques. Report for the International Whaling Commission. Special Issue 12: 407-415

Wells RS, McHugh KA, Douglas DC, Shippee S, McCabe-Benres E, Barros NB, Phillips GT. 2013. Evaluation of potential protective factors against metabolic syndrome in bottlenose dolphins: feeding and activity patterns of dolphins in Sarasota Bay, Florida. Frontiers in Endocrinology. 4:1-16.

Wells RS, Rhinehart HL, Hansen LJ, Sweeney JC, Townsend FI, Stone R, Casper DR, Scott MD, Hohn AA, Rowles TK. 2004. Bottlenose dolphins as marine ecosystem sentinels: developing a health monitoring system. EcoHealth. 1(3)

Wiggins SM, Frasier KE, E. Henderson E, Hildebrand JA. 2013. Tracking dolphin whistles using an autonomous acoustic recorder array. The Journal of the Acoustical Society of America. 133(6):3813-3818.

Williams JA, Dawson SM, Slooten E. 1993. The abundance and distribution of bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*) in Doubtful Sound, New Zealand. Canadian Journal of Zoology. 71:2080-2088.

Wilson B, Benjamin S, Elliott J. 2013. Using drifting passive echolocation loggers to study harbour porpoises in tidal-stream habitats. Endangered Species Research. 22(2):125-143.

Wilson B, Hammond PS, Thompson PM. 1990. Estimating size and assessing trends in a coastal bottlenose dolphin population. Ecological Application 9(1):288-300.

Würsig B, Jefferson TA. 1990. Methods of photo-identification for small cetaceans. Reports of the International Whaling Commission. 12:43-52.

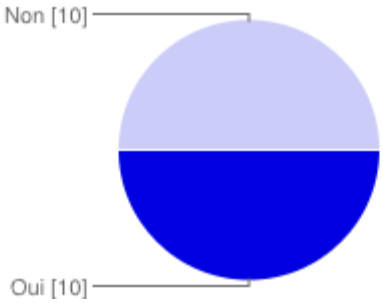
Würsig B, Würsig M. 1977. The photographic determination of group size, composition, and stability of coastal porpoises (*Tursiops truncatus*). Science. 198(4318):755-756.

Annexes

Annexe A : Questionnaire

Avez-vous la connaissance d'observations de Grands Dauphins dans votre AMP ?

Avez-vous une (plusieurs) problématique(s) particulière(s) concernant le Grand Dauphin au sein de votre AMP?

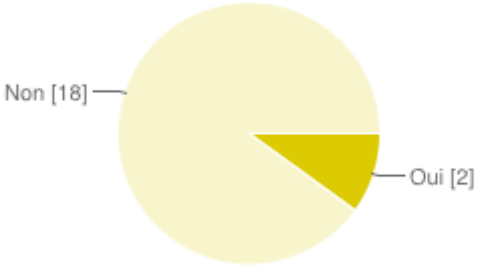


Si oui la(les)quelle(s)

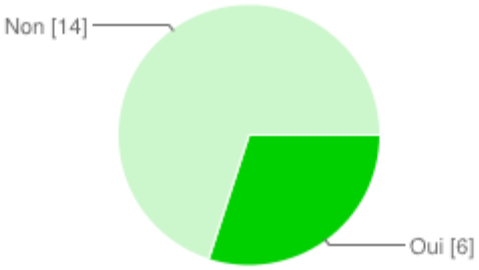
Interactions négatives avec les pêcheries	2	20 %
Interactions négatives avec l'aquaculture	0	0 %
Dérangement par des activités de "whale-watching"	2	20 %
Interactions avec des baigneurs	0	0 %
Mortalité importante	0	0 %
Population en diminution	1	10 %
Autre	5	50 %

Le Grand Dauphin est-il cité comme espèce d'importance dans votre document d'objectifs ou plan de gestion?

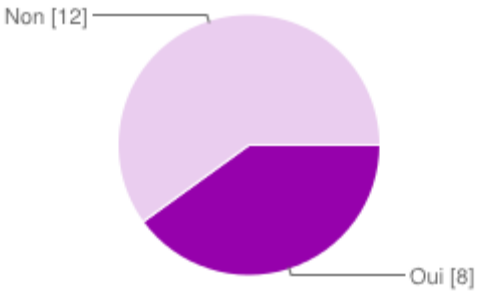
Organisez-vous un suivi régulier de l'espèce?



Avez-vous une base de données concernant l'espèce?



Collaborez-vous avec des scientifiques concernant l'espèce?

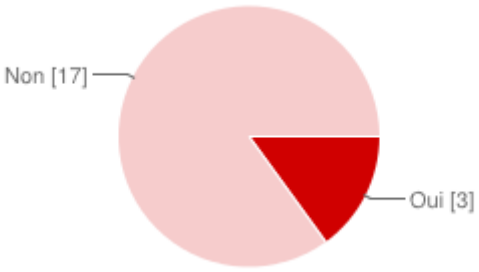


Si oui de quel type de structure? Comment?

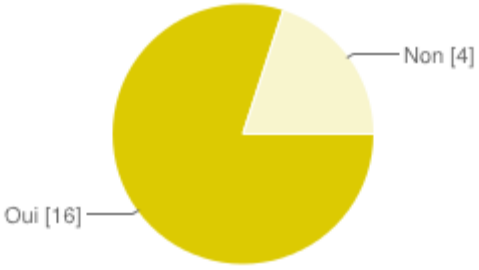
votre AMP	**2**	**15 %**
universitaire	**3**	23 %
ONG	**8**	62 %

Réalisation d'un état initial	**4**	**19 %**
Suivi	**4**	19 %
Echange de données	**7**	33 %
Conseil	**4**	19 %
Formations	**2**	10 %

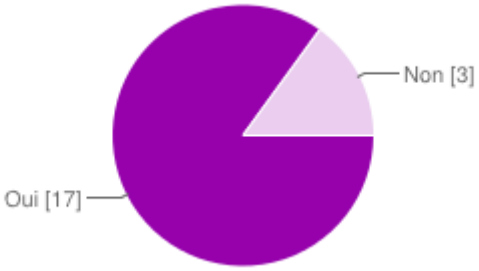
Avez-vous des mesures spécifiques en place pour l'espèce?



Avez-vous des mesures spécifiques en projet pour l'espèce ?



Pensez-vous qu'il soit nécessaire de mettre en place des mesures spécifiques pour la protection du Grand Dauphin au sein de votre AMP?

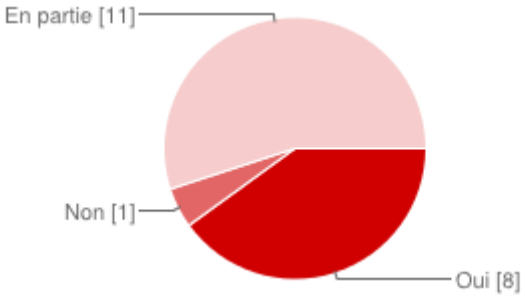


Pensez-vous que vous pourriez améliorer les moyens de gestion de l'espèce au sein de votre AMP?

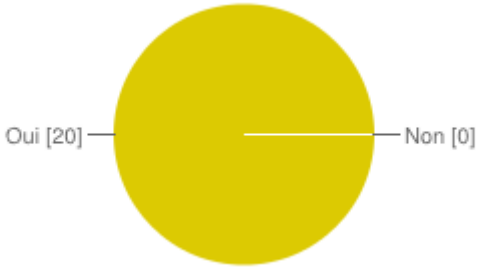
Quels sont vos manques et besoins?

Conseils	**13**	**11 %**
Formations	**14**	11 %
Connaissance	**10**	8 %
Données	**13**	11 %
Protocoles	**14**	11 %
Collaborations avec des scientifiques	**14**	11 %
Collaborations avec d'autres AMP	**14**	11 %
Moyens matériel	**7**	6 %
Personnel	**9**	7 %
Moyens financiers	**15**	12 %
Autre	**0**	0 %

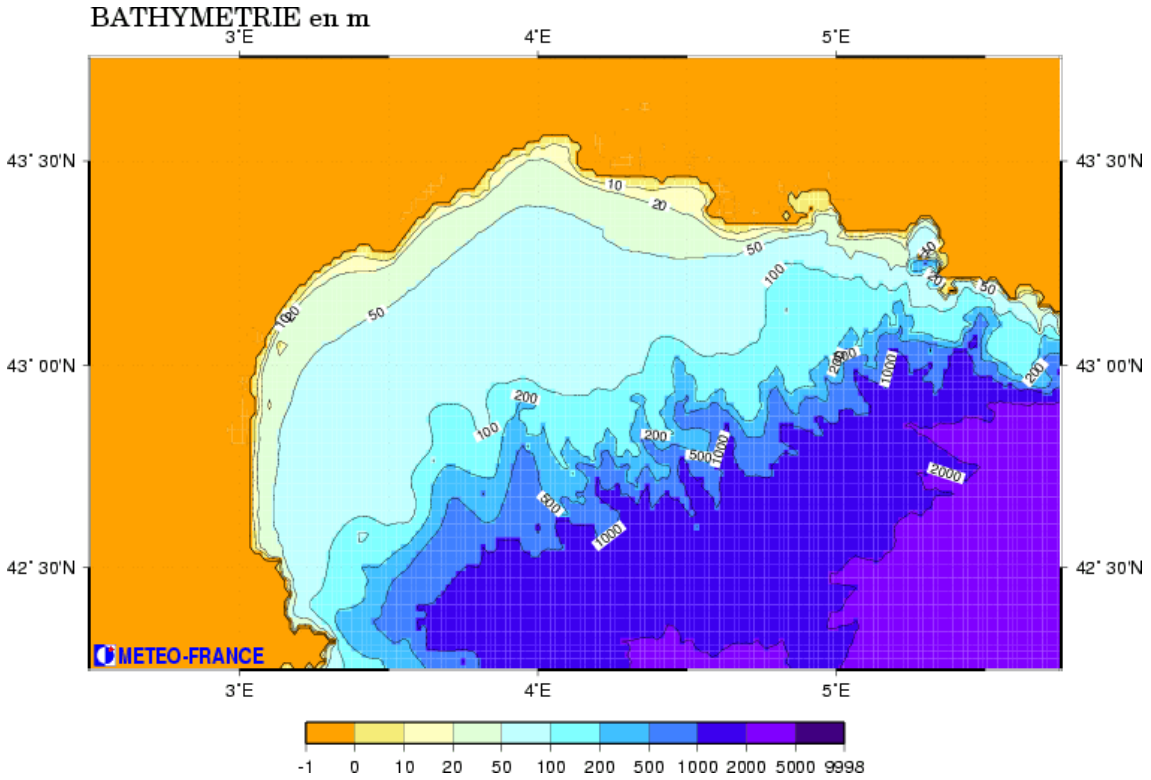
Pensez-vous que votre Aire Marine Protégée pourrait contribuer à la conservation de l'espèce à l'échelle du bassin de Méditerranée nord-occidentale



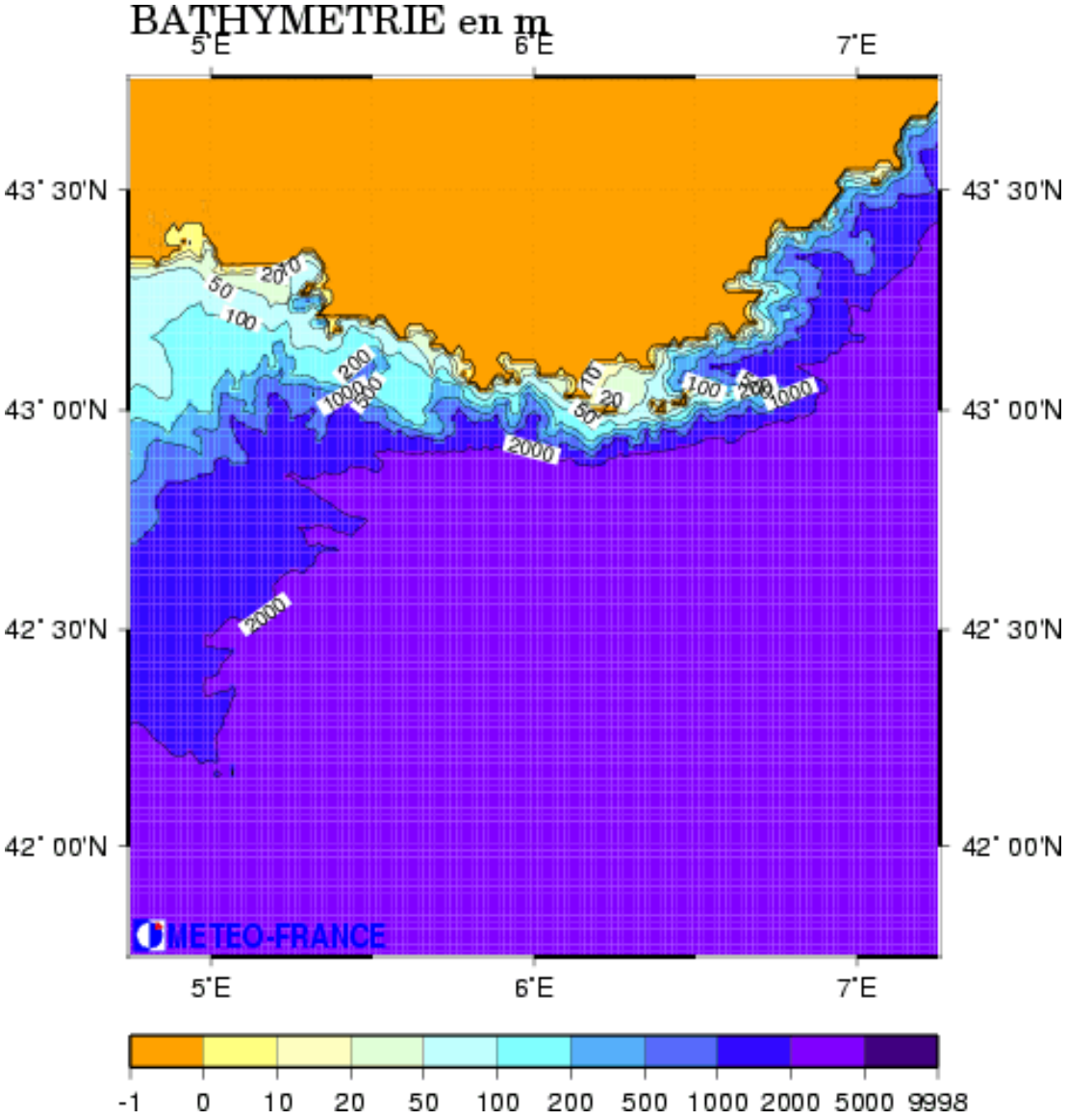
Vous sentez-vous concernés par le projet GDEGeM



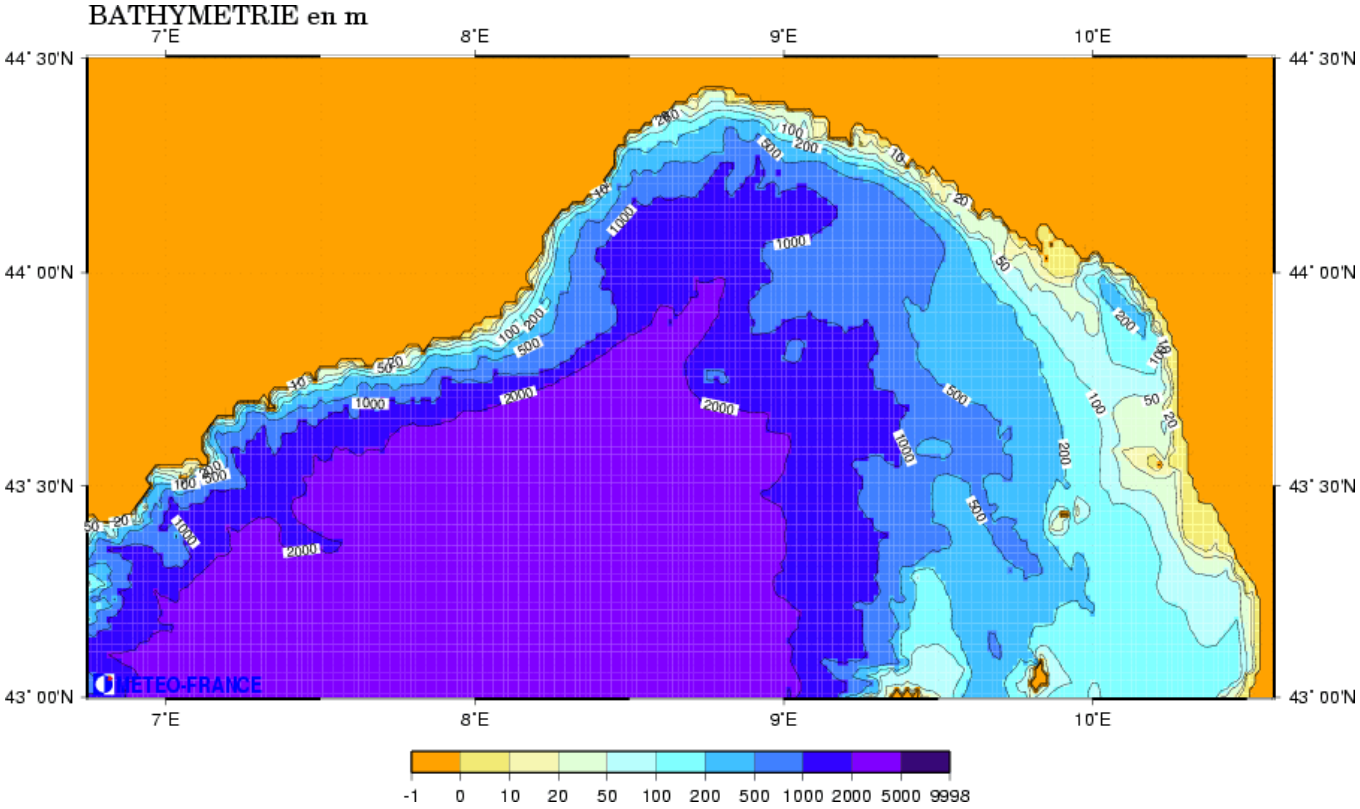
Annexe B: Cartes bathymétriques de la côte Méditerranéenne



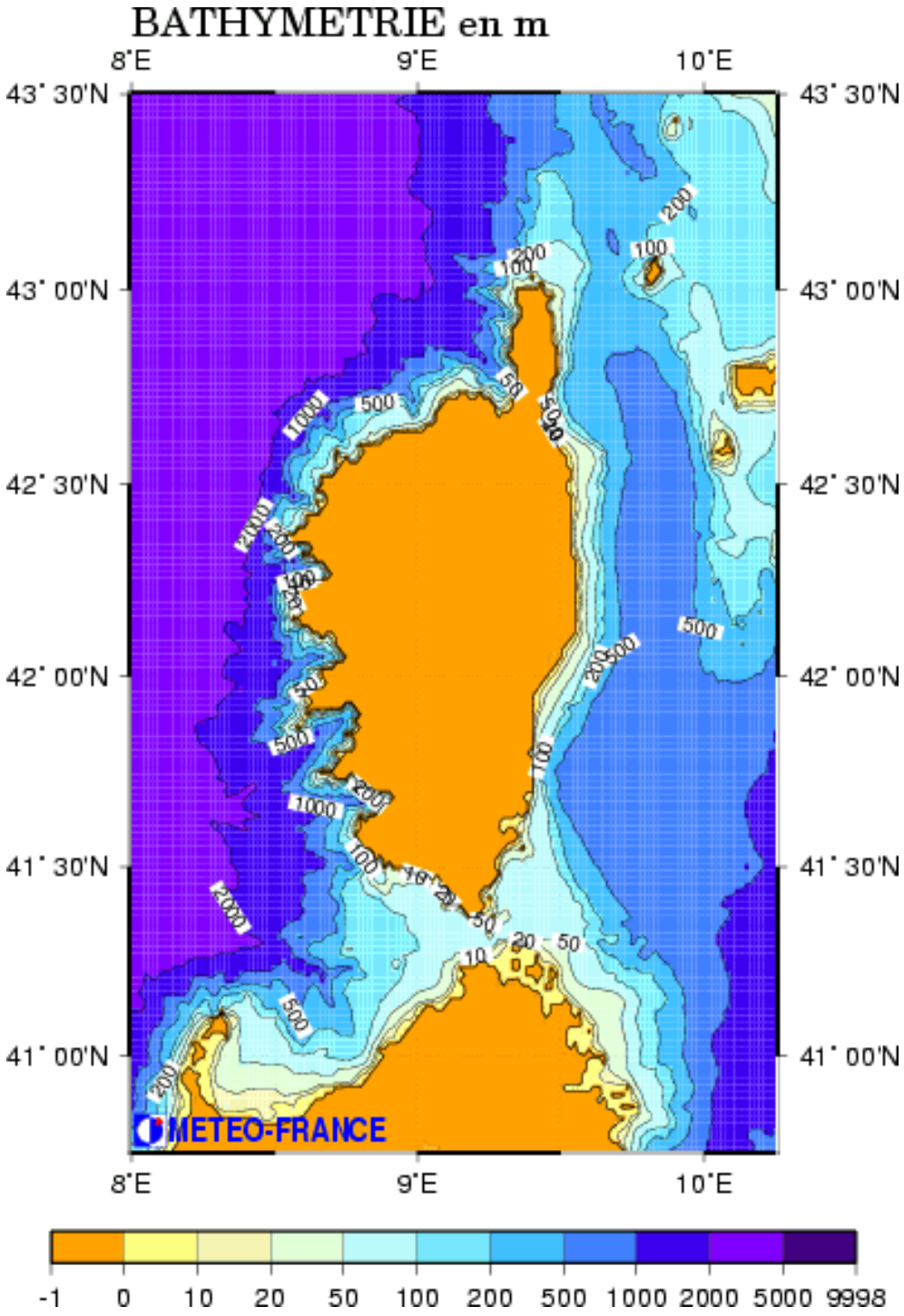
Bathymétrie Golfe du Lion (Source *: Météo France*)



Bathymétrie Provence (Source : *Météo France)*



Bathymétrie du Golfe de Gênes (Source : *Météo France*)



Bathymétrie de la Corse (Source *: Météo France*)