

Guide pour le suivi par acoustique passive des corbs

De la prise de mesures à la gestion

© D. Fioramonti - RNMCB

La reproduction de cette publication à des fins éducatives ou non commerciales est permise sans autorisation écrite préalable du détenteur des droits d'auteurs à condition que la source soit dûment citée.

Responsable de la publication :	MedPAN
Coordination :	Magali Mabari, MedPAN
Copyright :	@2021 Institut CHORUS, MedPAN
Citation :	Di Iorio L., Gervaise C., Bonhomme P., Charbonnel, E, Michez N., Fouchy, K. 2020. Guide pour le suivi par acoustique passive des corbs. De la prise de mesures à la gestion. MedPAN Collection, 42 pages.
Mise en page :	Kinga Bej - www.kdezn.fr
Photo de couverture :	Groupe de corbs dans la Réserve marine naturelle de Cerbère-Banyuls, France © Didier Fioramonti, Réserve marine naturelle de Cerbère-Banyuls
Disponibla auprès de :	Association MedPAN (www.medpan.org) & Institut CHORUS (www.chorusacoustics.com)
Contact :	Institut CHORUS 5 Rue Gallice 38100 Grenoble France lucia.diiorio@chorusacoustics.com

Guide pour le suivi par acoustique passive des corbs

De la prise de mesures à la gestion

Date : 2021

Auteur : Lucia Di Iorio & Cédric Gervaise (Institut CHORUS)

Co-auteurs : Patrick Bonhomme (Parc national des Calanques, France), Noemi Michez (Parc naturel marin du Golfe du Lion, France), Eric Charbonnel (Parc marin de la Côte Bleue, France) et Kelly Fouchy (MedPAN)

Remerciements : Ce guide a pu être réalisé grâce au projet PAMGEST, un projet lauréat du programme 'Appel à Petits Projets MedPAN 2019' et réalisé avec le soutien financier du Fond Français pour l'Environnement Mondial, la Fondation du Prince Albert II de Monaco, de l'Institut CHORUS et du réseau de surveillance CALME (Caractérisation Acoustique du Littoral Méditerranéen et de ses Ecosystèmes) que CHORUS opère en partenariat avec l'Agence de l'Eau RMC.

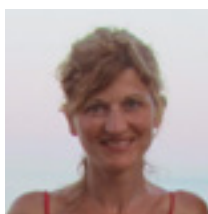
Il est le résultat d'une collaboration étroite et d'échanges réguliers avec les collaborateurs des AMP partenaires du projet PAMGEST que nous souhaitons remercier vivement :

- Patrick Bonhomme, Mathieu Imbert, Jean-Patrick Durand et les agents de terrain du Parc national des Calanques
- Noémie Michez, Bruno Ferrari et les agents de terrain du Parc naturel marin du Golfe du Lion
- Eric Charbonnel, Benjamin Cadville, Marie Bravo-Monin, Olivier Bretton du Parc marin de la Côte Bleue (PMCB)
- Augusto Navone et Pieraugusto Panzalis de l'AMP Tavolara Punta-Coda Cavallo

Nous tenons également à remercier tous ceux qui ont supporté le projet et la création de ce guide grâce à leur expertise, leurs connaissances et support sur le terrain :

- Philippe Lenfant et l'équipe du CEFREM
 - Virginie Hartmann, Frédéric Cadène et l'équipe de la Réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls
 - Alexandra Gigou de l'Office français pour la Biodiversité
 - Pierre Boissery de l'Agence de l'Eau RMC (suivi dans le PMCB)
 - Marta Picciulin
 - Lorenzo Bramanti du LECOB-CNRS, Observatoire Océanologique de Banyuls
 - Elena Desiderà et Manon Audax
-

Auteurs



Lucia Di Iorio est chercheuse en bio- et éco-acoustique. Elle exploite la richesse sonore des océans depuis plus de 15 ans pour étudier la biodiversité, la santé, le fonctionnement, et les changements liés aux pressions humaines des écosystèmes aquatiques à travers les paysages sonores. Lucia a acquis ses compétences à l'international (Université de Zurich, CH, Cornell University, USA) et en France (ENSTA Bretagne, Gipsa Lab, Grenoble INP). Elle a été cotitulaire de la chaire CHORUS de la Fondation Grenoble INP. Ses spécialités au sein de l'Institut CHORUS sont la recherche en éco-acoustique et le développement de descripteurs pour le suivi d'espèces et habitats clés. Lucia travaille en lien étroit avec les gestionnaires en Méditerranée pour l'application de l'éco-acoustique pour la surveillance, l'aide à la gestion et la conservation des environnements marins et ses habitants. Plus d'info sur luciadiorio.site, [ResearchGate](https://www.researchgate.net/profile/Lucia-Di-Iorio) ou [LinkedIn](https://www.linkedin.com/in/luciadiorio).



Dr. Cédric Gervaise est un expert senior (20 ans d'expérience professionnelle) en acoustique sous-marine et écologie marine. Titulaire d'une Habilitation à Diriger les Recherches (2012). Spécialiste du traitement de données sous-marines, de la propagation acoustique, de l'écologie acoustique et de l'étude des impacts acoustiques anthropiques sur la faune marine. Il fut pendant 12 ans professeur à l'ENSTA Bretagne, puis chercheur invité pendant 1 an à Pêches et Océans Canada. Il a créé et a été cotitulaire de la chaire d'excellence CHORUS de la Fondation Grenoble INP. En 2016, Il a créé l'institut de recherche CHORUS (ONG) dont il assure la direction en parallèle d'une activité de chercheur sénior et d'expert en acoustique passive (profil : [ResearchGate](https://www.researchgate.net/profile/Cedric-Gervaise) ou [LinkedIn](https://www.linkedin.com/in/cedricgervaise)).

Partenaires financiers



Ce document est le résultat d'un petit projet MedPAN intitulé : PAMGEST - Le suivi par acoustique passive au service de la protection et de la gestion de la faune marine : Application au corb *Sciaena umbra*. Ce guide est adressé à tous les gestionnaires intéressés par l'utilisation de l'acoustique passive pour suivre des espèces de poissons vulnérables telles que le corb. Ce guide a comme objectif principal de donner tous les éléments nécessaires afin d'aider le gestionnaire dans la prise de décision de mettre en place un tel suivi. Le guide présente une méthode standardisée et répliquable de suivi par acoustique passive du corb avec des exemples concrets dans des parcs marins français et montre sa contribution à des actions de suivi et gestion.

Sommaire

CONTEXTE.....	6
Le corb : espèce cible du projet PAMGEST	7
L'eco-acoustique et la conservation	8
La production sonore du corb	10
 LE SUIVI DU CORB PAR ACOUSTIQUE PASSIVE	
1. EXEMPLES CONCRETS AU SEIN D'AMP	14
La cartographie dans le PNMGL	15
Le suivi long-terme	17
2. LES PROTOCOLES DE SUIVI.....	19
L'instrumentation de mesures acoustiques	20
Les caractéristiques de l'équipement.....	20
Quels sont les enjeux pour le choix d'un système adapté à mesurer les sons de corb ?	20
Les mesures de terrain – conception d'un plan d'échantillonnage adapté	22
La cartographie acoustique	22
La mesure sur de longues périodes en un point fixe	23
Modes de déploiement	26
Les outils d'analyse	28
3. PROPOSITION D'UN SUIVI PAR ACOUSTIQUE PASSIVE POUR LA GESTION DU CORB	30
 LE POINT DE VUE DU GESTIONNAIRE	
Besoins	33
Types de résultats et apports	34
Intérêt du suivi par acoustique passive pour la gestion	34
Aspects pratiques pour la mise en place du suivi	35
Questions ouvertes	36
 PERSPECTIVES.....	38
Bibliographie citée	40
Acronymes	42
Glossaire	42

A school of grey snappers (Lutjanus griseus) swimming in clear blue water over a rocky seabed. The fish are silvery-grey with yellowish fins and black markings on their heads and bodies. The word "Contexte" is overlaid in white text.

Contexte

Le corb : espèce cible du projet PAMGEST

Le corb (*Sciaena umbra*) est inscrit dans l'annexe III de la Convention de Berne (espèces de faune protégées) et classé comme espèce vulnérable dans la liste rouge des espèces menacées de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) en Méditerranée. Le corb est très vulnérable à la pêche et à la chasse sous-marine en raison de son comportement sédentaire et d'agrégation, de l'accessibilité de son habitat et de son comportement calme et curieux. Le corb fréquente les petits fonds côtiers rocheux et les herbiers de Posidonies, entre 2 et 30 m de profondeur. C'est un carnivore nocturne, il se nourrit de vers, crustacés et petits poissons. Les sexes sont séparés et l'âge de maturité sexuelle est atteint vers 3-4 ans (mâle : 25 cm, femelle : 30 cm). Les juvéniles sont cryptiques, peu visibles. Le corb est une espèce longévive et peut atteindre 70 cm. Un corb de 50 cm est âgé de 31 ans et pèse 3,5 kg. Avec un déclin de la population en mer Méditerranée d'environ 70 % entre 1980 et 2005 reporté par l'UICN, le corb entre dans les catégories des espèces de poissons menacées. C'est pourquoi en France, il bénéficie d'un moratoire depuis 2013, incluant une interdiction de chasse et pêche de loisir à l'hameçon, reconductible tous les 5 ans, jusqu'en 2023. Le corb est une espèce emblématique considéré comme un bio-indicateur de l'état des habitats

côtiers. Sa présence et la taille de ses populations est le signe de bonne qualité, de richesse et d'équilibre du milieu. Dans le cadre du moratoire et au sein des Aires Marines Protégées (AMP), il est donc nécessaire d'évaluer les tendances des populations de corbs, établir leur distribution, mettre en place des actions de protection ainsi que mesurer leur efficacité et identifier les sites sensibles sur lesquels il faut porter des efforts de gestion particuliers. Les sites de reproduction où les corbs forment des rassemblements, entre mai et juillet, sont stratégiques pour la conservation de l'espèce.

Des programmes de suivi du corb par comptages en plongée ont été mis en place depuis des décennies dans certaines réserves par des groupes de suivi et par les gestionnaires en France, comme le GEM - Groupe d'Étude du Mérou - (e.g., Harmelin et Ruitton 2007 ; Harmelin, 2013 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 2015). Récemment, depuis 2015, l'Etat français (DIRM-OFB) a mis en place un suivi de l'effet du moratoire au niveau de 4 sites (Cottalorda *et al.*, 2018). Cependant, ces suivis sont locaux et les sites de frai, leur localisation et les mécanismes de recrutement restent peu connus. Aussi, une vision de la distribution de l'espèce et des sites de reproduction à large échelle dans le temps restent lacunaires.

Le projet PAMGEST

Dans ce contexte, le petit projet MedPAN intitulé « PAMGEST : Le suivi par acoustique passive au service de la protection et de la gestion de la faune marine : Application au corb *Sciaena umbra* » promeut l'acoustique passive (AP) au service de programmes de gestion d'espèces vulnérables. La finalité du projet est la mise au point du monitoring par acoustique passive de la faune marine pour les AMP dès 2020 à travers :

1. La définition d'un protocole de suivi standardisé, répliquable et facilement applicable en routine au sein des AMP.
2. La formation d'agents de terrain des AMP partenaires.
3. Des mesures *in situ* réalisées au sein et avec les 4 AMP partenaires servant de démonstrateur.
4. La promotion de l'utilisation de cette approche via un atelier webinaire (8 avril 2020) et le présent guide.
5. L'acquisition d'un capteur acoustique, pour l'utilisation dans le cadre du réseau des AMP.

Les résultats ont permis de démontrer la capacité de l'acoustique passive (AP) pour cartographier la distribution des corbs à grande échelle par présence/absence ainsi que les sites fonctionnels liés à la reproduction au sein des AMP. En plus de ces cartographies, l'échantillonnage dans des zones de régimes de protection variés a mis en évidence un « effet réserve » ainsi que l'efficacité de mesures de gestion et a permis d'établir une série de références acoustiques produites dans un gradient de situation allant de la « simple » présence d'un à quelques individus à des sites d'agrégation, voire de frai (« état optimal »). Les données long terme ont permis d'identifier une période d'activité vocale des corbs (avril-octobre) ainsi qu'une forte corrélation avec la température de l'eau, importante dans le suivi des effets du réchauffement climatique. Ces résultats ont donné lieu à une publication scientifique soumise et en cours de révision (Di Iorio *et al.* 2020). Ils servent aussi de matière première à la rédaction du présent guide et ont contribué à former une communauté de gestionnaires d'AMP utilisatrice de l'AP pour le suivi d'espèces vulnérables.

Plan du guide

Ce guide présente en **première partie** le contexte et l'enjeu de la protection de l'espèce, introduit l'éco-acoustique comme outil d'évaluation et de suivi pour la mise en œuvre de mesures de gestion et de conservation et décrit la production sonore du corb. Le suivi par acoustique passive est introduit par des exemples de terrain concrets et les résultats obtenus sont discutés.

La deuxième partie du guide est dédiée à la description des protocoles de suivi par acoustique passive. Cette partie est technique, elle décrit le matériel acoustique et comment le choisir, aborde l'investissement humain et financier, détaille l'acquisition de données sur le terrain et présente les critères pour concevoir un plan d'échantillonnage. Elle aborde également le traitement de données et propose un suivi type pour les AMP.

La dernière partie du guide laisse la parole aux gestionnaires qui ont appliqué cet outil et qui donnent leur retour d'expérience sur l'apport de l'acoustique passive pour la connaissance et la conservation du corb.

Le document se termine avec des perspectives, surtout de recherche et développement (R&D), qui permettraient d'amplifier les informations recueillies, d'améliorer l'efficacité de l'approche par acoustique passive ainsi que son utilité pour d'autres espèces.

L'éco-acoustique et la conservation

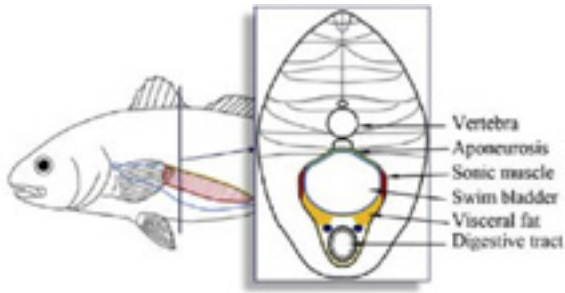
Grace aux développements instrumentaux de la dernière décennie et la mise au point d'algorithmes de traitement spécifiques, l'éco-acoustique (Krause, 1987; Sueur and Farina, 2015) s'impose comme une solution novatrice, non intrusive pour mieux appréhender la structure et la dynamique des écosystèmes marins. Elle exploite les sons environnementaux, en tant qu'attributs des écosystèmes susceptibles de révéler des processus écologiques. Les sons générés par les organismes marins (invertébrés, poissons, mammifères marins) et leurs activités (biophonie), par des événements naturels (pluie, vent etc. géophonie) et des activités humaines (anthropophonie) forment des paysages sonores qui peuvent être suivis dans le temps, à haute résolution, et dans l'espace. La décomposition de ces paysages sonores contribue à suivre des espèces clés dont on connaît la signature acoustique, à estimer la biodiversité, l'état des habitats et leurs tendances ainsi que les impacts; ce qui lui confère un potentiel majeur pour le suivi environnemental et la conservation (Bertucci *et al.*, 2015; Desiderà *et al.*, 2019; Di Franco *et al.*, 2020; Di Iorio *et al.*, 2018; Mooney *et al.*, 2020). L'éco-acoustique est une discipline encore considérée

comme émergente, mais le nombre accru de publications scientifiques des 5 dernières années montre clairement une expansion de l'activité de recherche dans ce domaine au niveau mondial. Le développement d'outils adaptés aux différents environnements (terrestres et aquatiques) permettant de détecter et d'étudier les changements environnementaux applicables pour la gestion et la conservation des environnements naturels sont souvent au cœur de ces recherches.

L'utilisation de l'acoustique passive au service de la gestion et la conservation d'espèces de poissons vulnérables, comme le corb, s'inscrit donc dans ce mouvement international.

L'originalité de l'approche présentée dans ce guide, réside dans l'effort collectif entre gestionnaires de différentes AMP et éco-acousticiens de mettre en place des travaux R&D qui ont permis de consolider l'intérêt de l'AP pour le suivi du corb et proposer un protocole opérationnel d'aide à la gestion pour les gestionnaires.

La production sonore du corb



Coupe transversale du système de production sonore typique des Sciaenidae avec en rouge les muscles soniques (Sonic muscle) attachés à la vessie natatoire (Swim bladder). Vertebra = Vertèbre, Aponeurosis = Aponévrose, Visceral fat = Graisse viscérale, Digestive tract = Tube digestif. Extrait de Parmentier *et al.* 2014.

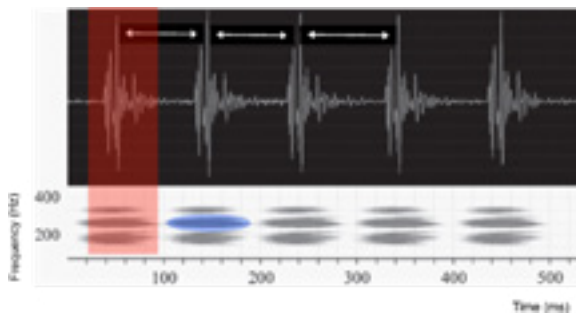


Figure 2. Oscillogramme (en haut) et spectrogramme (en bas) d'une vocalise (train de pulses) de corb. La zone orange indique un pulse, les flèches indiquent l'intervalle entre les pulses (100-144ms), l'ellipse bleue la fréquence pic (210-350 Hz). Modifié de Parmentier *et al.* 2018.

Les mâles de corb émettent des vocalises très spécifiques avec des muscles soniques attachés à la paroi de leur vessie natatoire (Dijkgraaf, 1947; Parmentier *et al.*, 2018). Chaque contraction fait vibrer la vessie natatoire qui émet alors une impulsion sonnante comme un bruit de tambour « toc-toc ». Le son du corb est constitué d'un train de pulses, généralement se répétant environ toutes les 20 secondes et pendant des dizaines de minutes jusqu'à 2-3 heures (Picciulin *et al.*, 2013, 2012). Ces séries de sons sont stéréotypées, spécifiques à l'espèce et stables dans le temps et l'espace (à l'échelle d'une décennie et pour la Méditerranée nord occidentale) (Parmentier *et al.* 2018). Ces caractéristiques rendent donc cette espèce particulièrement appropriée à un suivi par acoustique passive.

Le corb émet volontairement des sons pour communiquer, principalement pendant la période de reproduction. Trois formes de production sonore se distinguent chez le corb (Picciulin *et al.* 2012) :

- les sons irréguliers (I-calls),
- les sons réguliers et stéréotypés (R-calls), et
- les chorus (phénomène de masse quand beaucoup de corbs vocalisent en même temps et les signatures individuelles ne peuvent alors plus être identifiées) (Fig.3 : Cliquez sur les images pour écouter le son).

Ces sons nous donnent accès à plusieurs informations car ils :

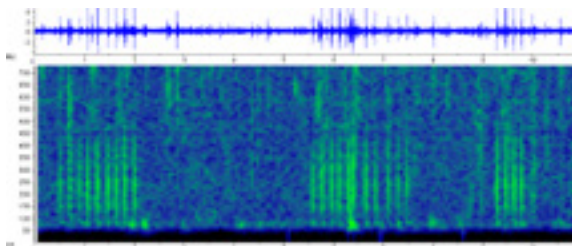
1. indiquent la présence/absence de l'espèce,
2. informent sur la fonctionnalité (comportements liés à la reproduction),
3. renseignent sur la présence d'un ou plusieurs mâles (1 R-call = 1 mâle),
4. indiquent la présence d'aggrégations reproductives via le chorus,
5. peuvent renseigner sur des différences de taille via la fréquence pic.

et tout ça dans un rayon d'écoute d'environ 300m, qui correspond approximativement à la portée d'un son de corb.

Le comportement vocal des corbs mâles avec leurs vocalises stéréotypées et répétées pendant des heures se prête très bien à l'application de l'acoustique passive pour l'étude de l'espèce et sa conservation. Les premières études menées autour de Venise et dans le Golfe de Trieste ont en effet démontré l'apport de l'acoustique passive pour l'acquisition de connaissances sur l'espèce, leur comportement et leur distribution (Bonacito *et al.*, 2002; Colla *et al.*, 2018; Picciulin *et al.*, 2013, 2012). L'intérêt de cette approche pour le suivi de cette espèce a été confirmé entre 2015 et 2019 au sein de plusieurs AMP françaises et italiennes et à l'échelle de la façade méditerranéenne occidentale française (Di Iorio *et al.*, 2020).

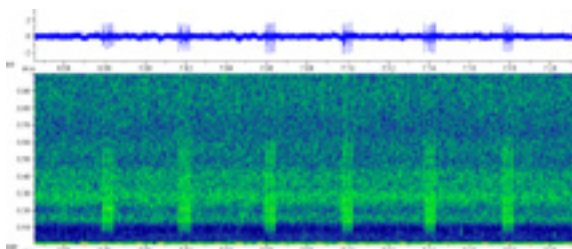
L-calls

<https://b.link/x8zp6>



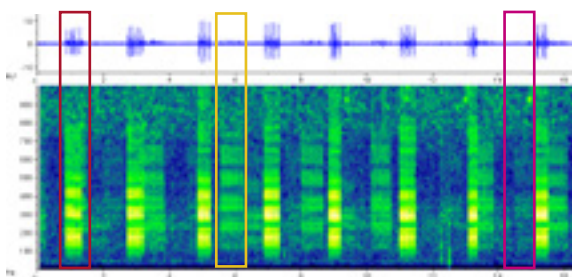
R-call, 1 individu

<https://b.link/e8mmc>



R-calls, 3 individus (indiqués par les 3 couleurs)

<https://b.link/jt5nv>



Chorus

<https://b.link/f6q7a>

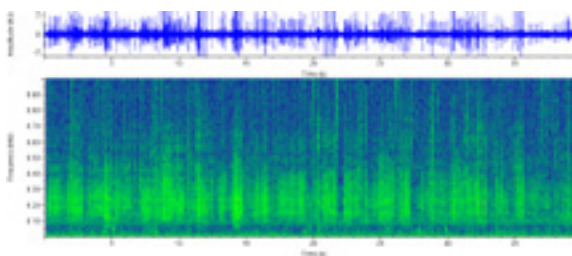


Figure 3. Oscillogrammes et spectrogrammes de différentes productions sonores des corbs (Picciulin *et al.* 2012). En cliquant sur l'image on peut écouter les sons.



Le suivi du corb par acoustique passive



1. EXEMPLES CONCRETS AU SEIN D'AIRES MARINES PROTÉGÉES

La connaissance des sites de reproduction et de frai est essentielle pour la conservation des corbs, d'autant plus qu'ils forment des agrégations reproductives vulnérables à la pêche. Grâce au petit projet MedPAN PAMGEST et à la participation de 4 AMP, le Parc national des Calanques (PNC), Parc naturel marin du Golfe du Lion (PNMGL), Parc marin de la Côte Bleue (PMCB), et l'AMP Tavolara Punta-Coda Cavallo (AMP TPCC), nous avons pu démontrer l'efficacité d'un suivi par acoustique passive pour le corb et proposer aux AMP une stratégie de suivi répliquable et standardisée d'aide à la gestion et à la conservation de cette espèce.

Dans ce but, deux types de suivis ont été effectués :

1. La cartographie acoustique (PNC, PNMGL, AMP TPCC) qui renseignent sur la distribution des corbs mâles et les sites avec une activité reproductive,
2. le suivi à long-terme (Réserve de Cap Couronne, PMCB) qui démontre l'intérêt de l'acoustique passive pour suivre la période reproductive et sa durée.

Dans cette partie, nous illustrons, par un extrait représentatif des résultats, les suivis menés dans les 4 AMP. Ces suivis sont décrits dans une publication scientifique soumise en automne 2020, accessible à l'adresse suivante : <https://doi.org/10.1101/2020.06.03.131326>

La cartographie dans le Parc marin du Golfe du Lion

Le suivi effectué dans le Golfe du Lion est utilisé pour illustrer la cartographie et le type d'information que l'on peut en extraire. Ce site est particulièrement intéressant car il héberge à la fois un jeune Parc marin (PNMGL, < 10 ans) et une ancienne réserve marine (la Réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls, 45 ans).

Soixante quatorze sites ont été écoutés au cours de 4 sorties de 4 heures chacune, ce qui a permis de couvrir la totalité du littoral rocheux du parc (62 stations) et de la réserve (12 stations) (soit 30 km de linéaire côtier, Fig. 4). Dans la réserve, 69% des stations d'écoute présentaient des détections de sons de corb, contre 33% dans le parc. En outre, dans la réserve, l'activité acoustique était intense, avec la présence de 2 chorus (i.e., sites potentiels de frai) et de nombreuses stations avec plusieurs locuteurs. La majorité des vocalises enregistrées étaient des R-calls : 66% dans le parc (le reste étant des I-calls) et 69 % dans la réserve (1 station avec des I calls et 2 avec des chorus). Les chorus, indicateurs de sites de frai,

étaient présents uniquement en réserve, et pas dans le reste du parc. La probabilité de détecter des sons de corbs s'est avérée au final 2 fois plus grande en réserve que dans le reste du parc ainsi que l'activité vocale généralement plus importante dans la réserve. Cette grande différence constatée entre la réserve et le reste du parc est très probablement liée aux différentes mesures de gestion mises en place, notamment relatives aux pressions anthropiques (i.e., la pêche et la plongée), aux programmes de surveillance adoptés, aux caractéristiques des habitats, mais aussi et surtout au fait que les mesures de protection sont effectives depuis plusieurs décennies. Aujourd'hui, dans le parc, les corbs sont protégés par le moratoire tandis que dans la réserve, notamment en réserve intégrale, là où la plupart des vocalises ont été enregistrées, la présence humaine est fortement réduite depuis plus de 40 ans. Le même constat a pu être fait dans l'AMP de Tavolara Punta-Coda Cavallo, effective depuis plus de 20 ans (Di Iorio *et al.* 2020).

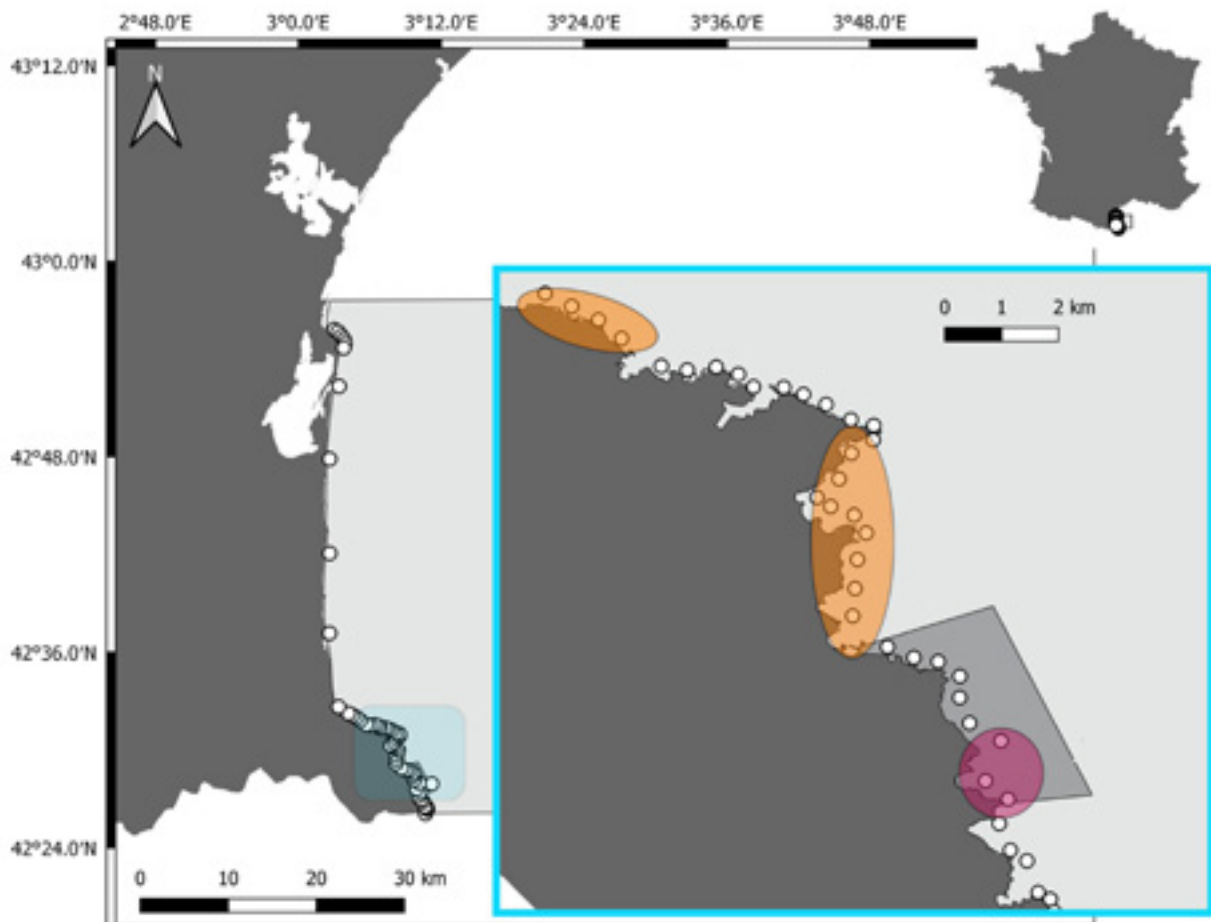


Figure 4. Carte du Parc naturel marin du Golfe du Lion (zone gris clair) et zoom (carré bleu clair) sur la partie de la côte rocheuse avec la Réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls (carré gris foncé). Les points blancs indiquent les sites d'écoute le long de la côte. Les zones avec les détections acoustiques de corbs sont indiquées par les ellipses oranges. Les chorus, indicateurs de sites de frai étaient dans la réserve intégrale (ellipse rouge en réserve intégrale). Les sites précis des détections ne sont pas indiqués par précaution.

Là aussi, en suivant le même protocole, les chorus, généralement plutôt rares, étaient uniquement présents dans les zones de protection intégrale. Les mesures acoustiques révèlent ainsi un effet réserve donné par l'âge des AMP ainsi que par le niveau de protection et d'application en vigueur. Elles soulignent également l'importance des zones de gestion renforcées pour la protection des frayères. Ces mesures obtenues dans des zones de protection intégrales avec plus de 20 ans de gestion, peuvent aussi servir de référence « sonore » optimale pour établir une grille de présence sonore. Cet exemple illustre la pertinence d'un suivi à l'échelle d'une AMP pour établir des cartes de la présence acoustique et de l'activité de reproduction de la quasi-totalité des côtes rocheuses des AMP en parcourant 10-20 km par soir en seulement 3-4 soirées. Cela confirme l'efficacité de la méthode pour évaluer, en un laps de temps restreint, la répartition du corb sur de vastes zones et contribuer à l'identification des sites ayant une activité reproductive. Les

résultats montrent un effet important du gradient des mesures de protection et leur durée d'application. Si répétés, ces suivis fournissent des informations sur les sites préférentiels, leur fonctionnalité (activité reproductrice, frai) dans le temps (mois, saison, années), et la répartition des mâles de corbs la nuit. Ces cartes de localisation peuvent ainsi être comparées avec des observations visuelles, *in situ* mais aussi servir à l'identification de sites à explorer en plongée, ou bien aider à l'identification de sites où des mesures de protection semblent nécessaires (e.g., sites de frai).

Le suivi à long-terme

Les données analysées pour le suivi long-terme dans la Réserve intégrale du Cap Couronne (Parc marin de la Côte Bleue) sont issues d'enregistrements continus effectués en 2017 et 2018 grâce au réseau CALME (Gervaise *et al.*, 2019). L'enregistreur était placé sur un site connu pour héberger régulièrement des corbs, près d'un récif artificiel et naturel, à -25 m de profondeur. La série temporelle de la température sur le fond a été obtenue à partir d'une sonde (Hobo Tidbit), enregistrant

en continu la température, installée à proximité du site par les agents du PMCB, depuis 1998.

Dans la Réserve du Cap Couronne, les enregistrements annuels ont mis en évidence une activité acoustique du corb s'étendant sur une période de 5 mois, avec une forte cohérence dans la production sonore d'une année sur l'autre et un synchronisme surprenant.

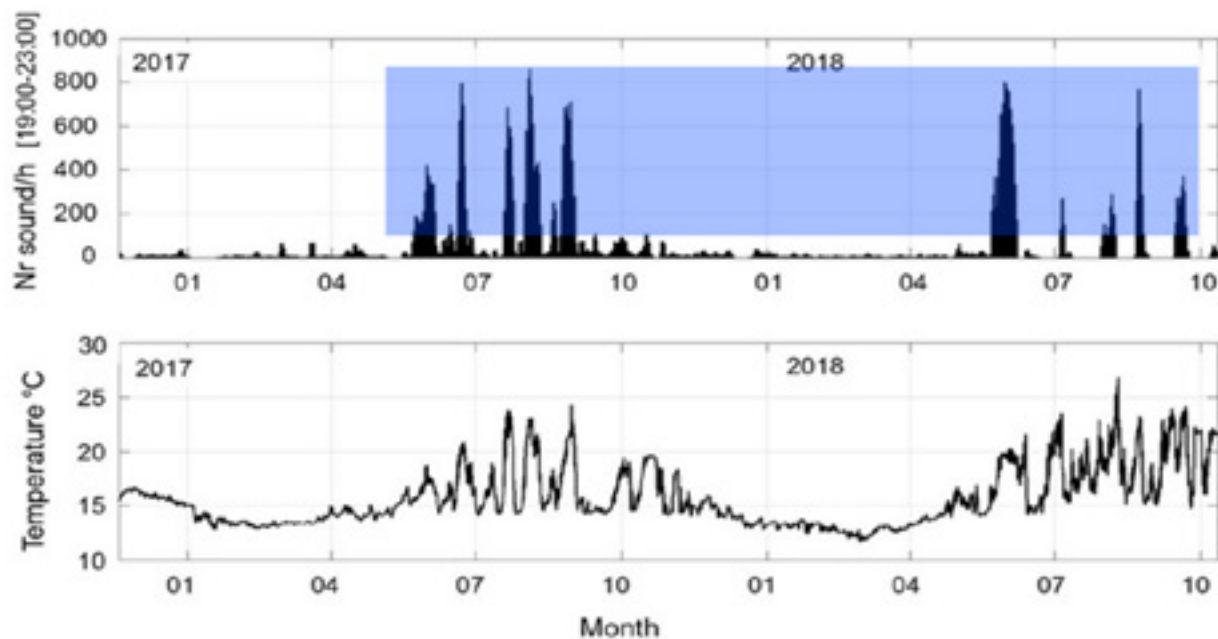


Figure 5 : Série temporelle des sons de corbs par heure (en haut) et profil de la température (en bas) dans la réserve du cap couronne (PMCB). Les pics, « bouffées sonores » dans l'image du haut correspondent aux pics de température. La zone bleue correspond à 80% des sons détectés entre 17 et 24° C. Pris de Di Iorio *et al.* 2020.

En 2017, les premières vocalises ont été enregistrées en avril, par contre les chants (R-calls) n'ont commencé que le 21 mai et se sont arrêtés le 11 octobre. En 2018, les corbs ont commencé à chanter le 22 mai et se sont arrêtés le 17 octobre (Fig. 5). La période de chant s'avère presque identique au cours des deux années, avec un pic d'activité l'été (juin-septembre) et une présence acoustique pendant 72 % du temps ! L'activité vocale estivale n'était pas uniforme mais présentait des pics, comme des « bouffées sonores ». Ces pics étaient fortement corrélés avec la température de l'eau ($p = 0,8$) (Fig. 5). La température apparaît en effet être un facteur déclencheur essentiel de la production de R-calls chez le corb, déjà connu pour d'autres Sciaenidae (Connaughton *et al.*, 2000; Ladich, 2018). Dans le PMCB, à partir de 17°C la production sonore était plus soutenue : 80% des sons ont été détectés pour des températures comprises entre 17 et 24°C.

Ce suivi long-terme montre que les enregistrements acoustiques donnent accès à des informations sur la durée de la période de reproduction du corb, qui dans ce cas semble être plus longue que celle décrite dans la littérature (Chauvet, 1991; Grau *et al.*, 2009), évaluée à 3 mois (mai-août). Ces séries temporelles sur plusieurs jours, voire mois ou années, renseignent également sur la fidélité d'un site, sur la variabilité temporelle de la production sonore et l'activité de reproduction, en lien avec des paramètres environnementaux, telle la température. Elles permettent également de suivre la réponse de cette espèce face aux pressions anthropiques ou climatiques (réchauffement), notamment pendant des périodes clés comme la reproduction, le frai. Ces enregistrements long-terme peuvent enfin renseigner les périodes pendant lesquelles il convient d'effectuer des suivis ponctuels (cartographie) et aider à évaluer l'efficacité de mesures de gestion mises en œuvre.

Apports du suivi par acoustique passive

- Complémentarité aux suivis visuels
- Méthode non invasive
- Méthode standardisée et reproductible
- Facile à mettre en place et peu coûteuse
- Acquisition de nombreuses informations en peu de temps et à grande échelle spatiale
- Production de cartes instantanées de la distribution de l'espèce et de leurs sites fonctionnels
- Suivi des populations et de leurs comportements reproducteur, de leur restauration dans le temps et des changements liés aux pressions humaines ou environnementales
- Comble certaines lacunes de connaissance sur la distribution, le comportement et la reproduction du corb.

2. LES PROTOCOLES DE SUIVI

L'instrumentation de mesures acoustiques

Les caractéristiques de l'équipement

Pour enregistrer les sons sous-marins il faut un hydrophone, qui représente le senseur qui capte les ondes sonores et un enregistreur de données qui les enregistre. Depuis une dizaine d'années l'offre d'instrumentation adaptée à l'enregistrement sous-marin est en constante augmentation. Les caractéristiques essentielles à vérifier lors d'un achat sont les suivantes :

1. La bande d'écoute est la gamme fréquentielle, de la plus basse à la plus aigüe, qu'un système peut mesurer.
2. Le bruit de l'instrumentation ; cette mesure est normalement indiquée. Elle concerne le bruit propre de l'instrumentation qui cependant ne pose pas de problème pour la mesure de sons de basse fréquence.
3. La sensibilité de l'hydrophone détermine l'amplitude du signal de sortie de l'hydrophone. C'est la tension de sortie (en Volt) divisée par la pression moyenne à l'hydrophone. Elle est mesurée en dB ref 1V/ μ Pa. Plus elle est grande, plus le senseur est sensible et plus le capteur peut percevoir les sons très faibles. Cependant, il est plus susceptible de saturer en présence de sons très forts (e.g., bateaux qui passent au-dessus). L'écoute des corbs ne nécessite pas une grande sensibilité mais il faut veiller à ce qu'il couvre toute la bande d'intérêt.
4. La robustesse de l'hydrophone : en plus des capacités métrologiques (bande passante, bruit propre, sensibilité) l'hydrophone est l'élément mécaniquement le plus fragile de la chaîne d'acquisition de par sa cellule piezo-électrique et ses connecteurs, une attention particulière doit être portée sur le choix de l'hydrophone et de ses protections (senseur et robustesse du câble). Le choix d'une connectique (si l'hydrophone n'est pas fixé à l'enregistreur) robuste est important également, surtout si le système est submersible.

5. La réponse fréquentielle d'un hydrophone est la sensibilité par rapport à la bande d'écoute. Cette réponse doit être plate dans la bande de fréquence d'intérêt.
6. La dynamique d'enregistrement est donnée en nombre de bits et est le ratio entre la valeur d'amplitude plus élevée et plus basse d'un signal. Plus le nombre de bits est grand, plus on sera capable d'enregistrer en même temps des bruits faibles et forts.
7. La durée d'enregistrement/autonomie : le matériel se choisit aussi en fonction de la durée d'enregistrement et s'il doit être autonome et submersible ou pas. Plus la capacité et la durée d'enregistrement seront importants moins les interventions seront nécessaires et nombreuses pour un suivi moyen à long terme.

Quels sont les enjeux pour le choix d'un système adapté à mesurer les sons de corb ?

Le corb produit des sons facilement audibles (~130 dB re 1 μ Pa, Codarin & Parmentier). La mesure de ces sons est plutôt simple et compatible avec des enregistreurs à coût modéré. Cependant, les sons du corb sont de basse fréquence (fréquence pic autour de 300 Hz et bande fréquentielle de 50 à 800 Hz, Picciulin *et al.* 2013, Parmentier *et al.* 2018) et donc dans la même bande du bruit de trafic (bateaux) et du bruit de vibration du système d'écoute. Il ne faut donc pas un système très sensible et à faible bruit d'instrumentation ni avec une bande d'écoute très élevée pour bien capter les sons du corb.

Pour le choix de l'équipement il faudra cependant vérifier que la bande d'écoute commence à 50Hz pour couvrir toute la gamme fréquentielle du son du corb et que la dynamique soit assez importante, préférentiellement d'au moins 24 bits. Aussi, la conception d'un mouillage peu bruyant facilite la détection des sons du corb (c.f. p. 26).

Aujourd'hui, il existe une offre nombreuse qui va de systèmes à bas coûts dont la performance doit être étudiée (catégorie 1), à un équipement de prix moyen de l'ordre de 7 000 Euros mais de bonne qualité et performance (catégorie 2), à des systèmes très coûteux avec sur-qualité (catégorie 3) pour ce type de suivis.

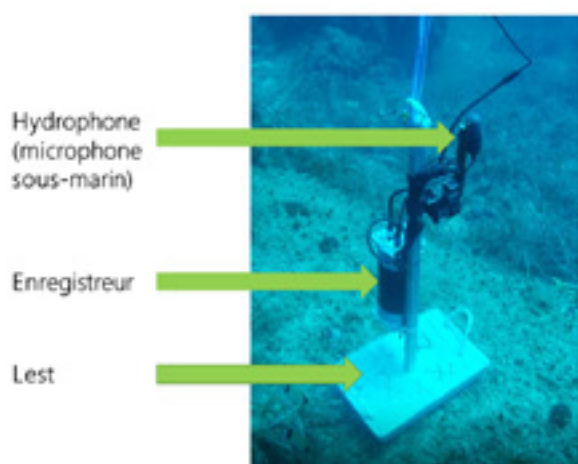
Les systèmes de la **catégorie 1** sont ceux constitués d'enregistreurs portables de type dictaphones ou enregistreurs numériques (e.g., ZOOM, Tascam) auxquels sont branchés des hydrophones de différente qualité (e.g., Aquarian, HTI High Tech Inc., Colmar, B&K Brüel & Kjær, Reson). Les prix varient entre quelques centaines à quelques milliers d'euros en fonction de la combinaison choisie. Ces systèmes peuvent être de bonne qualité en termes de caractéristiques acoustiques mais sont peu flexibles car ils ne sont pas submersibles, très souvent non programmables et ont une mémoire limitée. Ces systèmes sont adaptés aux enregistrements depuis un bateau avec écoute en direct via des écouteurs ou haut-parleurs, ce qui permet l'identification des sons « en direct ». Si imperméabilisés (sacs étanches ou Pelicase) ils peuvent servir pour des points d'écoute à la dérive (c.f. section mesures de terrain p.22). Cette catégorie peut être utilisée pour les cartographies mais ne permet pas d'effectuer des enregistrements sur le long terme. Elle génère souvent du bruit de vibration

qui interdit l'application de traitements automatiques (c.f. modes de déploiement, p.24).

La **catégorie 2** est souvent un bon compromis car elle permet à la fois d'effectuer des enregistrements ponctuels (ex., cartographie) ainsi que des suivis à long terme. Ces systèmes sont submersibles (jusqu'à 100-300 mètres), programmables et ont une autonomie allant de l'ordre de la semaine à plusieurs mois. En novembre 2020, des systèmes permettant les mesures de cartographie, des mesures continues avec une qualité suffisante et un prix raisonnable sont le SYLENCE LP440, le SoundTrap ST500, le mini-aural MTE (Fig. 6). Il est à noter que l'offre d'enregistreurs compatibles avec l'étude des corbs s'étoffe régulièrement.

Un facteur non négligeable est aussi la maintenance et le service après-vente des enregistreurs. Avec des fabricants très éloignés, les interventions sont plus difficiles et les temps de retour peuvent être longs.

Au-delà d'un prix d'acquisition supérieur à 8 000 € HT à date du 11/2020, il faut considérer que le prix est trop élevé et que ce prix peut correspondre à une instrumentation avec un niveau de performance supérieur à celui requis pour le PAM des corbs (catégorie 3).



Les différentes parties d'un instrument de mesure



Figure 6. Exemples d'enregistreurs autonomes submersibles (catégorie 2) sur le marché en 2020. En cliquant sur les photos, on peut accéder aux sites internet.

1. [SYLENCE LP440 de RTSYS \(France\)](#)
2. [mini-Aural de Multi-Électronique \(Québec\)](#)
3. [SoundTrap ST500 de Ocean Instruments \(Nouvelle Zélande\)](#)

Les mesures de terrain : conception d'un plan d'échantillonnage adapté

Cette partie décrit les critères pour effectuer :

1. les enregistrements ponctuels, repartis dans l'espace, le long de la côte, pour établir une cartographie acoustique des corbs et leurs sites d'activité reproductive,
2. les séries temporelles issues d'enregistrements plus longs, allant de quelques jours à plusieurs mois, voire années effectuées sur des sites choisis pour leur intérêt pour l'espèce (site de frai, suivi de la population, sites préférentiels du corb mais avec une forte fréquentation humaine (navigation, plongée), etc.).

La cartographie acoustique

La cartographie de la distribution et des sites fonctionnels des corbs s'obtient par itinérance en suivant un protocole standardisé et répliquable (Bonacito *et al.*, 2002; Iorio *et al.*, 2020), (c.f. schéma du protocole de terrain p. 25). Elle nécessite l'utilisation d'une embarcation le soir pendant 4-5 heures avec un pilote et 1 à 2 personnes pour la mise en place du matériel. Les consignes à suivre sont les suivantes :

Quelle est la période optimale ?

Idéalement pendant les mois de juin et juillet car ce sont les mois avec la plus forte activité reproductive. Le retour d'expérience montre aussi une activité sonore soutenue à cette période en Méditerranée nord-occidentale. Les sorties se font le soir, lors des pics des chants des mâles, entre 19h et 23 h. La température de l'eau devrait être de préférence au-dessus de 17°C. Il est d'ailleurs conseillé de connaître la température au fond ou d'équiper le matériel acoustique d'une sonde enregistreur de température.

Quelle implication du personnel ?

Il est préférable de réserver plusieurs soirées de suite pour couvrir toute la côte. En une sortie, il est possible de parcourir 10-20 km en fonction des types et du

nombre de systèmes utilisés (voir section p. 26). Pour donner un ordre de grandeur, les côtes rocheuses des parcs de grande taille comme Le Parc national des Calanques (435 km²) ou le Parc naturel marin du Golfe du Lion (4000 km²) qui mesurent environ 40km en linéaire, peuvent être échantillonnées en 4 sorties.

Avec quelle fréquence ?

Avec 1 à 2 suivis par mois (les mois d'été, ou de préférence en juillet) tous les ans, l'identification de sites de frai ou préférentiels est plus fiable. Si on souhaite avoir une information sur la saisonnalité, les suivis peuvent bien évidemment se faire régulièrement entre mai et septembre. Les différences saisonnières dans le comportement vocal des animaux peut toutefois influencer la probabilité de détection. Pour évaluer ces différences saisonnières ou d'une année à une autre, les écoutes doivent être effectuées aux mêmes stations.

Comment sont choisies les stations d'écoute le long de la côte ?

En pratique, les stations d'écoute se choisissent en fonction du rayon de détection du son du corb et de son comportement vocal :

- On obtient une cartographie quasi continue de la côte en choisissant un pas inférieur au rayon de captation qui est de l'ordre de 300 m (Fig. 7).
- Les écoutes se font pendant la principale période d'émission entre 19h et 23h (en juillet). Le pic de la production sonore est entre 20h et 22h (en juillet).
- Elles se font dans 10-30 m de fond près de la côte (à <100 m de distance) et au niveau des secs.
- La durée d'écoute est « courte », d'environ 5 min (entre 5 et 10 min mais égale pour chaque site), car si un corb émet pour se reproduire, il le fait de façon quasi continue, ce qui augmente la probabilité de détection.

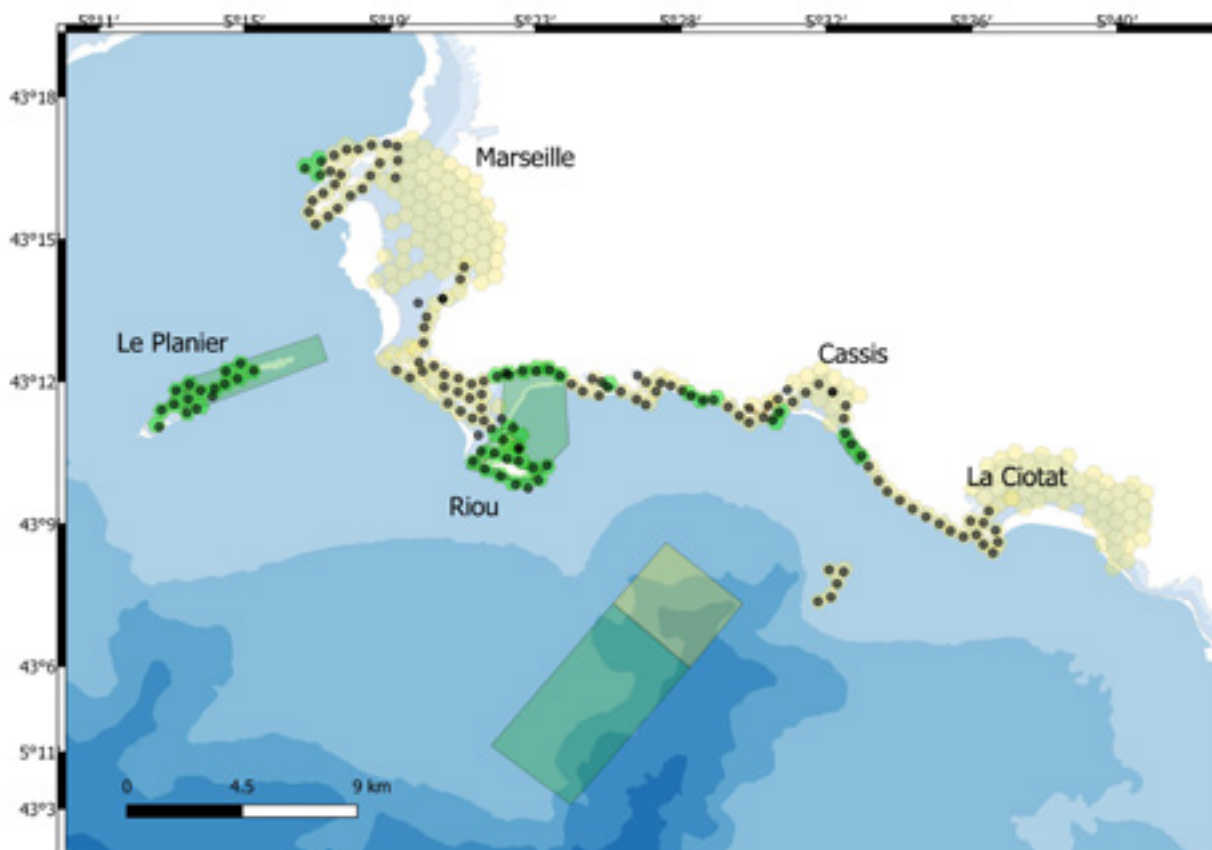


Figure 7 :

Exemples de choix des points d'échantillonnages (hexagones de 400m de diamètre) dans le Parc national des Calanques. En noir les points d'écoute effectués en 4 soirs (40 km de côte parcourus).

La mesure sur de longues périodes en un point fixe

Les séries temporelles demandent de fixer un enregistreur au fond de manière stable, sans que la structure produise de bruits. Il faut donc éviter l'utilisation de chaînes ou de structures existantes avec une bouée de surface, qui risque de « polluer » les enregistrements par des bruits de fond liés au dispositif de mouillage. Pour des déploiements longs, il est nécessaire de concevoir des systèmes de mouillage plus lourds (min. 20-30 kg) et solides qui peuvent rester sur le fond (ex., disposition en trépied). Les images de la figure 8 montrent différents systèmes de mouillages utilisés pour des écoutes de plusieurs semaines voire années.

Où placer la station d'écoute ?

Le site doit évidemment avoir un intérêt pour le suivi de l'espèce et/ou pour l'évaluation de l'efficacité de mesures de gestion. Il faut veiller à ce que le mouillage soit à l'abri de courants, de zones de pêche, de la météo, etc. afin d'éviter l'enlèvement ou la casse.

Puisque la production vocale est dépendante de la température, il est conseillé d'installer une sonde de température sur ou près de l'enregistreur. Une connaissance fine de la bathymétrie permettra de choisir la position d'immersion pour éviter les zones de masquage/d'ombre créées par les roches hautes ou les pointes. Aussi, il est conseillé de poser l'enregistreur dans des zones avec habitats environnants favorables, comme sur des frontières herbier/roche, éboulis etc. Le capteur doit idéalement être à environ 1 mètre du fond.

Quelle est la période optimale ?

Idéalement l'enregistrement doit couvrir la période entre le mois d'avril et de novembre.

Quelle programmation ?

Les systèmes de catégorie 2 sont programmables. Le choix du programme dépend de l'instrument. Pour le corb, la période d'intérêt s'étend de 2 h avant le coucher de soleil jusqu'à minuit au moins, mais préférablement jusqu'au lever du soleil, car par endroits des chants ont

aussi été enregistrés en deuxième partie de nuit, et des différences liées à la durée d'ensoleillement entre avril et novembre ont pu être observées. Dans le cas où l'autonomie ne constitue pas une contrainte, il peut être utile d'effectuer des mesures en journée afin d'enregistrer le bruit anthropique et estimer son impact acoustique. La fréquence d'échantillonnage doit être supérieure à 5 kHz pour une bonne captation des sons de corbs. On conseille de choisir une fréquence d'échantillonnage plus élevée (48 kHz or 96 kHz). Elle permettra de capter d'autres sons de poissons ou de cétacés et d'invertébrés et d'avoir au final une perception de la biophonie globale d'un site.

Quel moyens humains ?

Pour la plupart des systèmes de la catégorie 2 avec enregistrement en continu, on peut envisager deux plongées tous les mois (si on souhaite récupérer les données régulièrement) ou tous les 3 mois. Il faut une plongée de récupération et une plongée de remise à l'eau après téléchargement des données et chargement des batteries ou changement des piles.



Figure 8 : Systèmes de mouillages pour un suivi sur de longues périodes en un point fixe.



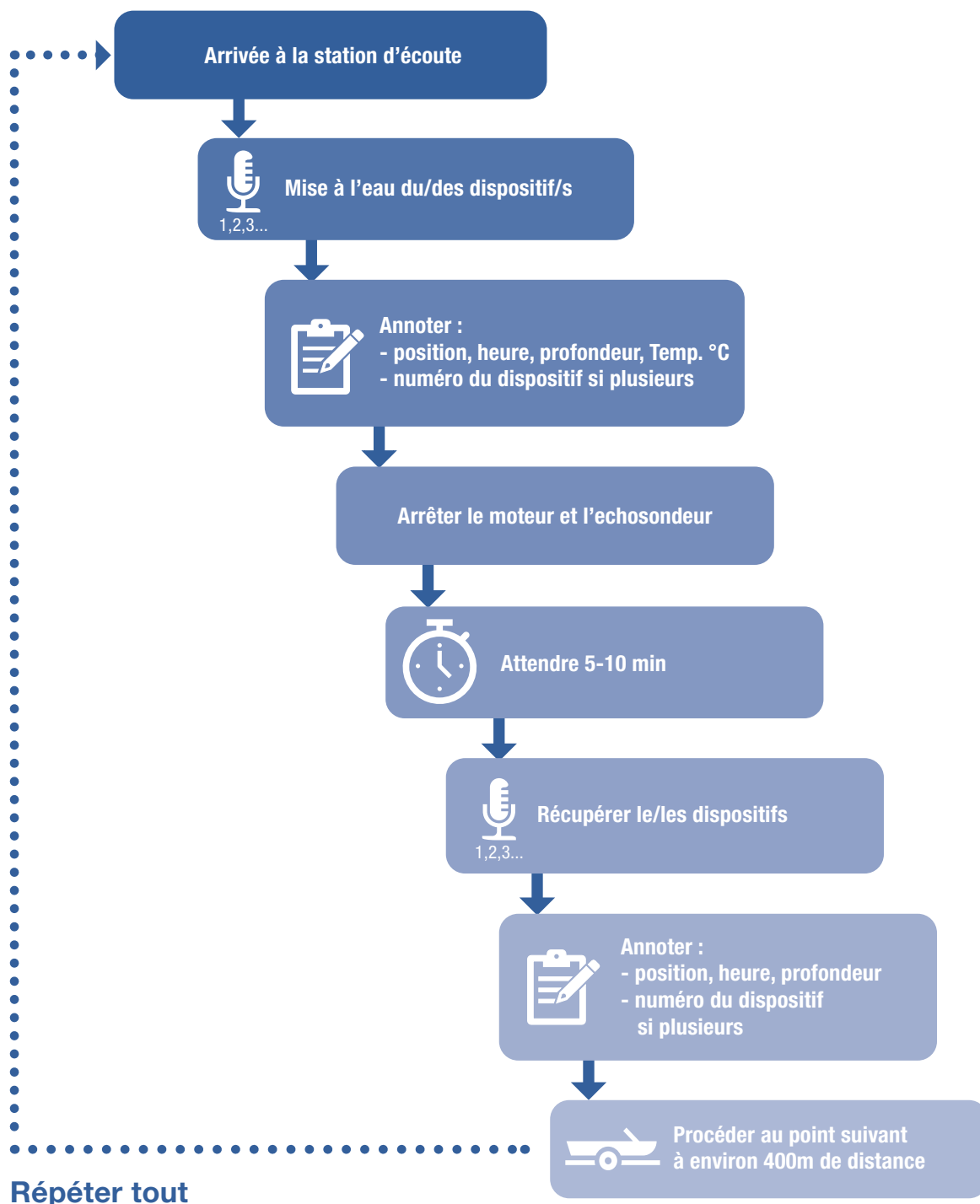


Schéma de mise en œuvre des étapes de la cartographie acoustique sur le terrain.

Modes de déploiement

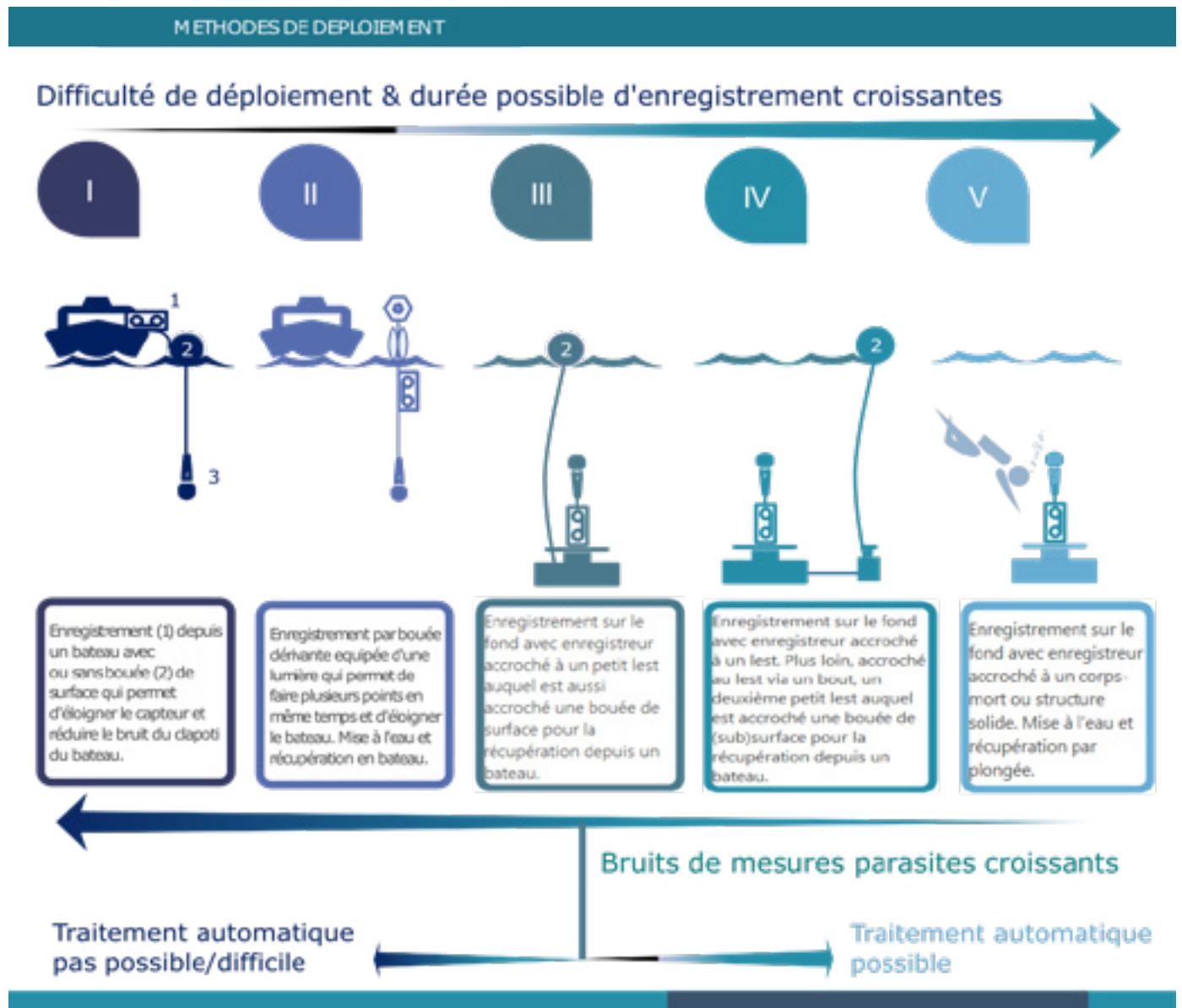


Figure 9 :

Méthodes de déploiement allant des plus simples à mettre en place mais avec plus de bruits parasites à celles plus difficiles à mettre en place mais avec des bruits parasites plus faibles. Pour les dérives, les méthodes 1 et 2 sont les plus rapides, qui permettent de parcourir plus de distance surtout avec plusieurs systèmes d'écoute, mais les méthodes 3 et 4 sont envisageables aussi, avec des lests de faible poids (~5 kg). Les méthodes 3 et 4 peuvent rester en place sur des périodes plus longues mais c'est la méthode 4 (par plongée) qui est la plus appropriée pour le suivi à long-terme sans balisage à la surface et avec une structure ou corps-mort solide (Fig. 10).

Il existe plusieurs modes de déploiement sur un gradient qui va de la facilité de la mise en œuvre avec risque de fort bruit de mesure créé principalement par les vibrations/mouvements du système à plus de difficultés de mise en œuvre mais limitant les vibrations parasites. Pour les systèmes plus faciles à déployer, non fixés sur le fond, il est important de faire les suivis avec des conditions de mer calme (< 2 Beaufort) et

en absence de pluie battante qui peuvent générer des interférences sonores et rendre la détection des signaux plus difficile, voire impossible.

Les enregistreurs de catégorie 1 peuvent être utilisés pour les méthodes I et II uniquement, tandis que ceux de la catégorie 2 pour toutes les méthodes de déploiement (Fig. 10).

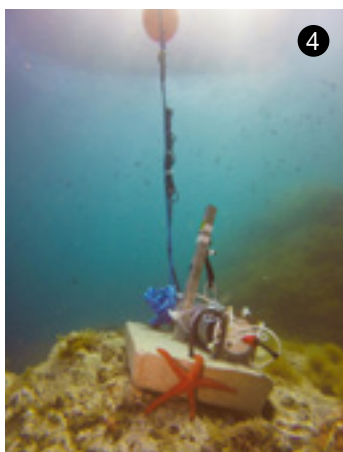


Figure 10 :

Méthodes de déploiement. ① Méthode I avec écoute en directe (catégorie 1), ② & ③ méthode II avec une bouée dérivante et un enregistreur de catégorie 1 ou 2. Cette méthode a été déployée pour le projet PAMGEST. ④ Méthode III avec une bouée de subsurface ④ ou un hydrophone fixé à une tige et avec un enregistreur de catégorie 2. ⑤ Méthode IV avec déploiement par plongée. Système utilisé lors du suivi à long-terme dans le PMCB.

Les outils d'analyse

La production sonore des corbs est stéréotypée et reconnaissable, ce qui en facilite la détection. En fonction des capacités numériques des interlocuteurs, plusieurs solutions sont envisageables allant de l'écoute et l'annotation manuelle jusqu'à un traitement automatique.

L'annotation manuelle

Pour l'analyse, il existe des logiciels libres permettant l'annotation manuelle basée sur des spectrogrammes. La présence des différents types de sons peut ainsi être annotée en fonction de la date et heure, ainsi que le nombre de locuteurs (si possible). Des logiciels comme Audacity (<https://audacity.fr>) ou Raven lite (<https://ravensoundsoftware.com/software/raven-lite>) par exemple, sont disponibles gratuitement et adaptés à une analyse manuelle. Ce type d'analyse est envisageable et rapide en post-traitement pour les

cartographies acoustiques, mais trop coûteuse en termes de temps pour les analyses des suivis long terme. La reconnaissance des sons, ainsi que les réglages nécessaires pour bien les afficher et les identifier, à travers les bruits parasites, demandent des connaissances en traitement acoustique de sons marins.

Les méthodes automatiques

A l'heure actuelle, il n'existe pas de logiciels clé en main permettant la détection automatique, mais il est possible de développer son outil *ad-hoc*. Ces algorithmes de détection automatique de sons de corbs sont principalement basés sur les caractéristiques des sons émis. Des méthodes qui exploitent l'existence d'un rythme régulier de répétition dans les impulsions qui forment un son de corb, ont par exemple démontré être très efficaces. Elles se basent sur une

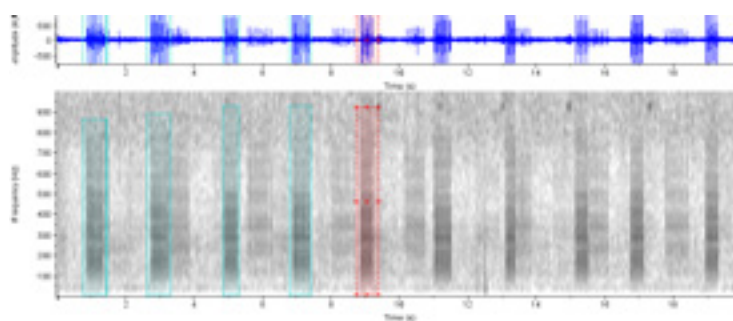


Figure 11.
Fenêtre du logiciel Raven (gauche) avec en haut la forme d'onde et en bas le spectrogramme avec en évidence les détections manuelles de sons de corb.

transformée temps-rythme (Le Bot et al., 2015) ou sur des réseaux de neurones (Laplante et al., 2021). Cette filtration permet d'éliminer les impulsions non rythmées provenant du bruit, pourvu que celles-ci soient en nombre limité ($<$ au nombre d'impulsions de corb dans la fenêtre d'analyse). Appliquées aux enregistrements du projet PAMGEST, ces méthodes ont été capables de détecter 95% des sons de corbs avec 4 fausses alarmes par heure en moyenne (probabilité de fausse alarme $\sim 1.5 \cdot 10^{-3}$) pour des mouillages de type III ou IV.

Dans un second étage les sons rythmés sont classifiés en se basant sur les caractéristiques acoustiques des impulsions (Malfante *et al.*, 2018). Nous avons montré (Laplante *et al.*, 2021) qu'un classifieur (Linear Discriminant Analysis ou réseau neuronal) permet de séparer différents types de signaux rythmés biologiques, dont le corb, ou anthropiques. Ce type de traitement présente des potentialités de mesures en (quasi) 'temps-réel'.

La détection automatique devient indispensable pour le traitement de grandes bases de données comme les séries à long-terme qui demanderaient trop de temps pour être analysées manuellement. Elle permet alors d'étudier des « patterns » généraux (journalier, saisonniers, annuel ; etc.) sur de grandes bases de données.

Vers une automatisation à court terme des traitements de données

Compte tenu de la signature acoustique spécifique des corbs et des avancées récentes en instrumentation connectée, traitement algorithmique et intelligence artificielle, CHORUS sera à même de proposer dès 2021, 2 services innovants :

1. un service d'analyse automatique de données où chaque opérateur pourra indiquer, à une application installée en local sur son PC les fichiers à traiter. L'application mettra les données en forme pour les envoyer sur une plateforme cloud-computing qui détectera la présence ou pas de corbs. Les résultats seront ensuite renvoyés à chaque opérateur par courriel ou à travers une plateforme web.
2. Un système de mesure avec une méthode de déploiement type IV pour réduire les bruits parasites, embarquant les algorithmes de traitement automatisé, permettant l'obtention d'une carte de présence/absence des corbs en temps réel.

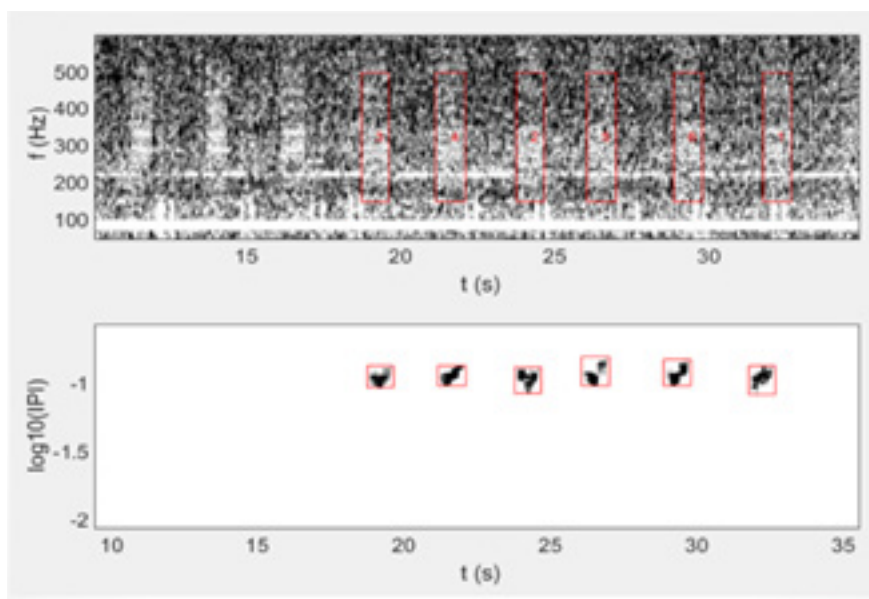


Figure 11.

Exemple de détecteur automatique du son du corb basé sur le rythme (Le Bot *et al.* 2015). En haut, spectrogramme avec en rouge les détections, en bas, la représentation du rythme du son (intervalle entre les pulses) en fonction du temps sur laquelle se base la détection.

3. PROPOSITION D'UN SUIVI PAR ACOUSTIQUE PASSIVE POUR LA GESTION DU CORB



© Ambre Gaudet

Comme tout autre suivi, les suivis par acoustique passive ont une valeur majeure s'ils sont effectués à plusieurs reprises et sur plusieurs années. Afin de contribuer à évaluer l'état de la population de corbs dans une AMP et son évolution dans le temps, nous recommandons :

1. D'effectuer une ou deux cartographie(s) initiale(s) au courant du premier été.
2. D'utiliser les cartographies pour repérer des zones d'intérêt. Si nécessaire, refaire des enregistrements
- ponctuels entre 21h et 22h (en juillet) avec plusieurs chanteurs afin d'identifier des sites de frai potentiels.
3. D'installer un ou plusieurs capteurs à long terme sur les zones identifiées.
4. De suivre les sites sur 3 ans minimum en répliquant aussi les cartographies (1 à 2 par an).
5. De comparer les résultats avec une référence sonore optimale obtenue grâce à l'écoute dans des sites de références (zones de protection intégrale avec plus de 20 ans de gestion effective).

Moyens financiers et humains nécessaires

Achat d'un capteur de catégorie 2, prix d'achat ~ 7000 € HT,

Cartographie : Le nombre de sorties nocturnes dépend de la longueur de la côte à parcourir. On explore entre 10 et 20 km de côte par soirée. En effectuant 2 cartographies (fin juin et fin juillet) on arrive à mieux identifier les sites d'intérêt.

Plongées : Une série long terme avril/novembre nécessite une plongée de mise à l'eau (avril), deux plongées de récupération des données et remise à l'eau, et une plongée pour sortir le système.

Coût de traitement : Il est difficile d'évaluer le coût pour le traitement et l'analyse d'une cartographie et d'une série long terme, cependant la somme de 7 000€/an permet le recrutement de personnels temporaires ou d'entreprises expertes aptes à l'analyse des données.

An underwater photograph showing a diver in a black wetsuit and scuba gear positioned next to a vertical metal pole. A yellow buoy lies on the seabed in the foreground. The background is a deep blue sea with some coral and a small fish visible.

Le point de vue du gestionnaire

Cette partie réunit principalement les retours de N. Michez (PNMGL), P. Bonhomme (PNC) et E. Charbonnel (PMCB), qui ont mis en place et effectué les suivis des corbs par acoustique passive avec l'institut Chorus dans le cadre du projet PAMGEST. Elle inclut également des commentaires de chargés de mission

de 2 autres AMP françaises, ainsi que des membres du GEM, de l'OFB (Office français de la biodiversité) et de la DIRM (Direction Interrégionale de la Mer Méditerranée) présents à l'atelier PAMGEST qui a eu lieu le 8 avril 2020 et qui a rassemblé 14 participants.

Besoins

Les informations nécessaires aux gestionnaires pour la conservation d'une espèce tel que le corb paraissent nombreuses : secteurs d'habitats préférentiels et fonctionnels, distributions spatiale et temporelle, structure démographique des populations, efficacité de la reproduction et du recrutement, connectivité, impacts anthropiques et naturels, etc.

A l'heure actuelle, les gestionnaires d'AMP et groupes d'étude (comme le GEM) suivent les effectifs et la structure des populations, notamment dans le cadre du moratoire en vigueur en France, principalement via des recensements visuels en plongée depuis 1986 dans les AMP et depuis 1997 hors AMP dans des sites choisis (www.gemlemerou.org; Harmelin, 2013 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 2015; Harmelin and Ruitton, 2006; Cottalorda *et al.* 2018). Ces suivis se font en

moyenne 2 fois par an sur quelques stations (e.g., 4 sites dans le PNMGL et le PMCB) depuis 2015, donnant une vision très parcellaire de la fréquentation des habitats propices et peu d'informations sur les zones fonctionnelles. Grâce à la réglementation du prélèvement du corb à la pêche récréative, les effectifs ont augmenté, principalement au sein des AMP. Les gestionnaires doivent assurer le maintien des populations équilibrées et améliorer leur gestion. C'est pourquoi le besoin de connaissances est élevé, notamment sur le comportement reproductif, le recrutement et la croissance des juvéniles ainsi que de méthodes de suivi opérationnelles et peu chronophages et/ou budgétivores, permettant de recueillir plusieurs informations en même temps.

Types de resultats et apports

L'acoustique passive s'avère un outil très intéressant pour le suivi du corb et d'aide à la décision sur une espèce patrimoniale sur laquelle on manque de connaissances, notamment sur sa répartition spatiale et temporelle. Aujourd'hui, l'acoustique passive permet d'acquérir des données précieuses pour la gestion de l'espèce, car elle donne accès à la distribution spatiale de l'espèce à un instant donné sur la totalité des zones propices à l'échelle d'une grande AMP. Quelques jours de travail permettent un inventaire de la présence/absence ainsi que de la fonctionnalité de certains secteurs (zones de fraies). C'est donc un outil adapté pour une stratégie de façade, qui est lacunaire en termes de gestion et aussi pour le suivi des adaptations au changement climatique (hausse de la température).

Le suivi à long terme donne accès à des informations de fréquentation et d'activité de reproduction (dont sa durée) à haute résolution temporelle, une information non accessible autrement jusqu'à présent. Dans le temps, il permet de suivre la dynamique de sites clés et ses populations et d'évaluer l'efficacité des mesures de gestion. La répétition des suivis de cartographie permet de comparer l'évolution des distributions dans le temps au cours de la même saison mais également en interannuel. Les cartes acoustiques ainsi établies, constituent aussi un appui aux suivis visuels car elles permettent d'effectuer des relevés de vérification en plongée et suivre des agrégations ou sites clés de manière plus ciblée.

Intérêt du suivi par acoustique passive pour la gestion

L'outil est rapide, simple à mettre en œuvre et très efficient par rapport à la quantité et la spécificité des informations recueillies. Les suivis peuvent se mettre en place presque en autonomie, à l'exception, pour le moment, du traitement des données. Les cartographies donnent accès à une vision spatiale élargie qui permet de mieux cerner les zones d'intérêt et cibler des mesures de gestion et de surveillance.

La connaissance de sites de fréquentation et de fonctionnalité écologique, comme de sites de reproduction ou d'alimentation dans les petits fonds est essentielle pour le choix de mesures de gestion ou de zones de

protection renforcées ou fortes (ZPF). Les types de rendus et données scientifiques que nous pouvons obtenir grâce à cet outil appuient l'argumentation dans les démarches de ZPF, fournissent des données robustes pour défendre ou justifier des recommandations pour la gestion ainsi que des arguments juridiques. Sur le long terme, l'acoustique passive aide à quantifier l'efficacité des mesures de gestion appliquées et peut être utilisée dans la gestion adaptative pour suivre et affiner des mesures comme les fermetures ponctuelles (e.g., pêche) ou la gestion des plongées récréatives ou du trafic maritime de loisir.

Aspects pratiques pour la mise en place du suivi

Sur le terrain

Les formations aux agents des AMP dispensées durant PAMGEST et la mise en œuvre sur le terrain de sessions de mesures ont démontré que la prise de mesure acoustique pouvait se faire en autonomie et avec un niveau de qualité remarquable par les agents des AMP en suivant un protocole standardisé et répliquable entre AMP méditerranéennes. Les suivis ne nécessitent pas beaucoup de préparation en amont. Le matériel est accessible en termes de coûts et facile d'utilisation. Le protocole de collecte des données n'exige pas de compétences particulières, il est fiable et indépendant de l'agent qui le met en œuvre. Cependant, on peut gagner en efficacité si les suivis sont effectués par les mêmes personnes. Pour les cartographies qui se font à la tombée et pendant une partie de la nuit, il faut s'assurer de la sécurité du bateau et avoir une bonne connaissance de la côte et des fonds. Disposer d'un radar peut être très utile pour repérer les bateaux sans feux par nuit noire. Il est aussi conseillé de prendre en compte les zones de fréquentation de fin de journée, afin d'éviter de perturber les mesures, par le bruit ou la curiosité des gens.

Planification du temps de travail des agents

Les suivis de cartographie se réalisent principalement l'été (température > 17°C), la période la plus chargée en termes de sorties terrain mélangeant suivi, sensibilisation et surveillance. Si on choisit les mesures depuis un bateau ou à la dérive, il faut veiller à ce que la météo soit calme. Puisque les suivis se font en décalé par rapport aux heures de travail standard, il faut les organiser par rapport à la disponibilité des agents de terrain, tard le soir sur plusieurs jours en parallèle des autres suivis de jour. Pour les suivis à long-terme au point fixe, les moyens humains et logistiques, dépendent du matériel utilisé et de l'autonomie d'enregistrement qui peuvent aller d'une plongée tous les mois à une tous les 3 mois pour le changement des batteries.

Les questions ouvertes

Aujourd'hui, par acoustique passive, on peut connaître le nombre de locuteurs qui renseigne sur le nombre de mâles reproducteurs dans l'aire de captation.

Cependant, on ne connaît pas la taille de chaque individu, ni la densité et les effectifs de la population, ni la structure démographique. Des projets R&D sont nécessaires et en cours pour établir les lois de calibration reliant le nombre d'individus et les sons captés.



Aujourd'hui le point limitant situé entre la prise de mesures et l'utilisation des résultats pour la gestion est le traitement des mesures qui reste un travail de spécialistes, réalisé en temps différé ou qui nécessite une formation ou des outils spécifiques. Des méthodes de traitement, temps réel ou quasi, accroîtraient l'efficacité du suivi (c.f. p. 28 & 29).

Dans l'interprétation des données de distribution, il convient de faire attention au message diffusé. La présence de sons, hors chorus et sites avec plusieurs locuteurs (3 à 5) ne sont pas synonyme de grande densité mais de présence. Le chant du corb indique un comportement de reproduction mais cela ne renseigne pas sur le fait que la reproduction se réalise au final avec succès. Les sites avec des chorus, indicateurs de sites de frai, sont plutôt rares et prioritaires pour la gestion et la sauvegarde de l'espèce. En début de soirée, il est plus difficile d'identifier les sites de frai, car le pic du chorus est plutôt, vers 21h-22h en juillet. On risque donc de les manquer. Cependant, dans les sites de frai, même en début de soirée, plusieurs individus chantent en même temps. Il est donc conseillé de retourner sur le site à l'heure propice pour les chorus (lors d'un réplica du suivi), là où plusieurs locuteurs sont présents.



An underwater photograph showing a school of fish swimming over a coral reef. The fish are primarily grey with yellow-tipped tails. The coral is diverse, including branching and soft corals. The water is clear, and the lighting is natural, coming from above.

Perspectives

Connaitre la taille de la population et des individus est fondamental pour la gestion des populations vulnérables, et un élément clé pour le moratoire en vigueur en France. A ce jour, il n'est pas encore possible d'obtenir des informations sur la taille des individus de corbs et la densité réelle, donc sur la biomasse. Chez d'autres espèces il a été montré que la quantification des chorus, permettait d'estimer la taille des agrégations reproductives. Des projets R&D sont nécessaires pour répondre aux questions ouvertes sur l'estimation de la taille des individus et des populations par acoustique passive en couplant différentes techniques de suivi visuelles en plongée, par télémétrie et par acoustique active.

Le suivi par acoustique passive suivant l'approche standardisée et répliquable proposée, ouvre la possibilité d'établir un réseau d'AMP où les résultats sont rapportés et échangés via une plateforme virtuelle. Un tel réseau permettrait de suivre l'évolution des populations au niveau pan-méditerranéen. Combiné au développement des services de traitement automatiques des données et de partage via une plateforme Web, un tel réseau serait alimenté régulièrement sans effort supplémentaire par les gestionnaires.

Ce type de suivis, peut aussi être porté vers d'autres espèces, d'intérêt commercial (comme la daurade et le loup) ou vulnérables. Les mérours font aussi partie des espèces menacées et protégées par un moratoire en Méditerranée française. Le mérour brun (*Epinephelus marginatus*) est également connu pour produire différents types de sons, dont un émis lors des parades nuptiales (Bertucci *et al.*, 2015; Desiderà, 2019) et donc propices pour suivre leur comportement, identifier les sites d'agrégation reproductrice, la saisonnalité, etc. (Desiderà, 2019). Etant donné, que le comportement vocal du mérour brun diffère de celui du corb, le protocole de cartographie devra être adapté.

En plus des enregistrements de sons biologiques, les enregistreurs donnent également accès aux bruits anthropiques et donc à l'activité humaine (e.g., navigation, trafic maritime, essais sonar) sur les sites sensibles. Un suivi par acoustique passive permet aussi de quantifier des pressions humaines et intégrer un niveau d'impact de ces activités sur le comportement d'espèces vulnérables et/ou de sites clés, comme les frayères ou les sites d'agrégation. Cette approche intégrative de suivi de l'état et de la pression est un atout pour la mise en place de mesures de gestion efficaces et effectives, sur le long terme.



© Lorenzo Bramanti

Bibliographie citée

B

Bertucci, F., Lejeune, P., Payrot, J., Parmentier, E., 2015. Sound production by dusky grouper *Epinephelus marginatus* at spawning aggregation sites. J. Fish Biol. 87, 400–421. <https://doi.org/10.1111/jfb.12733>

Bonacito, C., Costantini, M., Picciulin, M., Ferrero, E.A., Hawkins, A.D., 2002. Passive Hydrophone Census of *Sciaena Umbra* (Sciaenidae) in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea, Italy). Bioacoustics 12, 292–294. <https://doi.org/10.1080/09524622.2002.9753726>

C

Chauvet, C., 1991. Le corb ou brown meagre (*Sciaena umbra* - Linnaeus, 1758) quelques éléments de sa biologie, in: Bouderesque, C.F., Avon, M., Gravez, V. (Eds.), Es Espèces Marines à Protéger En Méditerranée. GIS Posidonie, France, pp. 229–235.

Colla, S., Pranovi, F., Fiorin, R., Malavasi, S., Picciulin, M., 2018. Using passive acoustics to assess habitat selection by the brown meagre *Sciaena umbra* in a northern Adriatic Sea mussel farm. J. Fish Biol. 92, 1627–1634. <https://doi.org/10.1111/jfb.13589>

Connaughton, M.A., Taylor, M.H., Fine, M.L., 2000. Effects of fish size and temperature on weakfish disturbance calls: Implications for the mechanism of sound generation. J. Exp. Biol. 203, 1503–1512.

Cottalorda J.-M., Bachet F., Charbonnel E., Casalta E., Gigou A., Daniel B., Harmelin-Vivien H., 2018. Analyse des premières données acquises dans le cadre du Programme de suivi « Corb et Mérou » 2015-2018 – Rapport intermédiaire. Convention Agence Française pour la Biodiversité et ECOMERS-UNS-CNRS. ECOMERS UNS-CNRS publ., Fr. : 34 pp

D

Desiderà, E., 2019. Reproductive behaviours of groupers (Epinephelidae) in the Tavolara-Punta Coda Cavallo Marine protected area (NW Mediterranean Sea).

Desiderà, E., Guidetti, P., Panzalis, P., Navone, A., Valentini-Poirier, C.-A., Boissery, P., Gervaise, C., Di Iorio, L., 2019. Acoustic fish communities: sound diversity of rocky habitats reflects fish species diversity and beyond? Mar. Ecol. Prog. Ser. 608, 183–197. <https://doi.org/10.3354/meps12812>

Di Franco, E., Pierson, P., Di Iorio, L., Calò, A., Cottalorda, J.M., Derijard, B., Di Franco, A., Galvé, A., Guibbolini, M., Lebrun, J., Micheli, F., Priouzeau, F., Risso-de Faverney, C., Rossi, F., Sabourault, C., Spennato, G., Verrando, P., Guidetti, P., 2020. Effects of marine noise pollution on Mediterranean fishes and invertebrates: A review. Mar. Pollut. Bull. 159, 111450. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111450>

Di Iorio, L., Raïck, X., Parmentier, E., Boissery, P., Valentini-Poirier, C.A., Gervaise, C., 2018. 'Posidonia meadows calling': a ubiquitous fish sound with monitoring potential. Remote Sens. Ecol. Conserv. 4, 248–263. <https://doi.org/10.1002/rse2.72>

Dijkgraaf, S., 1947. Ein Töne erzeugender Fisch im Neapler Aquarium. Experientia 3, 493–494. <https://doi.org/10.1007/BF02154563>

G

Gervaise, C., Lossent, J., Di Iorio, L., Boissery, P., 2019. Réseau CALME Caractérisation Acoustique du Littoral Méditerranéen et de ses Ecosystèmes Synthèse des travaux réalisés pour la période [01/01/2015 – 01/08/2018]. Rapp. Sci. Agence l'Eau Rhône, Méditerranée, Corse 1–109.

Grau, A., Linde, M., Grau, A.M., 2009. Reproductive biology of the vulnerable species *Sciaena umbra* Linnaeus, 1758 (Pisces: Sciaenidae). Sci. Mar. 73, 67–81. <https://doi.org/10.3989/scimar.2009.73n1067>

H

Harmelin J.G., 2013. Le mérrou brun et le corb : deux Grands Témoins de 50 ans de protection du milieu marin dans le Parc national de Port-Cros (France, Méditerranée). Scientific Report of Port-Cros national Park, Fr. 27 : 263-277.

Harmelin-Vivien, M., Cottalorda, J.-M., Dominici, J.-M., Harmelin, J.-G., Le Diréach, L., Ruitton, S., 2015. Effects of reserve protection level on the vulnerable fish species *Sciaena umbra* and implications for fishing management and policy. Glob. Ecol. Conserv. 3, 279–287. <https://doi.org/10.1016/J.GECCO.2014.12.005>

Harmelin, J.G., Ruitton, S., 2006. La population de corb (*Sciaena umbra* : Pisces) du parc national de Port-Cros (France), état en 2005 et évolution depuis 1990 : un indicateur halieutique et biogéographique pertinent. Sci. Rep. Port-Cros Natl. Park 22 pp.

I

Di Iorio, L., Bonhomme, P., Michez, N., Ferrari, B., Gigou, A., Panzalis, P., Desiderà, E., Navone, A., Boissery, P., Lossent, J., Cadville, B., Bravo-Monin, M., Charbonnel, E., Gervaise, C., 2020. Spatio-temporal surveys of the brown meagre *Sciaena umbra* using passive acoustics for management and conservation. bioRxiv 2020.06.03.131326. <https://doi.org/10.1101/2020.06.03.131326>

K

Krause, B., 1987. Bioacoustics: habitat ambience in ecological balance. Whole Earth Rev 57, 14–18.

L

Ladich, F., 2018. Acoustic communication in fishes: Temperature plays a role. Fish Fish. 19, 598–612. <https://doi.org/10.1111/faf.12277>

Laplante, J., Gervaise, C., Akhloufi, M., 2021. Fish recognition in underwater environments using deep learning and audio data, in: XIII, SPIE Ocean Sensing and Monitoring.

Le Bot, O., Mars, J.I., Gervaise, C., Simard, Y., 2015. Rhythmic analysis for click train detection and source separation with examples on beluga whales. Appl. Acoust. 95, 37–49. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.02.005>

M

Malfante, M., Mars, J.I., Dalla Mura, M., Gervaise, C., 2018. Automatic fish sounds classification. J. Acoust. Soc. Am. 143, 2834–2846. <https://doi.org/10.1121/1.5036628>

Mooney, T.A., Di Iorio, L., Lammers, M., Lin, T.-H., Nedelec, S.L., Parsons, M., Radford, C., Urban, E., Stanley, J., 2020. Listening forward: approaching marine biodiversity assessments using acoustic methods. R. Soc. Open Sci. 7, 201287. <https://doi.org/10.1098/rsos.201287>

P

Parmentier, E., Di Iorio, L., Picciulin, M., Malavasi, S., Lagardère, J.P., Bertucci, F., 2018. Consistency of spatiotemporal sound features supports the use of passive acoustics for long-term monitoring. Anim. Conserv. 21, 211–220. <https://doi.org/10.1111/acv.12362>

Picciulin, M., Bolgan, M., Codarin, A., Fiorin, R., Zucchetto, M., Malavasi, S., 2013. Passive acoustic monitoring of *Sciaena umbra* on rocky habitats in the Venetian littoral zone. Fish. Res. 145, 76–81. <https://doi.org/10.1016/J.FISHRES.2013.02.008>

Picciulin, M., Calcagno, G., Sebastianutto, L., Bonacito, C., Codarin, A., Costantini, M., Ferrero, E. a., 2012. Diagnostics of nocturnal calls of *Sciaena umbra* (L., fam. Sciaenidae) in a nearshore Mediterranean marine reserve. Bioacoustics 22, 1–12. <https://doi.org/10.1080/09524622.2012.727277>

S

Sueur, J., Farina, A., 2015. Ecoacoustics: the Ecological Investigation and Interpretation of Environmental Sound. Biosemiotics 8, 493–502. <https://doi.org/10.1007/s12304-015-9248-x>

Acronymes

AMP : Aire Marine Protégée

AP : Acoustique Passive

DCSMM : Directive-Cadre Stratégie pour le Milieu Marin

DIRM : Direction Interrégionale de la Mer Méditerranée

GEM : Groupe d'Etude du Mérou

OFB : Office français de La Biodiversité

PAMM : Plans d'Actions Pour le Milieu Marin

PMCB : Parc marin de la Côte Bleue

PNC : Parc national des Calanques

PNMGL : Parc naturel marin du Golfe du Lion

RNMCB : Réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls

TPCC : AMP de Tavolara Punta-Coda Cavallo

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

ZPF : Zones de Protection Fortes

Glossaire

All I-calls : les sons irréguliers du corb.

R-calls : les sons réguliers et stéréotypés du corb émis par les mâles pendant la saison reproductive.

Chorus : phénomène de masse quand beaucoup de corbs vocalisent en même temps, indicateur potentiel de sites de frai.

Bande d'écoute : la gamme fréquentielle (en Hertz), de la plus basse à la plus aigüe, qu'un système d'enregistrement peut mesurer.

Hydrophone : capteur adapté à capter les sons sous l'eau. Il est branché à un enregistreur.

Sensibilité : détermine l'amplitude du signal de sortie de l'hydrophone. Elle est mesurée en dB ref 1V/ μ Pa.

Dynamique : est le ratio entre la valeur d'amplitude plus élevée et plus basse d'un signal enregistré, donnée en nombre de bits.

Pulse : Son impulsionnel, de courte durée. Le son de corb est constitué par une suite de plusieurs pulses avec des caractéristiques spécifiques.

Muscles soniques : muscles dédiés à la production sonore.

Oscillogramme : La représentation graphique de variations d'intensité d'un son (forme d'onde).

Spectrogramme : Représentation d'une bande sonore dans un seul diagramme avec trois paramètres: le temps (x), la fréquence (y), la puissance sonore (intensité de la couleur).

Biophonie : L'ensemble de sons d'origine biologique (en mer : invertébrés, poissons, mammifères).

Geophonie : L'ensemble des sons d'origine naturelle mais non biologique (vent, pluie, tremblement de terres, glace, etc.).

Anthropophonie : L'ensemble des bruits émis par les activités humaines (moteurs, prospections pétrolières, sonars militaires, travaux, etc.).

Locuteur : Individu émettant un ou une série de sons.

La collection MedPAN

La collection MedPAN est une série de publications destinée aux gestionnaires d'Aires Marines Protégées et autres acteurs en Méditerranée. Elle vise à partager des recommandations, des informations pratiques et utiles, des retours d'expérience et des synthèses sur les thèmes clé de la gestion des AMP.

La collection MedPAN est adaptée au contexte méditerranéen. Elle regroupe des publications développées par différents acteurs de la communauté des AMP méditerranéennes sous une charte graphique commune.

La collection MedPAN est une initiative de l'association MedPAN et de plusieurs partenaires dont le SPA/RAC, le WWF, l'UICN Méditerranée, ACCOBAMS, l'Office français de la biodiversité et le Conservatoire du littoral. Elle est éditée par MedPAN, le réseau des gestionnaires d'Aires Marines Protégées en Méditerranée.



Le réseau des gestionnaires d'Aires Marines Protégées en Méditerranée

www.medpan.org