

# Étude de la Fréquentation et de l'Impact de la Plongée par Acoustique (EFIPAC)

*Données de fréquentation des sites de  
plongée et impacts de l'activité sur les  
sites*



## Identification du document

Référence du document	QO.20181018.10.RAP.02A
Donneur d'ordre	OFB et DIRM
Client	OFB et DIRM
Partenaire	SEANEO
Reference du contrat	

PROJET	DOC	CHRONO	VER	IND	CLIENT	ACRO	DATE	TYPE	CLASS
QO.20181018.10	RAP	001	02	A	DIRM	EFIPAC	05/02/2021		DR



Ocean Noise Forecasting Monitoring & Mitigation



Historique du document						
Ver	Ind.	Responsable	Date	Validation	Transmission	Description
01	A	CMT, CRC	27/01/2021	FLT	01/02/2021	Version initiale
02	A	CRC	04/02/2021	FLT	04/02/2021	Prise en compte corrections SEANEO (N Dalias)

#### Citation

J. Chompret, D. Clorennec, N. Soulat , C. Larrouy, N.Dalias, (2021), Étude de la Fréquentation et de l'Impact de la Plongée par Acoustique (EFIPAC), Données de fréquentation des sites de plongée et impacts de l'activité sur les sites , numéro QO.20181018.10.RAP.001.02A, SEANEO / Quiet-Oceans, Perpignan / Brest, France

---

## Table des matières

Chapitre I. Objectifs de l'étude.....	9
Chapitre II. Mesures de la signature acoustique d'un plongeur .....	11
II.1. Protocole de mesures .....	11
II.2. Niveau du bruit perçu .....	14
II.3. Niveau de bruit émis.....	17
Chapitre III. Caractérisation du bruit ambiant sur site.....	18
III.1. Protocole de mesures .....	18
III.2. Bruit large bande .....	19
III.3. Bruit par bande de fréquence.....	20
Chapitre IV. Modélisation d'une activité de plongée.....	22
IV.1. Plateforme de cartographie du bruit sous-marin Quonops©.....	22
IV.2. Description des scénarios descriptifs des activités de plongée .....	22
IV.3. Cartographie sonore des activités de plongée .....	24
Chapitre V. Analyse de l'effet du bruit des plongeurs sur la faune marine .....	25
V.1. Méthodologie .....	25
V.2. Paysage acoustique .....	26
V.2.1. Bruits de la faune marine .....	26
V.2.2. Bruits naturels .....	29
V.2.3. Bruits des activités humaines.....	30
V.3. Fréquentation du site .....	34
V.3.1. Activités de plongée.....	34
V.3.2. Activités biologiques .....	35
V.4. Corrélation entre les différents niveaux de bruits .....	37
V.5. Synthèse .....	40
Chapitre VI. Conclusions et recommandations .....	42

## Liste des figures

Figure 1 : Zone d'étude.....	10
Figure 2 : Emplacement des points de mesures acoustiques. ....	12
Figure 3 : Illustrations des conditions de mesures. ....	12
Figure 4 : Protocole de mesures.....	13
Figure 5 : Niveau sonore reçu sur l'enregistreur fixe. ....	15
Figure 6 : Distance plongeur / enregistreur et niveau sonore dans le 1/3 d'octave 160 Hz.....	16
Figure 7 : Parcours du plongeur et niveau sonore reçu par l'hydrophone fixé à 1 mètre du plongeur de référence. ....	16
Figure 8 : Niveau sonore émis par un plongeur (courbe rose) en fonction des sites B11 et B21, (la courbe bleue donnant le niveau de bruit ambiant).....	17
Figure 9 : Emplacement de la mesure servant à caractériser le bruit ambiant .....	18
Figure 10 : Niveau sonore large bande (de 10Hz à 40kHz).....	19
Figure 11 : Niveau sonore permanent et vitesse du vent. ....	20
Figure 12 : Spectrogramme illustrant les passages réguliers des embarcations.....	20
Figure 13 : Répartition statistique du spectre des niveaux sonores perçus (en gris bruit environnemental prédit par le modèle de Wenz). ....	21
Figure 14 : Principe de Quonops©, système opérationnel global de prédiction du bruit anthropique.....	22
Figure 15 : Répartition des bouées de mouillage.....	23
Figure 16 : Cartographie du bruit en présence d'une activité de plongée le 15/08/2020 (en haut) et empreinte sonore de l'activité de plongée en comparaison du bruit environnemental (à bas). ....	24
Figure 17 : Procédure générale appliquée pour l'analyse et l'interprétation du bruit des plongeurs sur la faune marine.....	25
Figure 18 : Signaux impulsifs émis par des organismes benthiques (29/07/2020 à 00h11 UTC). ....	26
Figure 19 : Corb commun, <i>Sciaena umbra</i> (d'après : Doris / FFESSM).....	27
Figure 20 : Signaux impulsifs émis par du Corb ( <i>Sciaena umbra</i> ) entre 50 et 500 Hz et avec un ICI entre 0,1 et 0,2 sec (I-Calls). Enregistrement du 29/07/2020 à 19h00 UTC. ....	27
Figure 21 : Trains de signaux impulsifs émis par du Corb ( <i>Sciaena umbra</i> ) entre 50 et 500 Hz et une durée entre chaque train de 0,7 à 1 sec (R-Calls). Enregistrement du 29/07/2020 à 19h11 UTC. ....	27
Figure 22 : Deux trains de signaux impulsifs émis par du Corb ( <i>Sciaena umbra</i> ) entre 50 et 600 Hz. Ces trains de signaux impulsifs sont espacés de 0,7 sec (R-Calls). Enregistrement du 29/07/2020 à 05h04 UTC. ....	27
Figure 23: Mérou brun, <i>Epinephelus marginatus</i> (d'après : Doris / FFESSM). ....	28
Figure 24: Signaux transitoires de type « downsweep » avec des harmoniques probablement émis par un mérou brun ( <i>Epinephelus marginatus</i> ) entre 90 Hz et 1 kHz. Enregistrement du 29/07/2020 à 00h13 UTC. ..	28
Figure 25 : Signaux acoustiques biologiques caractérisés par une succession de « downsweeps » émis de 800 à 600 Hz et de 400 à 200 Hz. Enregistrement du 30/07/2020 à 00h10 UTC.....	29
Figure 26 : Signaux acoustiques biologiques caractérisés par deux « downsweeps » émis de 300 à 200 Hz. Enregistrement du 29/07/2020 à 00h57 UTC. ....	29
Figure 27 : Signaux acoustiques biologiques caractérisés par un train de pulses émis entre 50 et 600 Hz sur une durée de 0,3 sec. Enregistrement du 05/08/2020 à 23h50 UTC.....	29
Figure 28 : Bruit généré par la houle de surface, entre 100 Hz et 1,5 kHz. Enregistrement du 3 août 2020 à 10h11 UTC. ....	29
Figure 29 : Signaux impulsifs émis par le benthos (> 1 kHz) et bruit associé au déferlement de l'eau entre 1 et 800 Hz. Enregistrement du 29 juillet 2020 à 04h00 UTC.....	30
Figure 30 : Signaux acoustiques associés à la respiration des plongeurs avec l'observation d'un bruit diffus large bande (20 Hz à 120 kHz) et de signaux transitoires d'intensité plus importante marquant la respiration via le	

détendeur. Bruit de bulles et mouvement d'eau en basses fréquences. Enregistrement du 29 juillet 2020 à 13h08 UTC. .... 31

Figure 31 : Bruit de bulles et mouvement d'eau associé à la respiration des plongeurs. Bruit continu inférieur à 1 kHz. Enregistrement du 30/07/2020 à 08h30 UTC..... 31

Figure 32 : Signaux acoustiques évoquant un bruit d'alarme probablement associé à une montre de plongée. Signaux transitoires à 6 kHz avec des harmoniques jusqu'à 48 kHz. Enregistrement du 31/07/2020 à 13h07 UTC. .... 31

Figure 33 : Signaux acoustiques évoquant un bruit de « grincement » aigu probablement lié à la voix d'un plongeur cherchant à s'exprimer. Signaux transitoires à 400 Hz avec des harmoniques jusqu'à 4 kHz. Enregistrement du 29/07/2020 à 06h53 UTC. .... 32

Figure 34 : Trace d'un navire avec l'observation d'un bruit continu entre 10 Hz et 10 kHz. Enregistrement du 29 juillet 2020 à 10h02 UTC..... 32

Figure 35 : Signaux acoustiques émis par un sondeur à 55 kHz. Enregistrement du 1<sup>er</sup> août 2020 à 10h02 UTC. .... 33

Figure 36 : Bruit probablement associé à un jeté d'ancre avec l'impact à la surface de l'eau suivi par le déroulement de l'ancre dans la colonne d'eau. Bruit généré entre 0 et 30 kHz. Enregistrement du 29 juillet 2020 à 08h54 UTC..... 33

Figure 37: Bruit généré par le passage lointain d'un jet-ski, caractérisé par des signaux transitoires en basses fréquences (100 à 750 Hz). Spectrogramme perturbé par des raies parasites engendrées par le système de mesure (fréquences 600, 1000 et 1600 Hz). Enregistrement du 31 juillet 2020 à 10h55 UTC. .... 33

Figure 38 : Signaux transitoires anthropiques aux alentours de 3 kHz associés à des bruits de mouillages présents sur site (amarrages réservés aux navires). Enregistrement du 1<sup>er</sup> août 2020 à 23h37 UTC. .... 34

Figure 39 : Statistique horaire de la sonore reçue (dB ref 1µPa<sup>2</sup>) pour le 50<sup>ième</sup> percentile dans la bande d'émission préférentielle des organismes benthiques (3,5 et 4,5 kHz) sur l'ensemble de la période d'étude (7 juillet au 7 août 2020)..... 37

Figure 40 : Diagramme croisé sur les fréquences d'émissions du bruit anthropique et des signaux acoustiques de la faune marine. La bande d'émission des signaux acoustiques des poissons (50 Hz à 1 kHz) se confond avec celle du bruit généré par les navires dans la colonne d'eau. Ce phénomène peut donner lieu à un effet de masquage. .... 39

Figure 41 : Niveau sonore reçu à l'hydrophone (dB ref 1µPa<sup>2</sup> tiers d'octave) entre le 29 juillet et 5 août 2020, avec un agrandissement sur la journée du 29 juillet 2020 (période météo favorable aux activités de plongée). .... 40

Figure 42 : Niveau sonore reçu à l'hydrophone (dB ref 1µPa<sup>2</sup> tiers d'octave) entre le 29 juillet et 5 août 2020, avec un agrandissement sur la journée du 2 août 2020. Début d'une météo défavorable en milieu de cette journée avec une baisse des activités de plongée (un seul créneau détecté sur une courte durée). .... 41

Figure 43 : Niveau sonore reçu à l'hydrophone (dB ref 1µPa<sup>2</sup> tiers d'octave) entre le 29 juillet et 5 août 2020, avec un agrandissement sur la journée du 03 août 2020 (période météo défavorable aux activités de plongée). .... 41

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Positionnement de l'enregistreurs acoustique.....	12
Tableau 2 : Caractéristiques de l'enregistreur Porpoise. ....	14
Tableau 3 : Caractéristiques de l'enregistreur Iclisten. ....	14
Tableau 4 : Caractéristiques de l'enregistreur SM3M.....	18
Tableau 5 : Positionnement de l'enregistreurs acoustique.....	19
Tableau 6 : Statistique des niveaux sonores en fonction de la période.....	20
Tableau 7 : Synthèse sur la présence acoustique des plongeurs sur site entre le 29 juillet et 5 août 2020.....	35
Tableau 8: Synthèse sur la présence acoustique des activités biologiques sur site entre le 29 juillet et 5 août 2020.....	36
Tableau 9 : Synthèse générale sur la présence des activités biologiques au niveau de la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls (RNMCB) mises en regard avec la présence des activités de plongée et le trafic induit entre le 29 juillet et 5 août 2020.....	38

---

## Lexique

L'acoustique sous-marine est un domaine scientifique de la mécanique des fluides. Elle utilise son propre vocabulaire et ses propres unités. Une définition des principaux termes utilisés est présentée dans ce lexique afin de faciliter la compréhension du document par le lecteur.

### Acoustique passive

La mesure du bruit ambiant est réalisée sans générer de bruit parasite qui puisse affecter l'observation du chorus sonore.

### AIS

*Automated Identification System* est un système présent à bord des navires qui transmet à un réseau d'observations leurs identifications et leurs localisations en temps quasi-réel. Différentes stations réceptrices, mis en œuvre par les services de l'Etat ou des sociétés privées permettent ainsi de surveiller le trafic maritime en quasi-temps-réel. La couverture maximale peut atteindre 30 miles nautiques des côtes en fonction des conditions climatiques.

### Benthique

Ce terme correspond aux espèces animales et végétales vivant à proximité du fond de la mer (par opposition à pélagique).

### Chorus sonore

Le chorus sonore représente la diversité des sources sonores présentes dans le milieu marin. Il se compose de trois natures de bruits, les bruits naturels (ou géophonie), les bruits biologiques (ou biophonie) et les bruits d'origine humaine (anthropophonie).

### Décibel

Le décibel (dB) est une mesure du niveau de pression acoustique, une quantité qui se trouve à la base de la perception du volume sonore. Cette échelle logarithmique décrit un multiple d'une valeur de référence. Lorsque la puissance sonore double, la valeur en décibel augmente de 3 dB. En acoustique sous-marine, le niveau de référence du décibel est  $1 \mu\text{Pa}$  (micro Pascal).

### Empreinte sonore

Une empreinte sonore représente la distribution du niveau sonore d'une source de bruit qui émerge au-dessus du bruit existant lorsque cette source est absente.

### Energie acoustique reçue

L'énergie reçue est égale au carré du signal de pression acoustique reçu. Elle s'exprime en dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2$ .

### Fréquence sonore

La fréquence correspond au nombre d'oscillations de la pression sonore en une seconde. Les sons graves ont une fréquence basse, les sons aigus ont une fréquence élevée. L'unité de la fréquence est l'Hertz (Hz). A titre d'illustration, l'oreille humaine ne perçoit que les fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz, bien que la limite supérieure diminue généralement avec l'âge. Les espèces sous-marines ont un spectre auditif différent.

### Gabarit de bruit

Il s'agit du niveau de pression ou d'énergie sonore émis par une source à un mètre de distance, décrit en fonction de la fréquence.

### Hydrophone

Un hydrophone est un microphone destiné à être utilisé sous l'eau. Il convertit une variation de pression en variation de tension électrique permettant ainsi l'enregistrement de la pression acoustique en fonction du temps.

### Octave

Une octave est l'intervalle séparant deux sons dont la fréquence fondamentale de l'un vaut le double de la fréquence de l'autre. Un tiers d'octave est une fraction d'octave. La norme américaine American National Standard Institut (ANSI S1.11 2004) définit les fréquences centrales et les caractéristiques des filtres servant à les distinguer.

### Percentile, ou centile, quantile

Un percentile correspond à la proportion du temps et de l'espace pour lequel le bruit dépasse un niveau donné. Dans le cas de cette étude, un percentile N donne donc le niveau de pression acoustique minimum qui se mesurerait avec une probabilité de N% dans la zone géographique et la période de temps considérée.

Cette notion est très répandue, même dans la vie de tous les jours. À titre d'exemple, les carnets de santé de chaque individu présentent des courbes de répartition du poids de la population infantile en fonction de l'âge en percentiles. Par exemple, il est possible de voir, pour chaque âge, « le poids moyen du dernier percentile », c'est-à-dire le poids moyen des 10 % des enfants les plus lourds, ou encore, le poids moyen des 5 % des enfants les plus légers. Le 50<sup>ième</sup> percentile représente quant à lui le poids médian, c'est-à-dire le poids de 50% des enfants d'un même âge.

### Pression acoustique émise

La pression acoustique émise par une source de bruit est l'amplitude du signal qui serait généré à un mètre de cette source si celle-ci était ponctuelle et isotrope. Cette pression peut être exprimée en valeur instantanée, valeur moyenne, valeur efficace, ou en valeur maximale. Elle s'exprime en dB réf. 1µPa @1m.

### Pression acoustique reçue

La pression acoustique reçue est l'amplitude du signal acoustique tel qu'il peut être mesuré sur la bande de fréquences de réception d'un hydrophone à une distance donnée de toute source sonore. Cette pression peut être exprimée en valeur instantanée, valeur efficace, ou en valeur maximale. Elle s'exprime en dB réf. 1µPa.

### Quantile

Voir percentile.

### Spectrogramme

Un spectrogramme est le résultat d'un traitement du signal acoustique qui permet la visualisation de ce signal en fonction du temps et de la fréquence. Cette représentation du signal offre des possibilités intéressantes quant à son analyse.

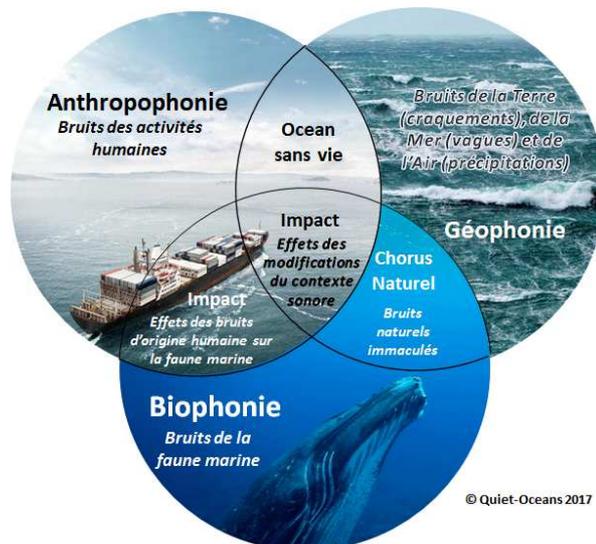
## Chapitre I. Objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude réalisée par SEANEO et Quiet-Oceans, en partenariat avec la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls (RNMCB), est de faire progresser la connaissance de la fréquentation par les plongeurs d'un site de plongée de la Réserve Naturelle et de son impact sur la biodiversité par la mise en œuvre de moyens d'acoustique passive et de modélisation du bruit sous-marin. Plus particulièrement, cette étude vise à :

- Etudier la fréquentation par les plongeurs au niveau du Cap l'Abeille et de sa zone de mouillages organisés ;
- Etudier l'impact de ces activités de plongées sur les habitats et la faune sous-marines des sites choisis ;
- De définir une méthodologie de modélisation acoustique des activités de plongée afin d'en permettre la modélisation et ainsi d'en évaluer l'impact en tout point en mer ;
- De proposer des mesures de suivi, de sensibilisation, de concertation et de gestion de la plongée au sein de la RNMCB.

Le bruit sous-marin est un véritable chorus sonore où des bruits de différentes natures et origines se mélangent (Pijanowski, 2011) :

- Les bruits naturels ou géophonie regroupent les bruits issus des craquements de la Terre, des déplacements des sédiments marins, du déferlement des vagues, des précipitations, etc. ;
- Les bruits biologiques ou biophonie regroupent les bruits d'origine biologique générés par la faune marine ;
- Les bruits anthropiques, ou anthropophonie, sont les bruits d'origine humaine générés par les activités maritimes.



Tous ces bruits interagissent les uns avec les autres, se dominant les uns par rapport aux autres pour former le contexte sonore d'une aire d'étude. L'ensemble des sources sonores contribue au bruit ambiant avec une prédominance très variable en fonction de la fréquence, des conditions environnementales, des activités humaines et du contexte local.

Aussi, afin d'atteindre les objectifs de cette étude, le projet a mis en œuvre :

- L'instrumentation d'un site de plongée pour en déterminer la fréquentation par les plongeurs et son impact sur la faune et les habitats marins ;
- La modélisation des impacts des activités de plongée selon différents scénarios.

L'analyse des données recueillies a permis de caractériser la signature acoustique d'un ou plusieurs plongeurs (Chapitre II) et de caractériser le bruit ambiant existant sur le site (Chapitre III).

Un scénario fictif d'activité de plongée a permis de réaliser une modélisation et une cartographie de l'empreinte sonore générée dans des configurations réalistes sur le site (Chapitre IV). Les données d'acoustique passive recueillies pendant un mois de mesures ont permis d'analyser l'activité biologique avant, pendant et après des événements de plongée observés sur une période significative de 8 jours (Chapitre V) et ainsi d'établir des recommandations (Chapitre VI).

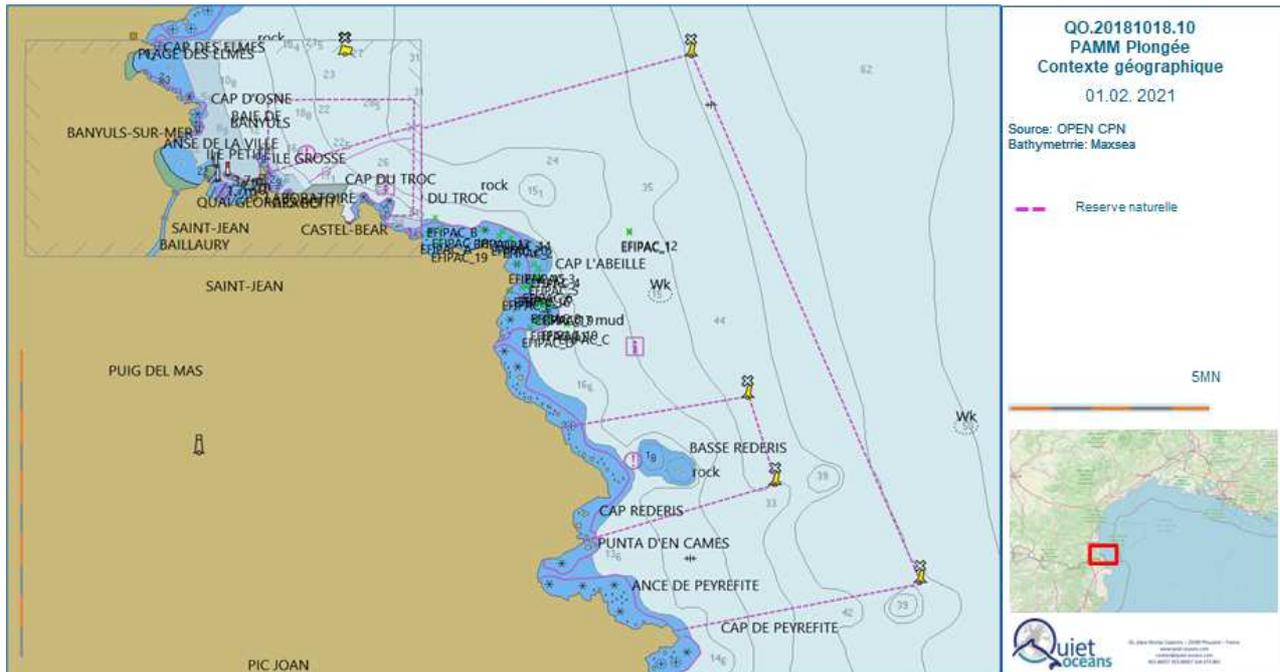


Figure 1 : Zone d'étude.

## Chapitre II. Mesures de la signature acoustique d'un plongeur

L'objectif de ce chapitre est de caractériser la signature acoustique d'un ou plusieurs plongeurs lors d'une activité courante. Ce chapitre se base sur une campagne de mesure spécifique réalisée le 7 juillet 2020 au sein de la Réserve Naturelle Marine à proximité de deux bouées de mouillage.

### II.1. Protocole de mesures

Durant la journée du 7 juillet 2020, une campagne de mesures spécifiques a été réalisée en collaboration avec SEANEO et les plongeurs de la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls (RNMCB) afin d'établir les caractéristiques acoustiques engendrées par une activité de plongée sous-marine. Dans la réserve, deux sites de déploiements ont été définis afin d'analyser la variabilité en fonction des conditions de site (nature du fond en particulier). Les deux emplacements se situent à proximité des bouées de mouillage B11 et B21 (Figure 2). A ces emplacements, un enregistreur acoustique autonome est déployé à une hauteur de 6 m, par rapport au fond, sur une ligne de mouillage (Tableau 1). Une palanquée de plongeurs (tantôt un, tantôt trois plongeurs) effectue deux allers / retours depuis l'enregistreur acoustique sur une distance d'éloignement de 50 m et selon deux directions bien distinctes (Figure 4). Un enregistreur acoustique supplémentaire est fixé à un mètre du plongeur de référence afin capter, au cours du déplacement et à proximité immédiate, les variations de bruit émises par le plongeur.

L'immersion des plongeurs se situe à mi-hauteur d'eau durant toutes ces radiales de déplacement. Ce protocole est effectué dans un premier temps à proximité du sites B11 puis du site B21.

En complément, un plongeur non équipé suit en surface la palanquée afin de la localiser via GPS. Cette donnée de localisation permet de corrélérer la distance séparant l'enregistreur acoustique au plongeur au niveau de bruit perçu. Ce plongeur effectue peu de mouvement afin de ne pas interférer avec les bruits de la palanquée.

La Figure 3 illustre le moyen nautique utilisé pour le déploiement de l'enregistreur acoustique ainsi que les plongeurs. Durant cette journée, les conditions de vent et de houle engendrent un bruit de fond significatif et peuvent ainsi limiter la distance maximale de perception du bruit du plongeur.

L'enregistreur acoustique fixe déployé pour cette campagne de mesure est un système Porpoise commercialisé par la société RS AQUA, dont les caractéristiques techniques sont détaillées dans le Tableau 2. L'enregistreur acoustique supplémentaire fixé à un mètre sous le plongeur de référence est fourni par la société IcListen. Cet enregistreur compact n'entrave pas la progression du plongeur et ne modifie pas l'activité du plongeur. Les caractéristiques de cet enregistreur sont détaillées dans le Tableau 3.



Figure 2 : Emplacement des points de mesures acoustiques.

Navire support



Mise à l'eau des plongeurs



Conditions de mer



Figure 3 : Illustrations des conditions de mesures.

Tableau 1 : Positionnement de l'enregistreurs acoustique.

	Latitude	Longitude	Hauteur / fond
<b>A proximité de B11</b>	42° 28.4161' N	003° 09.4200' E	6 m
<b>A proximité de B22</b>	42° 27.6570' N	003° 09.6295' E	6 m

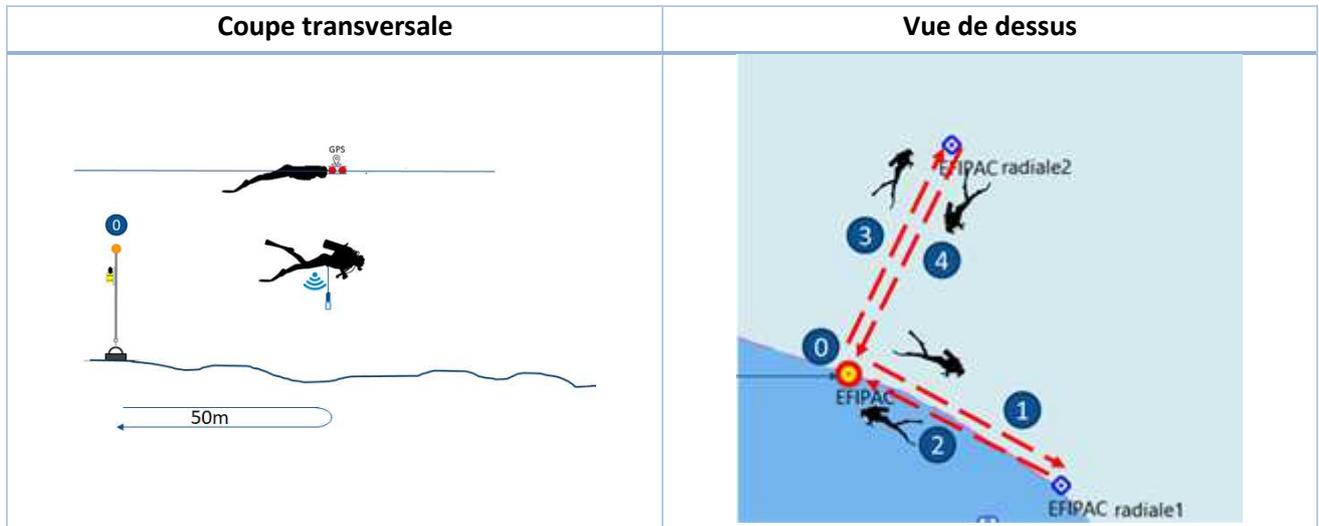


Figure 4 : Protocole de mesures.

Tableau 2 : Caractéristiques de l'enregistreur Porpoise.

Hydrophone & Recorder	Porpoise (RS AQUA)	
Gamme de fréquences	10Hz à 160kHz	
Fréquence maximale d'échantillonnage	384 kHz	
Sensibilité hydrophonique	-165 dB re: 1V/μPa	
Gain	0 dB	
SPL max	167 dB re: 1V/μPa	
SPL min	66 dB re: 1V/μPa	
Format des fichiers audio	Wav	
Autonomie	70 heures	
Longueur	229 mm	
Diamètre	70 mm	
Poids	1.2 kg	
Immersion maximale	500 m	
Plage de température de fonctionnement	-10°C to 50°C	

Tableau 3 : Caractéristiques de l'enregistreur Iclisten.

Hydrophone & Recorder	SCW 1985 (IcListen)	
Hydrophone	Omnidirectionnel	
Gamme de fréquences	10Hz à 180kHz	
Fréquence d'échantillonnage maximum	512 kHz	
Sensibilité	-170.4 dB re: 1V/μPa	
Gain	NA	
Format des fichiers audio	Wav	
Autonomie de mesure continue	10 heures	
Longueur	267 mm	
Diamètre	45 mm	
Poids	0,3 kg	
Profondeur maximale de fonctionnement	200 m	
Gamme de température de fonctionnement	-20°C à 50°C	

## II.2. Niveau du bruit perçu

En tenant compte des caractéristiques de chaque enregistreur acoustique, le niveau sonore reçu est calculé pour chaque tiers d'octave dans la bande de 10 Hz à 100 kHz par intégration du signal sur une durée de 10 secondes et permet ainsi le calcul du niveau sonore large bande tel qu'illustré sur la Figure 5. Cette figure montre pour chaque zone de mesure (B11 et B12), le niveau sonore reçu en fonction de l'activité (radiales des plongeurs ou bruit existant). Le niveau de bruit ambiant constaté sur site est de l'ordre de  $118 \pm 2$  dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2$ . Il est plus intense de l'ordre de 10 dB aux valeurs couramment observées sur d'autres sites. Ce niveau peut s'expliquer par les conditions environnementales (vent et vagues) générant un bruit de fond environnemental.

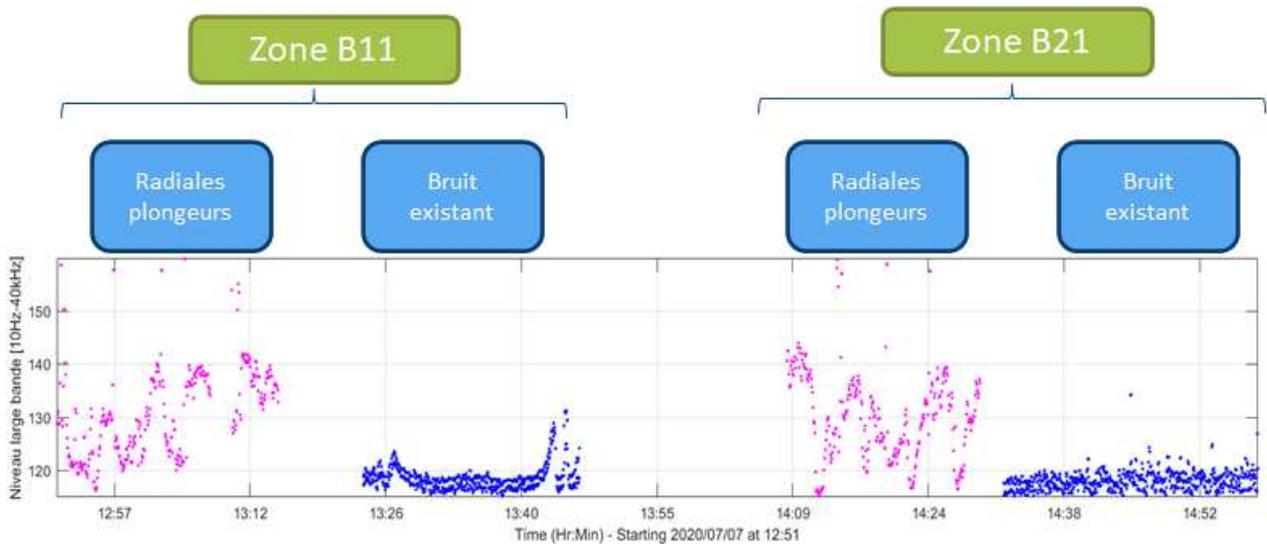
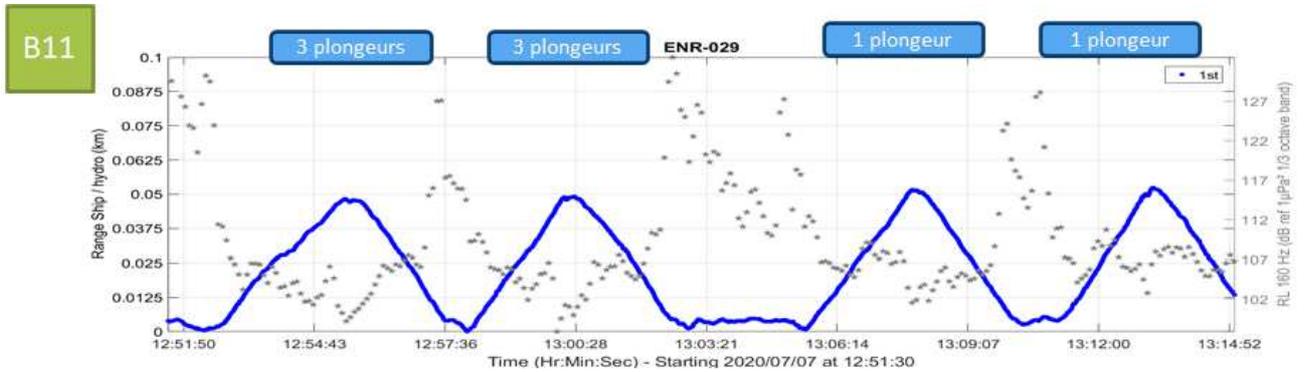


Figure 5 : Niveau sonore reçu sur l'enregistreur fixe.

Comme le montre les niveaux mesurés lors des radiales des plongeurs (en magenta sur la Figure 5), les plongeurs engendrent une augmentation de bruit inversement proportionnelle à la distance séparant l'enregistreur du plongeur. Durant ces phases de mesures, le bruit perçu est au moins égal au bruit ambiant, signifiant donc que l'activité de plongeur n'émerge pas du bruit existant. Au maximum, le bruit perçu atteint la valeur de 140 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2$  correspondant aux très courtes distances séparant l'enregistreur du plongeur. Les niveaux supérieurs observés correspondent aux chocs provoqués par le plongeur lors de son contact avec la ligne de mouillage de l'enregistreur acoustique tels que prévus dans le protocole de mesure. Ces dernières données, non représentatives de l'activité, ne sont pas exploitées pour l'estimation du niveau sonore émis. De cette courbe, dans ces conditions environnementales de mesure, la distance maximale de perception peut donc être estimée à 50 m autour d'un plongeur.

En B11 et B21, la distance séparant l'hydrophone de l'enregistreur acoustique (courbe en bleu) est corrélée au niveau sonore perçu dans le tiers d'octave 160 Hz (courbe en gris). A chaque rapprochement du plongeur, le niveau sonore augmente pour être maximum pour une distance nulle (Figure 6). Par contre, ces courbes ne mettent pas en évidence une relation évidente entre le nombre de plongeurs (3 ou 1) et le niveau de bruit perçu.

En complément, la Figure 7 confirme l'élévation du niveau sonore large lorsque le plongeur de référence se trouve en mouvement. Ce niveau est quasi-constant car l'hydrophone se situe en permanence à un mètre du plongeur de référence. Le niveau large bande constaté est proche de  $134\pm 2$  dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2$ .



Bruit plongeur  
Distance plongeur / hydrophone

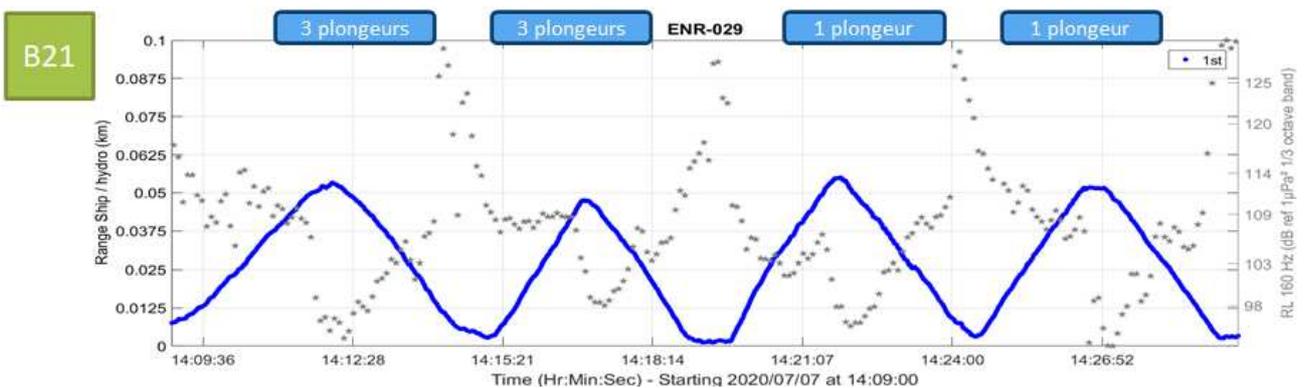


Figure 6 : Distance plongeur / enregistreur et niveau sonore dans le 1/3 d'octave 160 Hz.

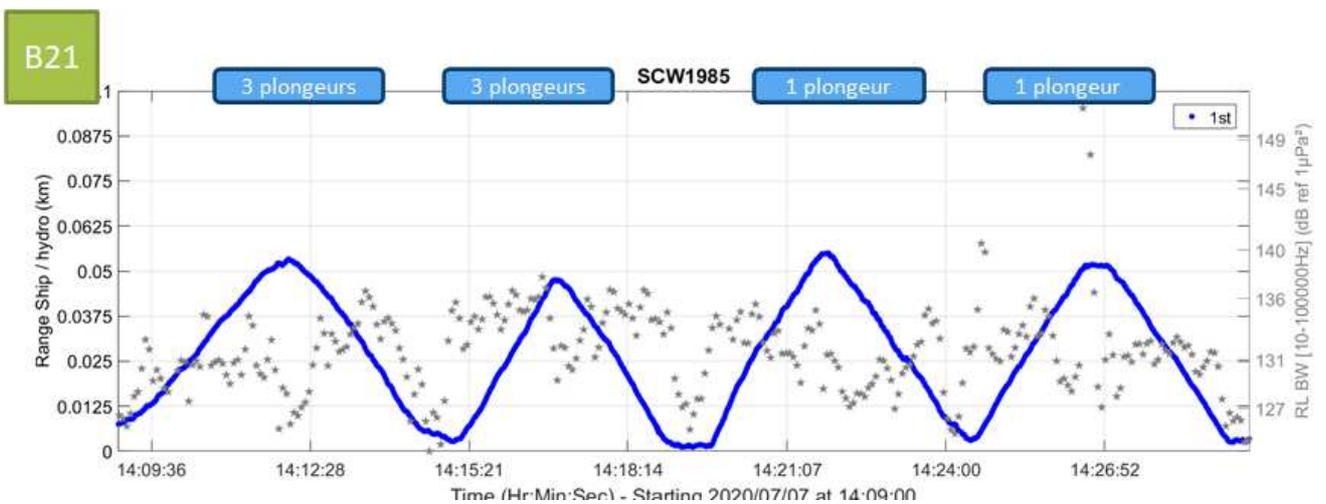


Figure 7 : Parcours du plongeur et niveau sonore reçu par l'hydrophone fixé à 1 mètre du plongeur de référence.

### II.3. Niveau de bruit émis

A partir de l'ensemble des données collectées en phase de plongée en fonction de la distance séparant l'hydrophone du plongeur, un gabarit de plongeur médian a été estimé dans la bande 10 Hz à 100 kHz pour chaque site de mesure. Ce gabarit montre une émission maximale à 25 Hz avec un niveau émis de l'ordre de 120 dB réf.  $1\mu\text{Pa}/\text{Hz}@1\text{m}$  engendré par le mouvement du plongeur et les bulles de respiration. Les mesures en B11 montrent un accroissement significatif du niveau émis autour de la fréquence de 70 kHz représentatif des émissions sonores des bulles. A titre de comparaison, le niveau de bruit existant est matérialisé par les courbes bleues sur chaque graphique. Sur les deux sites, les contributions au bruit existant des organismes benthiques sont du même ordre de grandeur dans la bande 2 à 50 kHz au niveau émis par le plongeur. Sur le site B21, durant ces mesures, une contribution aux basses fréquences (10 à 100 Hz) est prépondérante.

Après intégration de l'ensemble des fréquences, le niveau sonore émis par un plongeur en activité courante est de  $134\pm 2$  dB ref  $1\mu\text{Pa}^2$ . Il n'a pas été observé de variations significatives permettant de conclure quant à l'influence du nombre de plongeurs dans la palanquée.

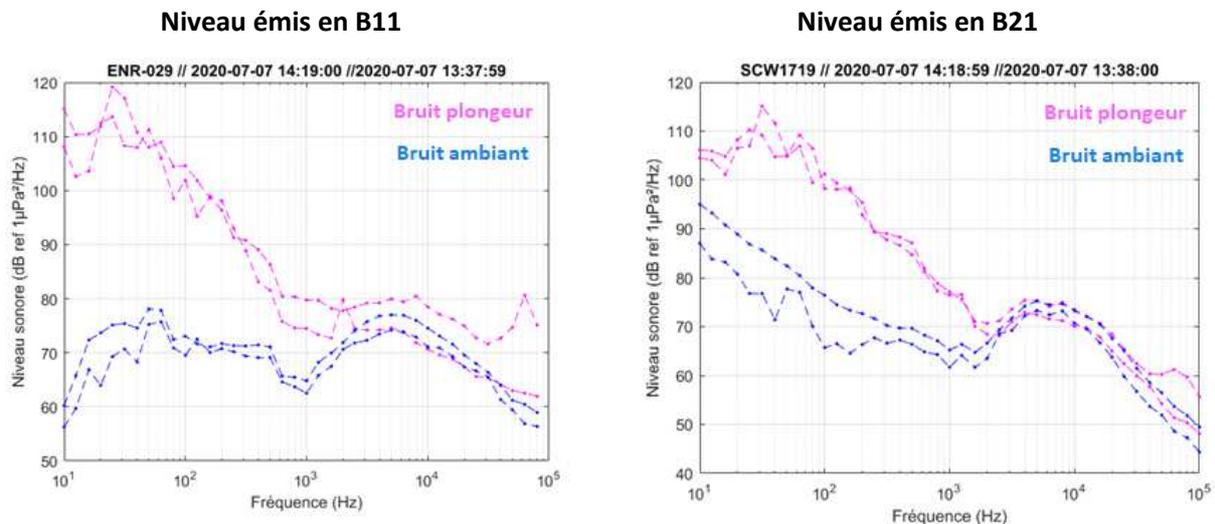


Figure 8 : Niveau sonore émis par un plongeur (courbe rose) en fonction des sites B11 et B21, (la courbe bleue donnant le niveau de bruit ambiant).

## Chapitre III. Caractérisation du bruit ambiant sur site

Dans ce chapitre, en complément du bruit émis par un plongeur, l'étude acoustique a pour objectif de caractériser le bruit existant dans la Réserve Naturelle Marine. Pour ce faire, un système acoustique passif autonome est ainsi déployé pendant 32 jours au large du Cap d'Abeille du 8 juillet au 10 août 2020.

### III.1. Protocole de mesures

A la fin de la mise en œuvre des mesures spécifiques permettant de caractériser le bruit du plongeur, un système d'acoustique passive autonome longue durée a été déployé dans la colonne d'eau au large du Cap d'Abeille pendant une durée de 32 jours (Figure 9) (Tableau 4). L'enregistrement est effectué en continu. Le Tableau 5 synthétise l'ensemble des informations quant au positionnement et aux données collectées. L'objectif d'un tel système est de capter l'ensemble de la diversité sonore présente à cet emplacement ainsi que la diversité temporelle.

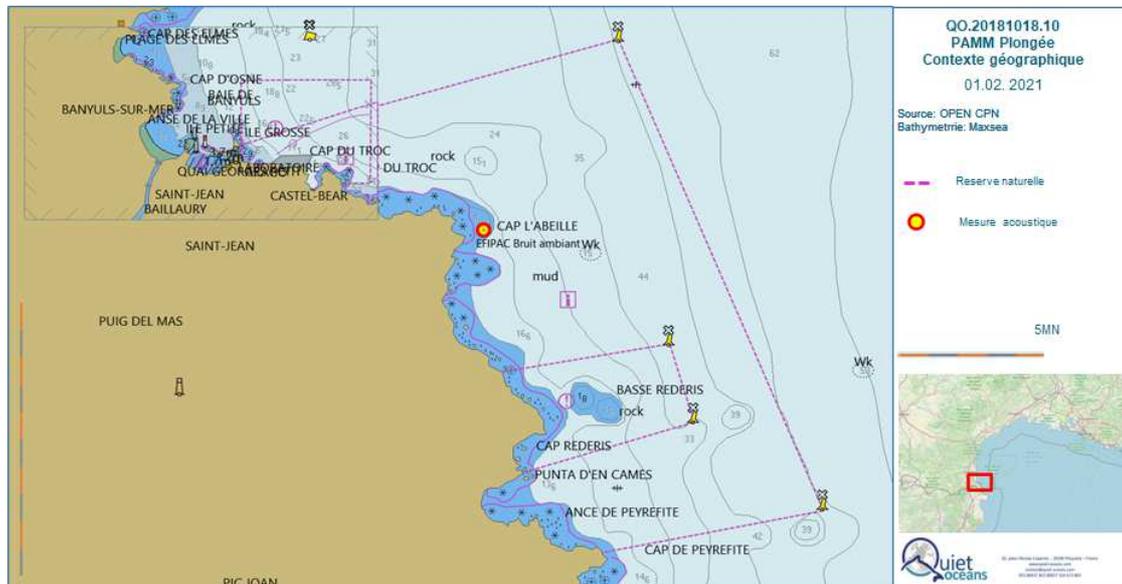


Figure 9 : Emplacement de la mesure servant à caractériser le bruit ambiant

Tableau 4 : Caractéristiques de l'enregistreur SM3M.

Enregistreur	SM3M (ENR-017)	
Constructeur	Wildlife Acoustics	
Hydrophone	HTI99HF	
Bande de fréquence	10Hz-180kHz	
Fréquence d'échantillonnage maximum	384 kHz	
Sensibilité	-165 dB re: 1V/μPa	
Gain	12 dB	
Résolution	16 bits	
Autonomie de mesure en continu	Minimum 30 jours	
Profondeur maximale opérationnelle	200 m	

Tableau 5 : Positionnement de l'enregistreurs acoustique.

<b>Emplacement</b>	Au large du Cap d'Abeille	
<b>Latitude</b>	42° 28.5980' N	
<b>Longitude</b>	003° 09.4302' E	
<b>Hauteur / fond</b>	6m	
<b>Date de début</b>	08/07/2020	
<b>Date de fin</b>	10/08/2020	
<b>Durée</b>	32 jours	
<b>Duty cycle</b>	100%	
<b>Qté de donnée (Go) (FLAC)</b>	967	

### III.2. Bruit large bande

Le niveau sonore est estimé dans la bande de fréquence de 10 Hz à 40 kHz par intégration du signal sur une période de 10 secondes. La Figure 10 montre l'évolution du niveau sonore large bande en fonction du temps et en particulier en fonction des périodes diurnes et nocturnes. En effet, les périodes diurnes mettent en évidence des élévations ponctuelles du niveau de bruit pouvant atteindre ponctuellement 147 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2$  au maximum et sont relatives aux passages de navires à proximité immédiate de l'hydrophone. Après identification des signatures des navires, ces petites embarcations ont engendré en moyenne 42 périodes quotidiennes de durée unitaire inférieure à 5 minutes dont l'émergence acoustique est à minima 5dB (maximum 20 dB) au-dessus du bruit permanent. Le bruit permanent est défini comme le bruit de fond conditionné principalement par les conditions naturelles et biologiques. Ainsi, la Figure 11 illustre sur ce site la forte corrélation entre le bruit permanent à la fréquence de 80 Hz et la vitesse du vent. Le vent peut ainsi engendrer une variation du bruit permanent de l'ordre de 8 dB.

La Figure 12 montre un spectrogramme illustratif des passages fréquents des navires sur une période d'une heure en phase diurne (ici 13 passages en une heure). Acoustiquement, ces embarcations engendrent une émergence du bruit sur l'ensemble des fréquences.

Durant les phases nocturnes, les embarcations sont systématiquement absentes du site mais durant cette phase, les organismes benthiques augmentent leur production sonore par accroissement de leurs activités. Ainsi, le bruit permanent moyen subit une augmentation de +2.8 dB (Tableau 6).

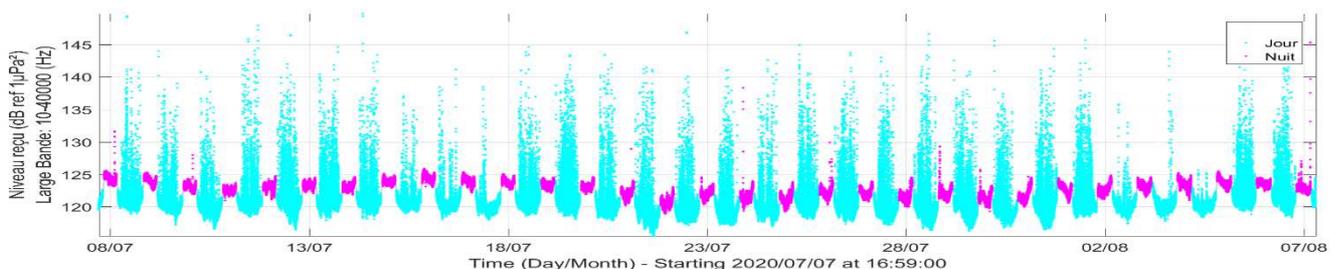


Figure 10 : Niveau sonore large bande (de 10Hz à 40kHz).

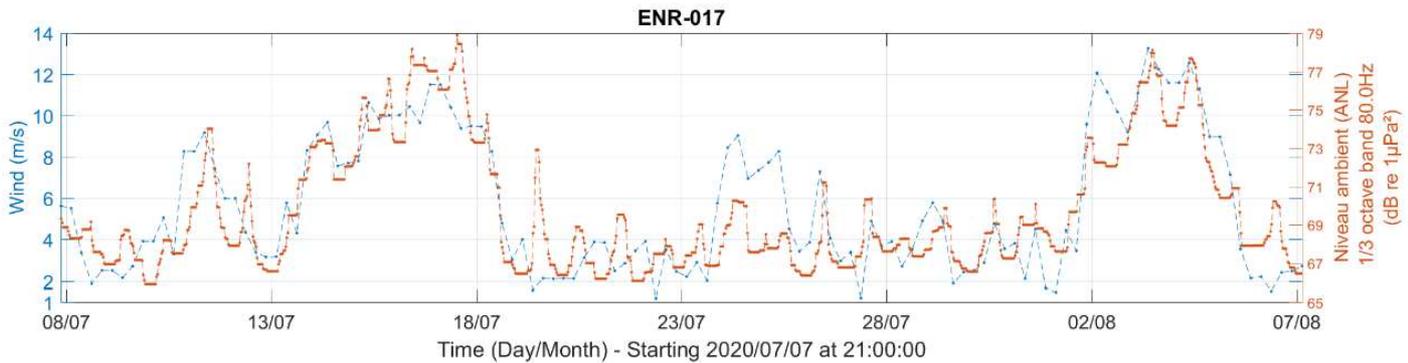


Figure 11 : Niveau sonore permanent et vitesse du vent.

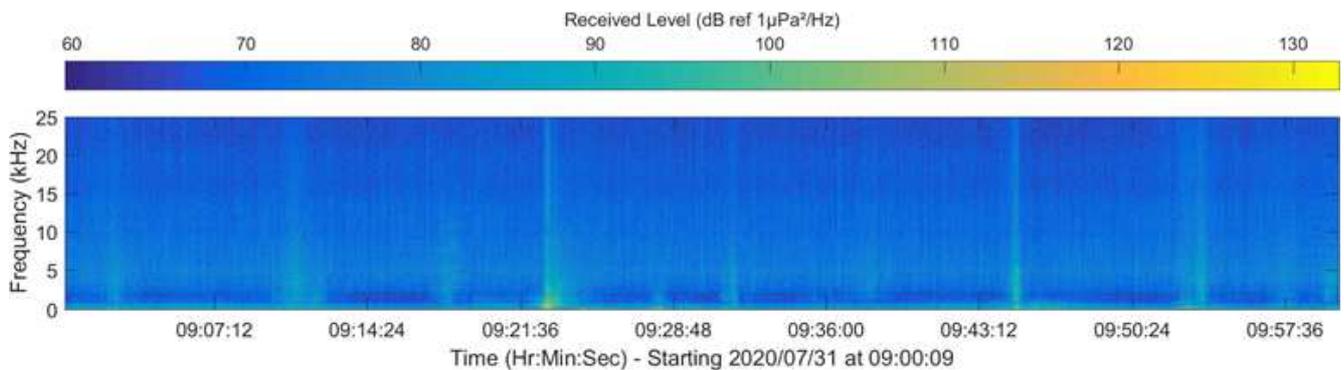


Figure 12 : Spectrogramme illustrant les passages réguliers des embarcations.

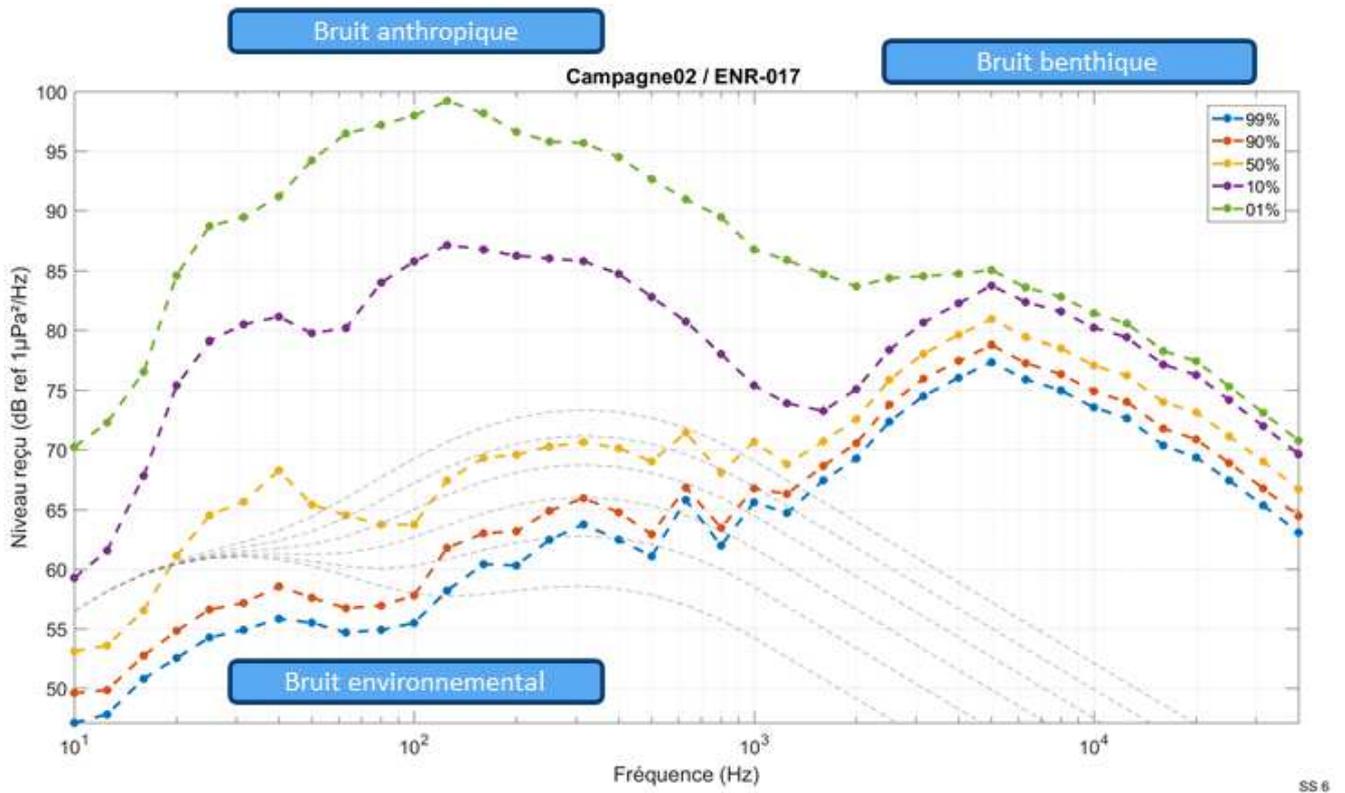
Tableau 6 : Statistique des niveaux sonores en fonction de la période.

	Percentile (%)								
	Courant				Médian				Rare
(dB ref 1µPa <sup>2</sup> )	100	99	90	75	50	25	10	1	0
Toute la journée	115,5	117,7	119,0	120,0	121,1	122,9	123,8	127,5	149,8
Jour	115,5	117,5	118,6	119,4	120,2	121,0	122,1	129,4	149,8
Nuit	118,9	120,2	121,2	122,0	123,0	123,6	124,2	125,0	145,3

### III.3. Bruit par bande de fréquence

L'analyse en fréquence permet une description plus fine des contributions en fonction des bandes de fréquence. Cette analyse est réalisée de manière statistique à partir de l'ensemble des données sur la période. Sur ce site, la composante benthique (entre 1,5 et 40 kHz) est présente continuellement avec un niveau médian de 80 dB réf. 1µPa<sup>2</sup>/Hz à la fréquence de 5kHz. Dans cette bande, le bruit d'origine benthique domine de 25 dB le bruit naturel prédit par le modèle de Wenz (Wenz, 1962) (courbes grises sur la figure). Aux fréquences inférieures à 1,5 kHz, le bruit est majoritairement issu de la composante naturelle (percentiles entre 100 et 50%), donc principalement des conditions de vent comme étudié dans le paragraphe précédent. Pour les percentiles plus faibles (de 10 à 0%), les passages des navires induisent des émergences allant jusqu'à 25 à 33 dB en particulier pour la fréquence 125 Hz. Cette fréquence spécifique fait partie des deux fréquences utilisées

comme indicateur de bruit anthropique dans le cadre de l'évaluation du descripteur 11 de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM).



## Chapitre IV. Modélisation d'une activité de plongée

A partir des résultats obtenus dans les chapitres précédents (bruit du plongeur et bruit existant) et afin de prendre en compte un contexte réaliste d'usage du site de la Réserve Naturelle Marine par les activités de plongée, une modélisation acoustique d'un scénario fictif a été établie à l'aide de la plateforme Quonops Online Services utilisant le système de prévision du bruit Quonops ©.

### IV.1. Plateforme de cartographie du bruit sous-marin Quonops©

Afin de répondre à la question du contrôle du bruit ambiant, notamment pour la mise en œuvre de la Directive Cadre Stratégie du Milieu Marin, ce système opérationnel global de prédiction du bruit anthropique a été conçu à l'image des systèmes de prévision météorologique. Quonops® combine des données environnementales en temps-réel à des informations humaines en temps-réel et intègre des mesures acoustiques en temps-réel pour produire, en fonction du temps, les champs acoustiques sous-marins tridimensionnels en résultant. Quiet-Oceans a en effet démontré que, mises ensemble, des technologies matures et émergentes (comme le calcul parallèle, la modélisation sous-marine, les communications satellites, etc.) permettent d'envisager le développement d'une plateforme opérationnelle, en temps réel et globale de monitoring et de prédiction acoustique anthropogénique. Le système a été pensé pour couvrir la plupart des bassins et activités. La version actuelle du système vise à livrer un service de cartographie à la pointe des possibilités techniques et scientifiques.

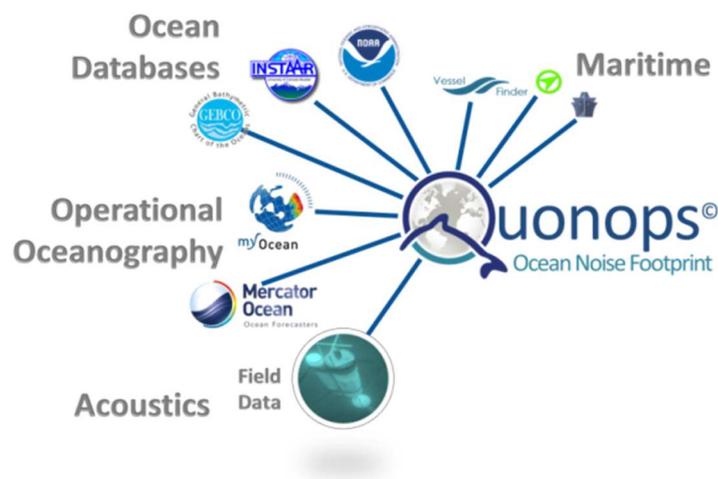


Figure 14 : Principe de Quonops©, système opérationnel global de prédiction du bruit anthropique.

### IV.2. Description des scénarios descriptifs des activités de plongée

Dans le cadre de cette étude, des scénarios fictifs mais réalistes ont été définis afin d'être cartographiés par Quonops© et d'en déduire des mesures de gestion appropriées. Le scénario proposé se base sur la localisation des différentes bouées de mouillage actuellement présentes dans la Réserve Naturelle Marine (Figure 15). A partir de ces localisations, un tirage aléatoire a été réalisé pour décrire les plongées sur le site. Ce tirage prend en compte :

- Une distance entre la palanquée et la bouée de mouillage de 100 m ;
- Une direction de cette palanquée par rapport à la bouée de mouillage comprise entre 45° et 90° (soit le secteur Nord-Est)
- Un nombre aléatoire de plongeurs par palanquée compris entre 2 et 6 ;
- Une distance entre plongeurs d'une même palanquée comprise entre 1 et 30 m.

A partir de ces critères, des séries de positions sont établies. Chaque position correspond donc à un plongeur au sein d'une palanquée. Le bruit émis associé à chaque plongeur est de 134 dB ref  $1\mu\text{Pa}^2$  tel qu'évalué au paragraphe II.3. Chaque plongeur est positionné arbitrairement à mi-hauteur d'eau.

A titre d'exemple, un tirage aléatoire permet de définir la position de 84 plongeurs présents simultanément sur le site. Une modélisation acoustique est effectuée à la date du 15/08/2020. La plateforme de modélisation cartographique du bruit prend en compte

- Les sources de bruit (ici les plongeurs) ;
- La bathymétrie ;
- La nature du fond ;
- La vitesse du son dans la colonne d'eau ;
- La rugosité de surface ;
- La vitesse du vent.

La cartographie du bruit produite intègre les différentes composantes :

- Le bruit environnemental ;
- Le bruit des navires (s'ils sont équipés du système d'identification et de localisation AIS) ;
- Le bruit des activités de plongée.

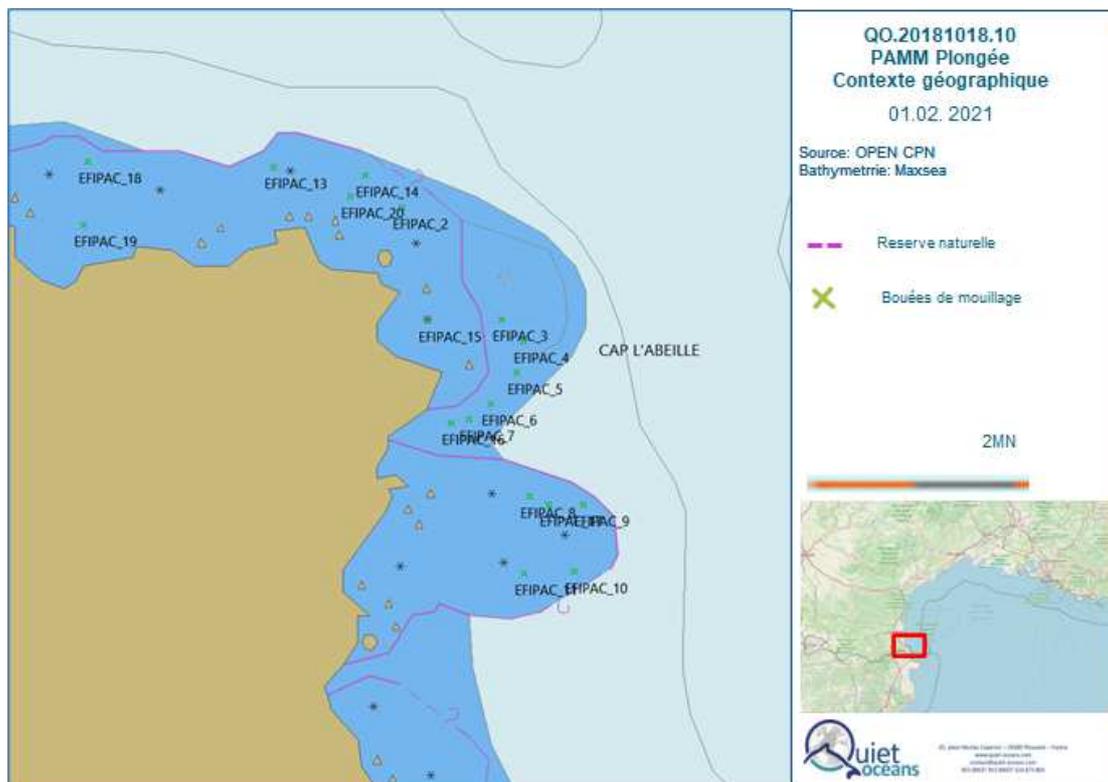


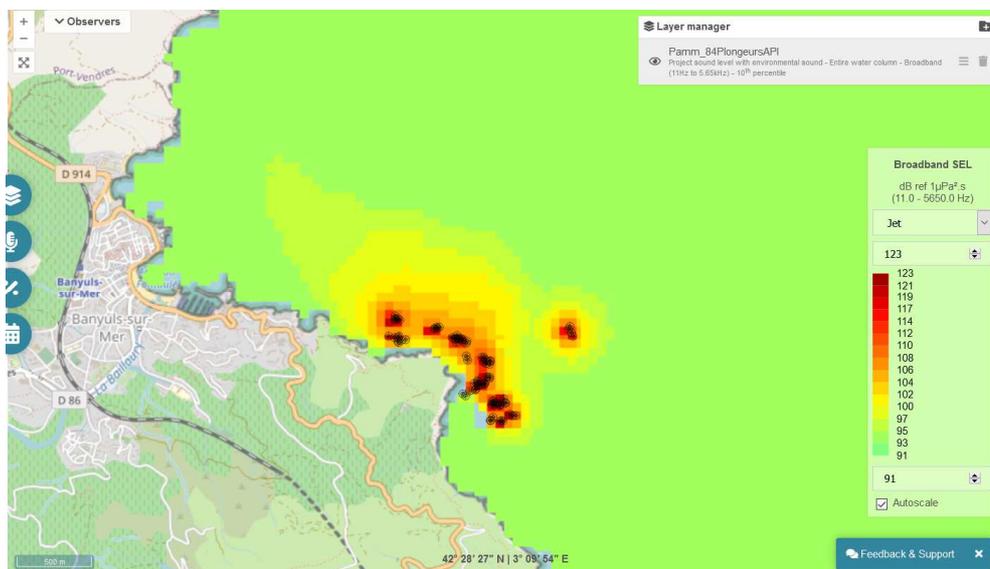
Figure 15 : Répartition des bouées de mouillage.

### IV.3. Cartographie sonore des activités de plongée

La Figure 16 montre d'une part (en haut) la cartographie du bruit d'un scénario de 84 plongeurs présents simultanément dans la Réserve Naturelle Marine le 15/08/2020 en complément des bruits permanents engendrés par les composantes environnementales en ce lieu et à cette date et d'autre part (en bas) l'empreinte sonore de cette activité en comparaison du bruit environnemental. Sur cette zone, toutes les embarcations navigant régulièrement sur zone ne sont pas équipées d'AIS et ne sont donc pas intégrées dans la cartographie acoustique. A titre de comparaison, une embarcation de 10 m à une vitesse de 10 nœuds devrait engendrer un bruit large bande de 154 dB ref 1µPa@1m d'après le modèle de RANDI (Ross, 1976 ; Wagstaff, 1973 ; Breeding, Pflug, Bradley, Walrod, & McBride, 1996) soit 20 dB de plus que le bruit généré par un plongeur.

La cartographie sonore se présente donc comme un outil particulièrement intéressant permettant d'estimer la surface d'émergence du bruit de cette activité de plongée et ainsi d'évaluer des scénarios de gestion, au prix d'une intégration de donnée plus précises quant au nombre et à la répartition des plongeurs.

**Cartographie du bruit médian total (ensemble de toutes les composantes dont l'activité de plongée)**



**Cartographie de l'empreinte sonore de l'activité de plongée en comparaison au bruit existant**

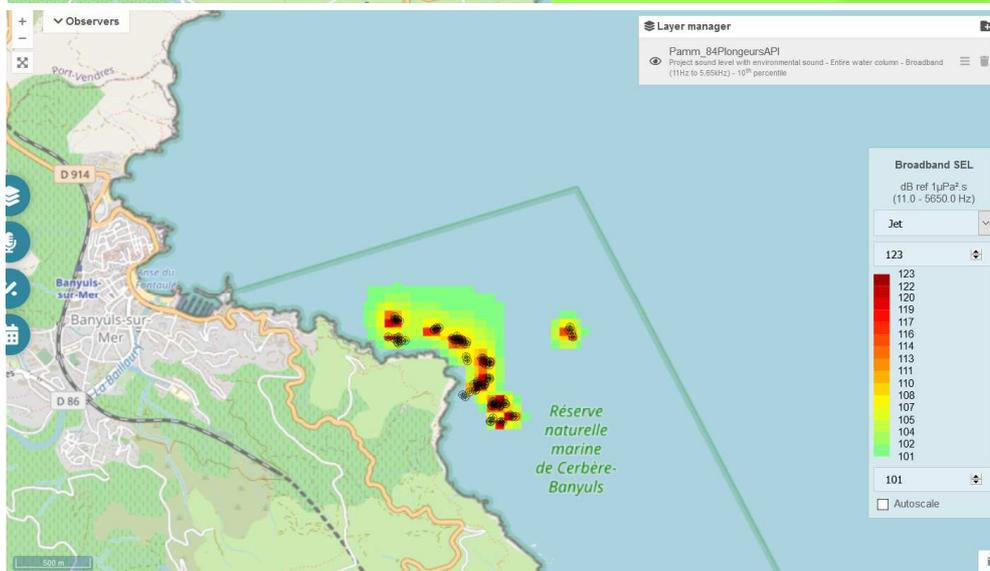


Figure 16 : Cartographie du bruit en présence d'une activité de plongée le 15/08/2020 (en haut) et empreinte sonore de l'activité de plongée en comparaison du bruit environnemental (en bas).

## Chapitre V. Analyse de l'effet du bruit des plongeurs sur la faune marine

Une analyse bioacoustique spécifique de la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique a été réalisée sur une période de 8 jours afin de déterminer les activités biologiques présentes au niveau de la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls (RNMCB). Ces activités biologiques ont été mises en regard avec les événements de plongée observés afin d'établir les corrélations existantes entre la présence de plongeurs sur site (avant, pendant et après) et la faune marine.

### V.1. Méthodologie

La période à analyser a été définie de façon à pouvoir étudier la fréquentation du site, en plus des transitions jour / nuit, sur des journées avec une météo variable. L'analyse a donc été réalisée pour les données sur la période du 29 juillet au 5 août 2020 inclus (Figure 10). Cette période se caractérise par :

- Une météo favorable aux activités de plongée en début et fin de cette période ;
- Une présence de forts coups de vent durant 3 jours au milieu de la période avec une baisse significative des passages de navires et l'absence de plongée sur site.

La procédure d'analyse mise en œuvre consiste à étudier auditivement et visuellement les enregistrements entre le 29 juillet et 5 août 2020 (Figure 17). Ce travail est effectué par un opérateur spécialiste en bioacoustique. Cette étude auditive et visuelle de la donnée a permis de déterminer le paysage acoustique du site ainsi qu'une classification<sup>1</sup> des événements sonores observés. Les activités biologiques recensées ont alors pu être confrontées à la présence des plongeurs sur site afin de rechercher un éventuel impact du bruit émis par les activités de plongée sur la faune marine.

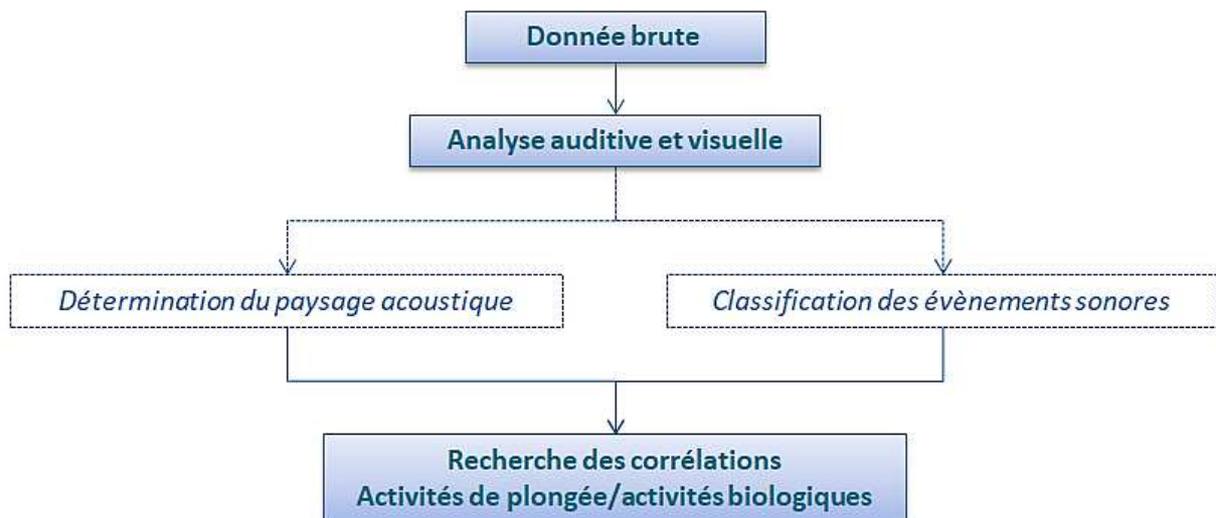


Figure 17 : Procédure générale appliquée pour l'analyse et l'interprétation du bruit des plongeurs sur la faune marine.

<sup>1</sup> La classification permet d'associer l'origine d'émission correspondante à un signal observé (biologique, anthropique ou environnemental).

## V.2. Paysage acoustique

Le bruit ambiant du milieu marin est composé d'un grand nombre d'évènements sonores de nature et caractéristiques différentes. L'identification de ces évènements sonores permet de constituer le paysage acoustique du site étudié. Dans la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls (RNMCB), le paysage acoustique est dominé par la présence de bruit d'origine biologique généré par les organismes benthiques, avec une intensité plus importante en période nocturne. Outre le bruit relatif au passage des bateaux aux alentours du site observé en journée, il a été possible de caractériser la présence acoustique des plongeurs et de la faune marine (principalement des espèces de poissons) grâce à la distinction de leur signature acoustique respective.

### V.2.1. Bruits de la faune marine

Lors de l'analyse auditive et visuelle des enregistrements, plusieurs signaux d'origine biologique ont pu être observés entre le 29 juillet et le 5 août 2020. Ces signaux ont été émis par des organismes benthiques ou par différentes espèces de poissons. Aucun signal émis par des mammifères marins n'a été détecté dans l'ensemble des enregistrements analysés.

#### V.2.1.a. Organismes benthiques

Les organismes benthiques, ou « benthos », correspondent à l'ensemble des organismes aquatiques qui vivent près ou sur le fond de la mer (crustacés, mollusques, échinodermes, etc.). Le benthos est caractérisé par l'émission de signaux impulsifs très brefs (durée moyenne de 10ms) entre 1 et 20 kHz (Figure 18).

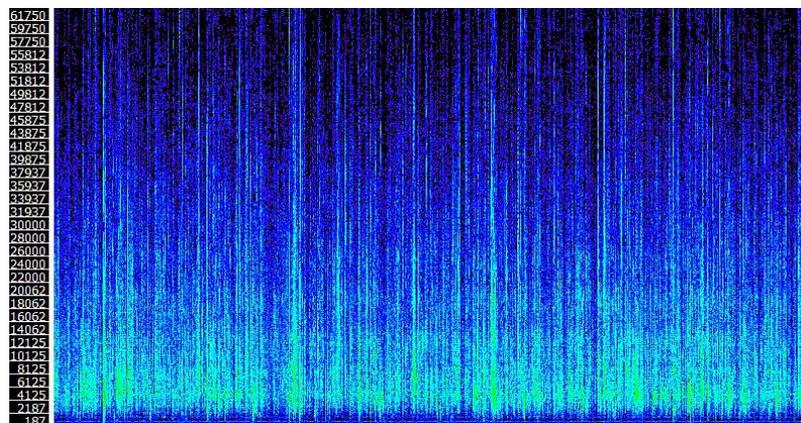


Figure 18 : Signaux impulsifs émis par des organismes benthiques (29/07/2020 à 00h11 UTC).

#### V.2.1.b. Poissons

##### i. Corb

L'espèce de poisson la plus observée sur site est le corb commun, *Sciaena umbra* (Figure 19). Ce poisson de la famille des Scianidés est classé comme espèce vulnérable (VU) dans la liste rouge de l'UICN<sup>2</sup> en Méditerranée. Vulnérable à la pêche en raison de son comportement à la fois sédentaire et d'agrégation, mais également de son habitat en eau peu profonde facilement accessible, il bénéficie d'un moratoire depuis 2013 qui inclut l'interdiction de chasse et pêche de loisir à l'hameçon, reconductible tous les 5 ans. Il est généralement observé en petit groupe en journée, immobile, la tête légèrement penchée vers le bas. La nuit, il part en chasse et se nourrit de vers, crustacés et petits poissons (Di Iorio & Gervaise, 2020).

<sup>2</sup> Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN)

Le corb se caractérise acoustiquement par des émissions de signaux impulsifs en basses fréquences, entre 50 et 600 Hz, avec une fréquence moyenne dominante entre 200 et 300 Hz :

- Signaux impulsifs irréguliers référencés comme I-Calls (Figure 20) ;
- Signaux impulsifs réguliers et stéréotypés référencés comme R-Calls (Figure 21 et Figure 22).

Le son est produit via des muscles soniques attachés à la paroi de sa vessie natatoire. Chaque contraction fait vibrer la vessie natatoire qui émet alors une impulsion (Di Iorio & Gervaise, 2020; Parmentier et al., 2018). Les signaux sont principalement émis par les mâles en période de reproduction survenant pendant l'été, de mai à août. Les signaux sont émis en période nocturne entre 17h et minuit, avec un pic d'émission entre 20h et 22h (Di Iorio et al., 2020).



Figure 19 : Corb commun, *Sciaena umbra* (d'après : Doris / FFESSM).

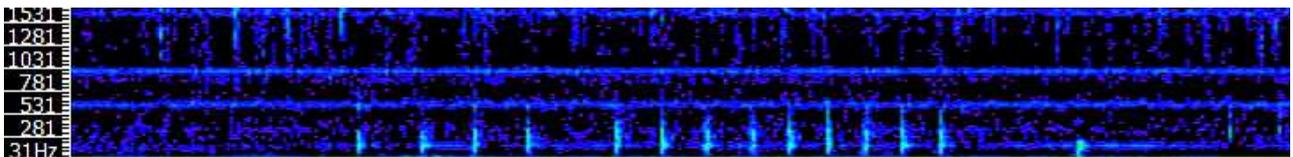


Figure 20 : Signaux impulsifs émis par du Corb (*Sciaena umbra*) entre 50 et 500 Hz et avec un ICI entre 0,1 et 0,2 sec (I-Calls). Enregistrement du 29/07/2020 à 19h00 UTC.

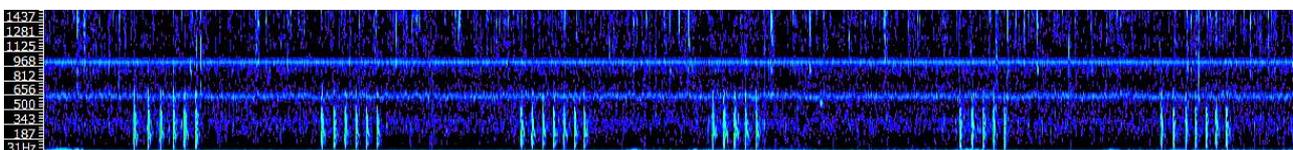


Figure 21 : Trains de signaux impulsifs émis par du Corb (*Sciaena umbra*) entre 50 et 500 Hz et une durée entre chaque train de 0,7 à 1 sec (R-Calls). Enregistrement du 29/07/2020 à 19h11 UTC.

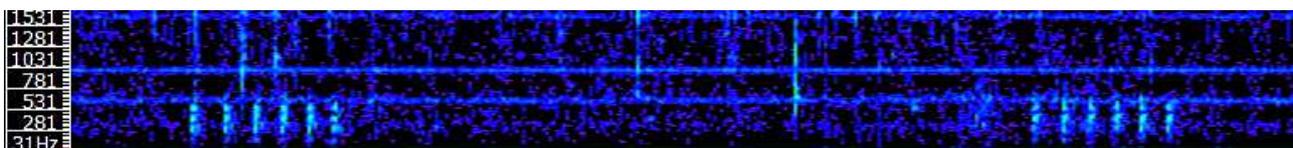


Figure 22 : Deux trains de signaux impulsifs émis par du Corb (*Sciaena umbra*) entre 50 et 600 Hz. Ces trains de signaux impulsifs sont espacés de 0,7 sec (R-Calls). Enregistrement du 29/07/2020 à 05h04 UTC.

## ii. Mérou brun

Classé comme espèce en danger (EN) dans la liste rouge de l'UICN en Europe, le mérou brun (*Epinephelus marginatus*, Figure 23) appartient à la famille des Serranidés. Il est caractérisé par sa grande sédentarité et vit sur des fonds principalement rocheux à proximité de cavités ou de grottes pour s'abriter. Très prisé par les pêcheurs, il bénéficie d'un moratoire valable jusqu'en 2023 interdisant toute forme de pêche hormis au filet.

Le mérou brun se caractérise acoustiquement par l'émission de signaux transitoires de type « downsweeps » avec harmoniques (Figure 24). Un signal de ce type correspond à un son modulé en fréquences dont la fréquence de départ est supérieure à la fréquence de fin du signal. Ils sont généralement émis en séries de 1 à 3 signaux entre 90 Hz (fréquence dominante) et 1 kHz avec un pic fréquentiel aux alentours de 200 Hz (Bertucci, Lejeune, Payrot, & Parmentier, 2015; Desiderà et al., 2019). A l'oreille, ces signaux acoustiques sonnent comme un léger grognement. De manière générale, le mérou brun est vocalement actif durant la nuit avec des pics d'émissions entre 22h00 et 4h00 (heure locale), et ce, principalement en période de reproduction survenant entre juillet et août (Bertucci et al., 2015).



Figure 23: Mérou brun, *Epinephelus marginatus* (d'après : Doris / FFESSM).

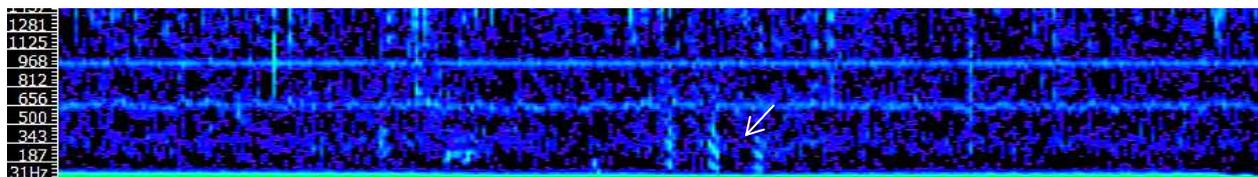


Figure 24: Signaux transitoires de type « downsweep » avec des harmoniques probablement émis par un mérou brun (*Epinephelus marginatus*) entre 90 Hz et 1 kHz. Enregistrement du 29/07/2020 à 00h13 UTC.

## iii. Espèces indéterminées

D'autres signaux acoustiques biologiques ont pu être observés dans les enregistrements analysés sans toutefois pouvoir identifier l'espèce à l'origine de ces émissions.

L'espèce indéterminée n°1 est caractérisée par l'émission de « downsweeps » :

- Alternance de « downsweeps » successivement émis de 800 à 600 Hz et de 400 à 200 Hz (Figure 25) ;
- Emission de « downsweeps » de 300 à 200 Hz (Figure 26).

L'espèce indéterminée n°2 est caractérisée par l'émission d'un train de pulses presque indétectables sur le plan auditif. Ces pulses sont émis entre 50 et 600 Hz sur une durée de 0,3 secondes et avec un pic d'émission à 200 Hz (Figure 27).

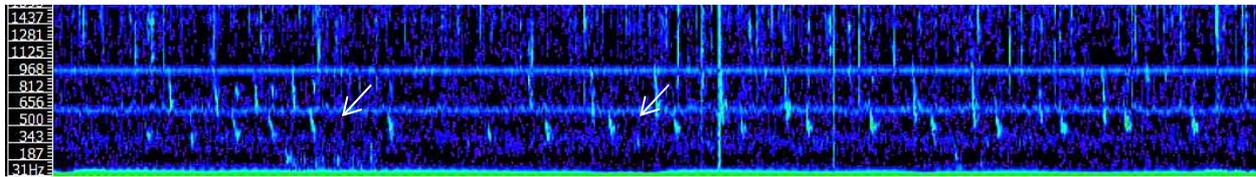


Figure 25 : Signaux acoustiques biologiques caractérisés par une succession de « downsweeps » émis de 800 à 600 Hz et de 400 à 200 Hz. Enregistrement du 30/07/2020 à 00h10 UTC.

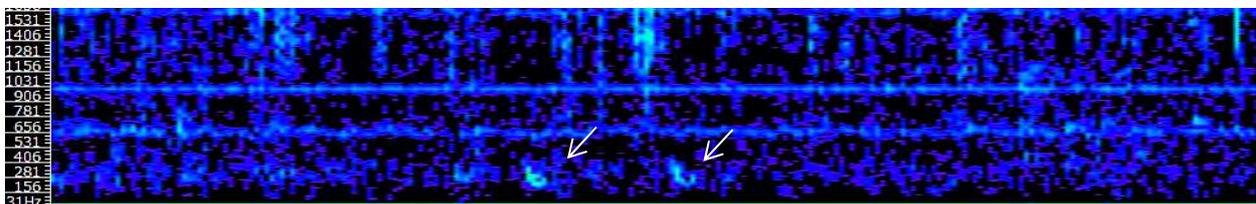


Figure 26 : Signaux acoustiques biologiques caractérisés par deux « downsweeps » émis de 300 à 200 Hz. Enregistrement du 29/07/2020 à 00h57 UTC.

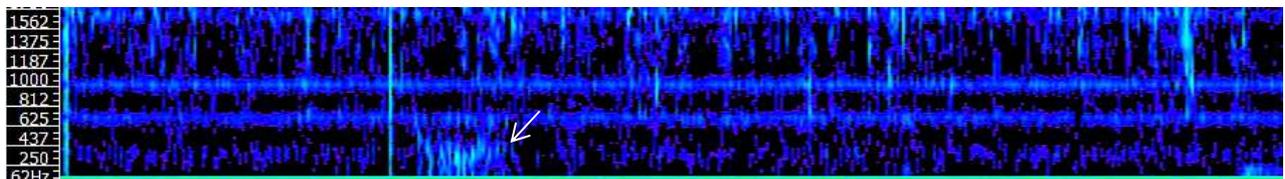


Figure 27 : Signaux acoustiques biologiques caractérisés par un train de pulses émis entre 50 et 600 Hz sur une durée de 0,3 sec. Enregistrement du 05/08/2020 à 23h50 UTC.

### V.2.2. Bruits naturels

Dans le paysage acoustique de la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls (RNMCB), les bruits naturels sont principalement représentés par le bruit généré par la houle et les vagues. Ce bruit est plus ou moins intense en fonction de la météo et de l'état de mer. En période de forts coups de vent, la houle est plus importante et génère donc un bruit plus intense dans la colonne d'eau. Le bruit est généré en basses fréquences, dans la bande fréquentielle allant de 100 Hz à 1,5 kHz (Figure 28).

En présence d'un état de mer calme, les signaux impulsifs émis par les organismes benthiques dominent le paysage acoustique avec, par moment, l'observation d'un bruit associé au déferlement de l'eau en basses fréquences (Figure 29).

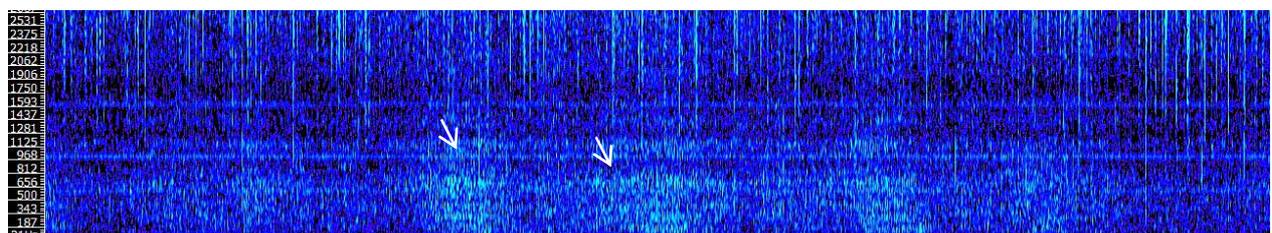


Figure 28 : Bruit généré par la houle de surface, entre 100 Hz et 1,5 kHz. Enregistrement du 3 août 2020 à 10h11 UTC.

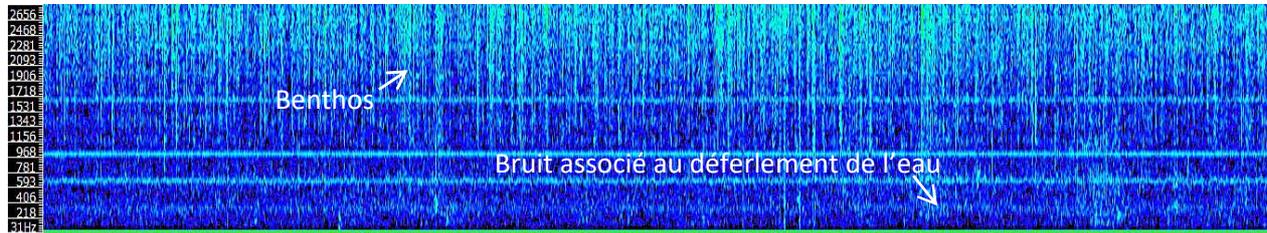


Figure 29 : Signaux impulsifs émis par le benthos (> 1 kHz) et bruit associé au déferlement de l'eau entre 1 et 800 Hz. Enregistrement du 29 juillet 2020 à 04h00 UTC.

### V.2.3. Bruits des activités humaines

Le bruit des activités humaines au niveau de la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls (RNMCB) est principalement représenté par les signaux caractéristiques provenant des activités de plongée sur site mais également par les passages de navires aux alentours. En outre, des signaux spécifiques associés à des sondeurs ont pu être régulièrement observés lors du passage de ces navires.

#### V.2.3.a. Activité de plongée

Lors des activités de plongée, des signaux acoustiques propres à la respiration des plongeurs ont pu être systématiquement observés :

- Un bruit diffus large bande, entre 20 Hz et 120 kHz associé à des signaux transitoires entre 20 et 60 kHz (Figure 30) ;
- Un bruit continu de bulles et mouvement d'eau en basses fréquences, inférieur à 1 kHz (Figure 31).

Ces signaux caractéristiques marquent la respiration des plongeurs via le détendeur, respiration d'intensité plus ou moins forte en fonction de la distance du plongeur par rapport à l'hydrophone. Dans la grande majorité des enregistrements analysés, la présence du bruit des navires aux alentours (parfois avec les signaux acoustiques émis par les sondeurs) en simultané avec la présence de plongeurs sur site est assez importante. D'autres signaux acoustiques observés lors des périodes d'activités de plongée ont pu être reliés aux plongeurs, ou du moins à leur équipement. Des signaux acoustiques transitoires évoquant un « bip » d'alarme d'une montre de plongée ont ainsi été observés lors de l'analyse des enregistrements (Figure 32). Ces signaux sont émis à 6 kHz et possèdent des harmoniques allant jusqu'à 48 kHz. Durant l'analyse de l'enregistrement du 29 juillet 2020, des signaux acoustiques transitoires à 400 Hz et avec des harmoniques jusqu'à 4 kHz ont pu être distingués dans le paysage acoustique (Figure 33). Ces signaux évoquant un « grincement » assez aigu sont probablement associés à la voix d'un plongeur cherchant à s'exprimer sous l'eau. L'observation de ces deux derniers types de signaux acoustiques reste anecdotique sur l'ensemble de la période analysée entre le 29 juillet et 5 août 2020.

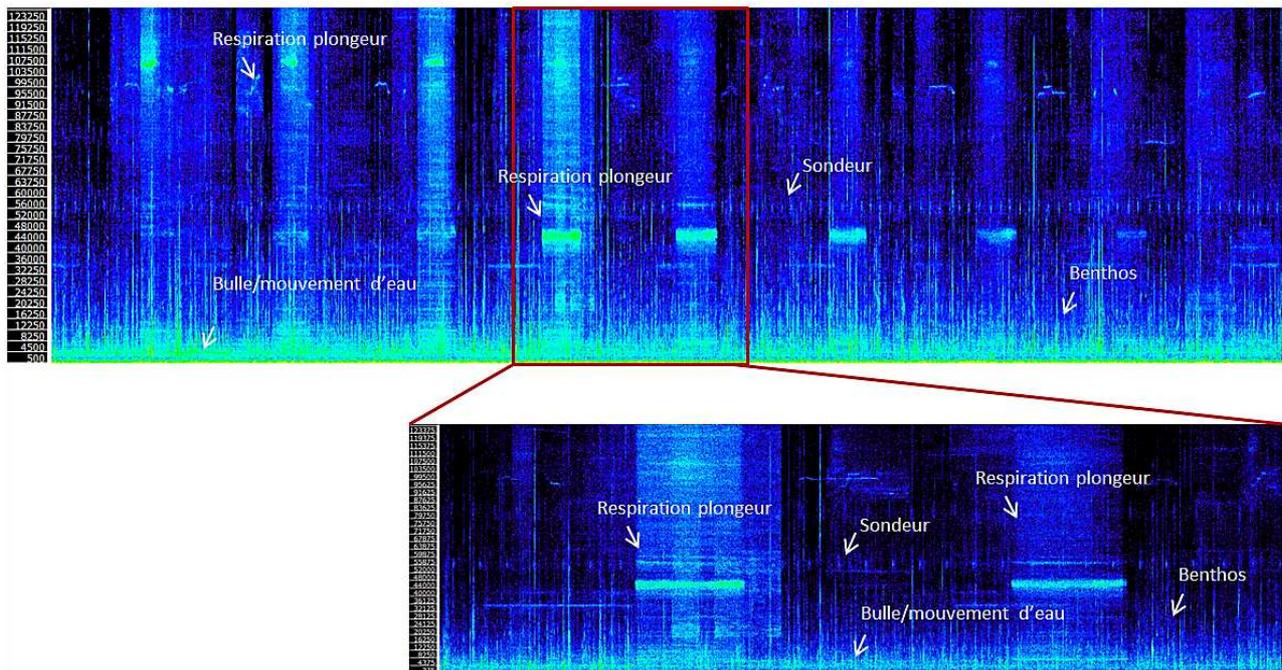


Figure 30 : Signaux acoustiques associés à la respiration des plongeurs avec l'observation d'un bruit diffus large bande (20 Hz à 120 kHz) et de signaux transitoires d'intensité plus importante marquant la respiration via le détendeur. Bruit de bulles et mouvement d'eau en basses fréquences. Enregistrement du 29 juillet 2020 à 13h08 UTC.

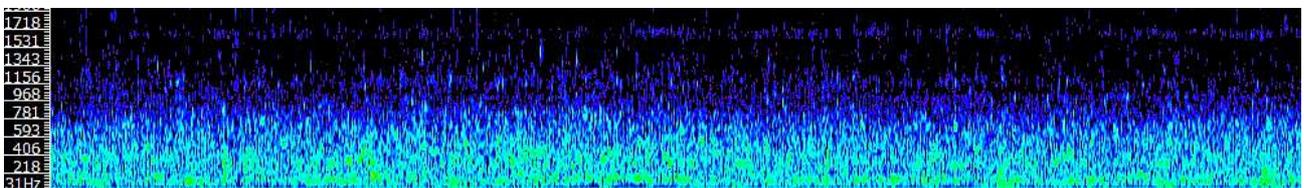


Figure 31 : Bruit de bulles et mouvement d'eau associé à la respiration des plongeurs. Bruit continu inférieur à 1 kHz. Enregistrement du 30/07/2020 à 08h30 UTC.

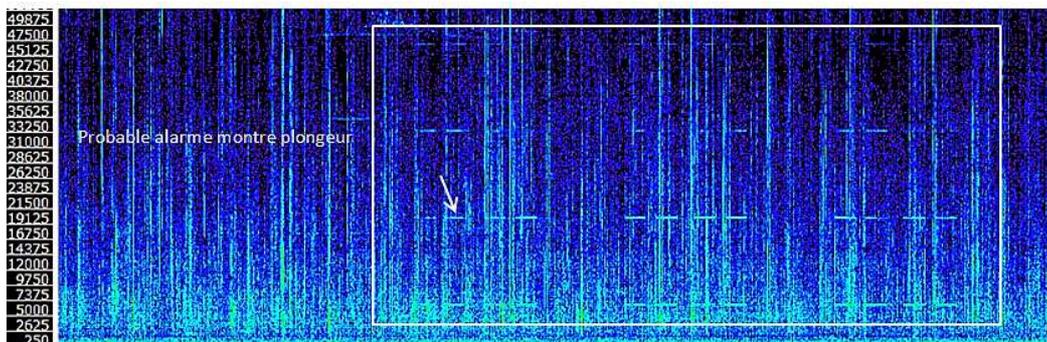


Figure 32 : Signaux acoustiques évoquant un bruit d'alarme probablement associé à une montre de plongée. Signaux transitoires à 6 kHz avec des harmoniques jusqu'à 48 kHz. Enregistrement du 31/07/2020 à 13h07 UTC.

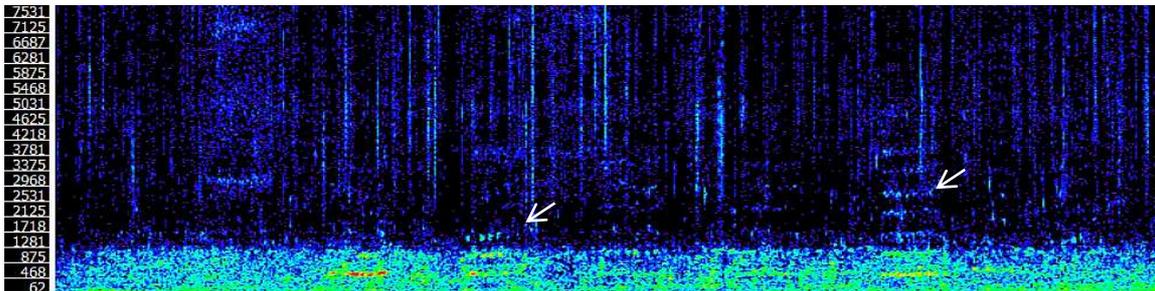


Figure 33 : Signaux acoustiques évoquant un bruit de « grincement » aigu probablement lié à la voix d'un plongeur cherchant à s'exprimer. Signaux transitoires à 400 Hz avec des harmoniques jusqu'à 4 kHz. Enregistrement du 29/07/2020 à 06h53 UTC.

### V.2.3.b. Autres bruits anthropiques

Le passage de navires aux alentours du site, liés ou non aux activités de plongée, induit un bruit continu caractéristique en basses fréquences dans la colonne d'eau. Ce bruit continu est souvent accompagné de raies spectrales qui sont spécifiques au bruit émis par le moteur du navire. Le bruit continu généré est inférieur à 1 kHz tandis que les raies spectrales peuvent être générées jusqu'à 10 kHz. Il s'agit de la trace acoustique du navire (Figure 34). Associé à la présence des navires, des signaux acoustiques émis par des sondeurs ont également pu être observés aux alentours de 55 kHz dans la donnée analysée (Figure 35).

De manière anecdotique, un bruit relatif à un « jeté d'ancre » dans la colonne d'eau a été distingué à 4 reprises entre le 29 juillet et 5 août 2020 (Figure 36). Ce bruit, généré entre 0 et 30 kHz, évoque l'impact de l'ancre à la surface de l'eau suivi par le déroulement de cette dernière dans la colonne d'eau. Dans un contexte similaire, du bruit généré par le passage lointain d'un jet-ski a été observé à deux reprises dans la donnée analysée. Ce bruit est caractérisé par des signaux transitoires en basses fréquences, entre 100 et 750 Hz (Figure 37).

Quelques bruits métalliques de chaîne ont été observés aléatoirement dans certains enregistrements, et plus spécifiquement sur les journées du 2, 3 et 4 août 2020 durant lesquels la météo est considérée défavorable aux activités de plongée (forts coups de vent). Ces bruits font référence aux mouillages présents sur site et sont caractérisés par des signaux transitoires aux alentours de 3 kHz (Figure 38). Ces mouillages sont associés aux amarrages réservés soit aux navires de plaisance, soit aux navires support pour les activités de plongée.

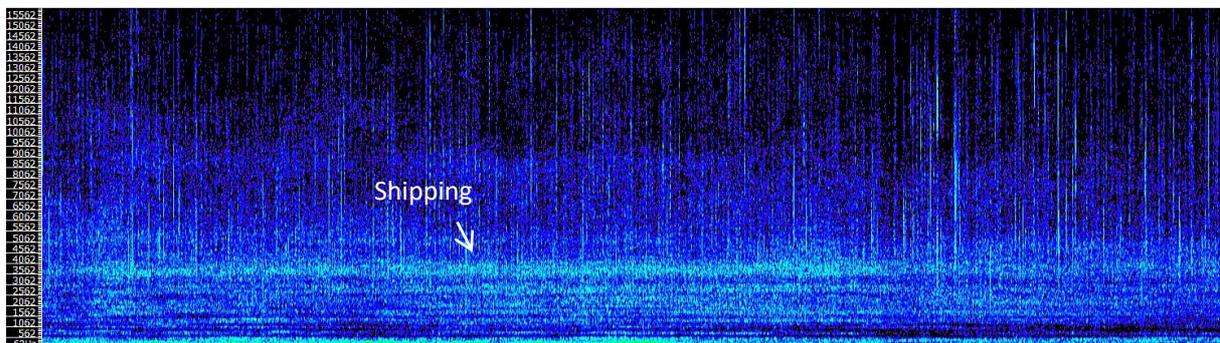


Figure 34 : Trace d'un navire avec l'observation d'un bruit continu entre 10 Hz et 10 kHz. Enregistrement du 29 juillet 2020 à 10h02 UTC.

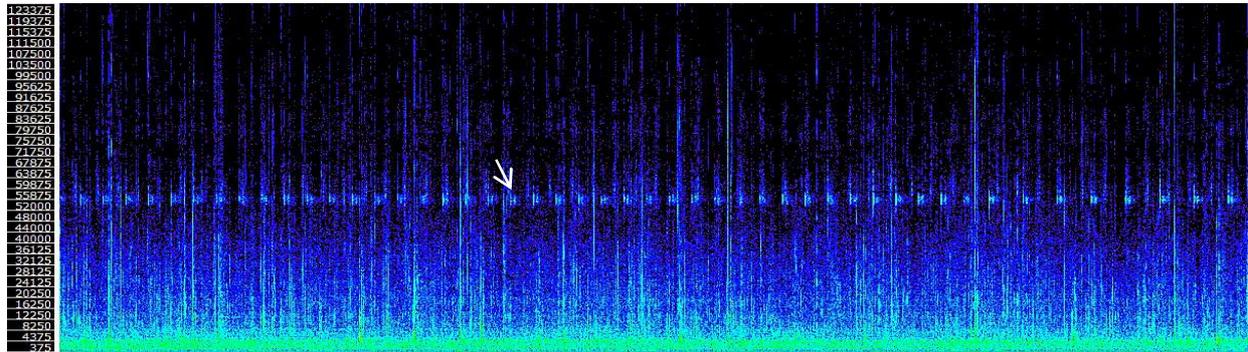


Figure 35 : Signaux acoustiques émis par un sondeur à 55 kHz. Enregistrement du 1<sup>er</sup> août 2020 à 10h02 UTC.

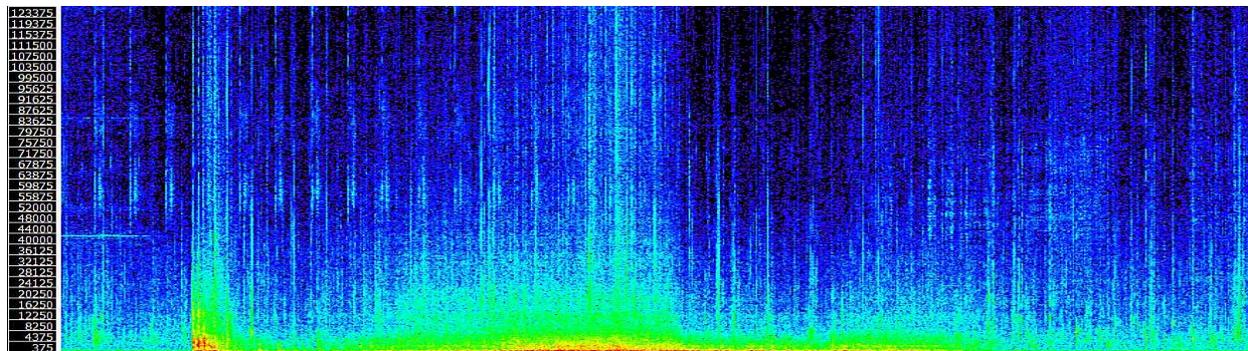


Figure 36 : Bruit probablement associé à un jeté d'ancre avec l'impact à la surface de l'eau suivi par le déroulement de l'ancre dans la colonne d'eau. Bruit généré entre 0 et 30 kHz. Enregistrement du 29 juillet 2020 à 08h54 UTC.

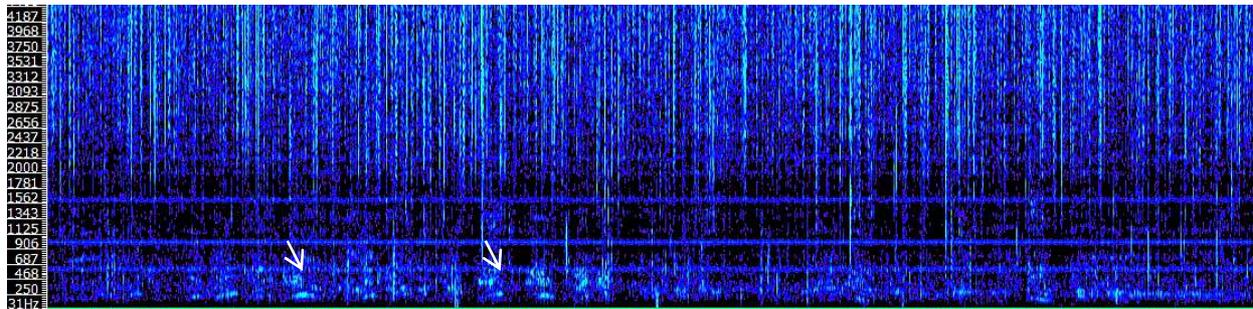


Figure 37: Bruit généré par le passage lointain d'un jet-ski, caractérisé par des signaux transitoires en basses fréquences (100 à 750 Hz). Spectrogramme perturbé par des raies parasites engendrées par le système de mesure (fréquences 600, 1000 et 1600 Hz). Enregistrement du 31 juillet 2020 à 10h55 UTC.

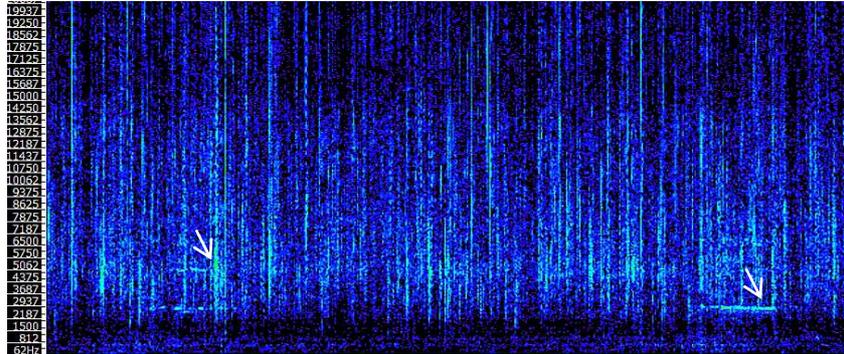


Figure 38 : Signaux transitoires anthropiques aux alentours de 3 kHz associés à des bruits de mouillages présents sur site (amarrages réservés aux navires). Enregistrement du 1<sup>er</sup> août 2020 à 23h37 UTC.

### V.3. Fréquentation du site

#### V.3.1. Activités de plongée

Le Tableau 7 synthétise la présence des plongeurs sur site entre le 29 juillet et 5 août 2020 via la détection des signaux acoustiques engendrés par leur respiration et leur mouvement dans la colonne d'eau.

En période de météo favorable aux activités de plongée, soit du 29 juillet au 1<sup>er</sup> août 2020 inclus, il est possible de distinguer deux créneaux horaires par jour qui sont associés à ces activités :

- Entre 6h30 et 11h00 UTC ;
- Entre 12h30 et 14h00 / 16h30 UTC.

Les signaux acoustiques associés aux plongeurs sont plus ou moins intenses en fonction de la distance de ces derniers par rapport à l'hydrophone.

Durant la journée du 2 août 2020, la météo est mitigée avec l'arrivée de forts coups de vent sur le site. Un unique créneau horaire pour les activités de plongée a été observé entre 13h00 et 14h00 UTC. La détection des signaux acoustiques associés à la respiration des plongeurs sont peu nombreux dans les enregistrements associés à cette période et sont de très faible intensité. Leur présence est estimée à 6,5% du temps supposant une activité écourtée suite à un état de mer devenant peu favorable à la pratique de la plongée.

Durant les journées du 3 et 4 août 2020, la météo est considérée défavorable à la pratique des activités de plongée, avec la présence de forts coups de vent sur le site entraînant une houle plus importante. Aucune activité de plongée n'a été observée sur ces deux journées.

Durant la journée du 5 août 2020, qui succède à cette période de météo défavorable, deux créneaux horaires associés aux activités de plongée sont à nouveau distingués à 12h30 UTC et 16h00 UTC. L'absence d'activités de plongée en matinée peut facilement être liée à l'attente des centres de plongée du retour à la normale de la météo (conditions favorables).

Tableau 7 : Synthèse sur la présence acoustique des plongeurs sur site entre le 29 juillet et 5 août 2020.

Date	Météo	Activités de plongée	
		Heure de début (UTC)	Heure de fin (UTC)
29/07/2020	Favorable	06h30	10h00
		12h60	14h00
30/07/2020	Favorable	06h30	09h30
31/07/2020	Favorable	06h30	10h30
		12h30	14h00
01/08/2020	Favorable	07h00	10h30
		12h30	16h00
02/08/2020	Mitigée	13h00	14h00
03/08/2020	Défavorable	Absence d'activités de plongée	
04/08/2020	Défavorable		
05/08/2020	Favorable	12h30	15h30
		16h00	18h00

### V.3.2. Activités biologiques

Le Tableau 8 synthétise la présence acoustique des activités biologiques observées sur site entre le 29 juillet et 5 août 2020. Le nombre de période de détections est précisé pour chacune des activités biologiques. Il faut noter qu'une période de détection correspond à l'observation visuelle et auditive d'un ou plusieurs signaux dans un enregistrement de 30 minutes. Ces activités biologiques sont principalement représentées par la présence de benthos et de poissons. Pour rappel, aucun signal émis par des mammifères marins n'a été détecté dans l'ensemble des enregistrements analysés.

De manière générale, il est possible de noter l'omniprésence des organismes benthiques ( cf.V.2.1.a. ) sur l'ensemble de la période analysée, et ce quelle que soit la météo. L'intensité des signaux acoustiques émis par les organismes benthiques est plus importante en période nocturne, entre 20h00 et 4h00 UTC comme le montre l'analyse auditive et visuelle des enregistrements, et confirmée par le calcul du niveau sonore reçu à l'hydrophone (Tableau 6) pour le 50<sup>ième</sup> percentile ciblée dans la bande fréquentielle des signaux impulsifs émis par le benthos (Figure 39). En journée, le niveau sonore médian observé est d'environ 110 dB ref 1µPa<sup>2</sup> contre 112,8 dB ref 1µPa<sup>2</sup> en période nocturne (soit +2,8dB) pour l'ensemble de la période d'étude (7 juillet au 7 août 2020).

Les signaux acoustiques observés ont permis d'identifier la présence du corb commun (*Sciaena umbra*) et du mérour brun (*Epinephelus marginatus*) sur site. Le corb commun est l'espèce de poisson la plus observée sur site avec 378 périodes de détections entre le 29 juillet et 5 août 2020. Les signaux impulsifs émis par ce poisson ont été observés aussi bien le jour que la nuit, avec toutefois une fréquence de détections plus significative la nuit entre 20h00 et 2h30 UTC. Deux pics de détection ont régulièrement été observés lors des transitions jour / nuit :

- Entre 3h00 et 6h00 UTC lorsque le soleil se lève ;
- Entre 16h00 et 19h30 UTC lorsque le soleil se couche.

Ces détections nocturnes et aux transitions jour / nuit sont probablement associées à la biologie et au mode de vie du corb commun (V.2.1.b. i). Il s'agit d'une espèce de poisson qui chasse en période nocturne d'où une

activité acoustique plus intense une fois le soleil couché. Outre l'action de chasse, les mâles sont vocalement actifs durant la nuit en période de reproduction qui survient durant l'été, de mai à août.

La présence acoustique du mérou brun sur site est moindre par rapport à celle du Corb, avec 20 périodes de détections entre le 29 juillet et 5 août 2020. Cette espèce de poisson a uniquement été détectée durant la nuit, entre 20h30 et 3h30 UTC. Aucune détection n'a été réalisée au moment des transitions jour/ nuit. Ces détections nocturnes viennent appuyer les informations sur la biologie du mérou brun décrites dans la partie V.2.1.b. ii qui précise que cette espèce de poisson est vocalement active durant la nuit en période de reproduction survenant entre juillet et août.

Les espèces indéterminées n°1 (émissions de signaux de type « downsweep ») et n°2 (« émissions de signaux impulsifs basses fréquences») ont été observées de manière erratique avec respectivement 7 et 4 périodes entre le 29 juillet et 5 août 2020. Les signaux acoustiques de ces deux espèces ont été détectés uniquement en période nocturne :

- Entre 0h00 et 3h30 UTC concernant l'espèce n°1 ;
- Entre 22h30 et 0h00 UTC concernant l'espèce n°2.

A l'exception du benthos qui est acoustiquement présent quel que soit la météo sur site, toutes les activités biologiques ont été systématiquement observées en présence d'une météo assez calme. A l'inverse, lorsque le temps est plus agité, la détection des signaux biologiques est plus erratique (corb commun et espèce n°2) voire absente (mérou brun et espèce n°1) dans la donnée analysée. Il est supposé que les poissons sont alors moins actifs vocalement ou qu'un effet de masquage par le bruit de la houle a lieu aux basses fréquences. Le masquage est un phénomène qui intervient lorsque les sons reçus par les spécimens (sons essentiels dans leurs activités de chasse, de socialisation, de reproduction ou d'évitement des prédateurs) sont couverts par des bruits d'origine anthropique ou naturelle comme dans le cas présent.

**Tableau 8: Synthèse sur la présence acoustique des activités biologiques sur site entre le 29 juillet et 5 août 2020.**

Activités biologiques		Benthos	Corb commun ( <i>Sciaena umbra</i> )	Mérou brun ( <i>Epinephelus marginatus</i> )	Espèce indéterminée n°1 (signaux de type « downsweep »)	Espèce indéterminée n°2 (train de signaux impulsifs BF)
Nombre de périodes de détections / 8 jours		Omniprésence	378 périodes	20 périodes	7 périodes	4 périodes
Jour		Oui	Oui	Non	Non	Non
Nuit		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Transition jour / nuit		Non	Oui	Non	Non	Non
Météo	Calme	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Agitée	Oui	Erratique	Non	Non	Erratique

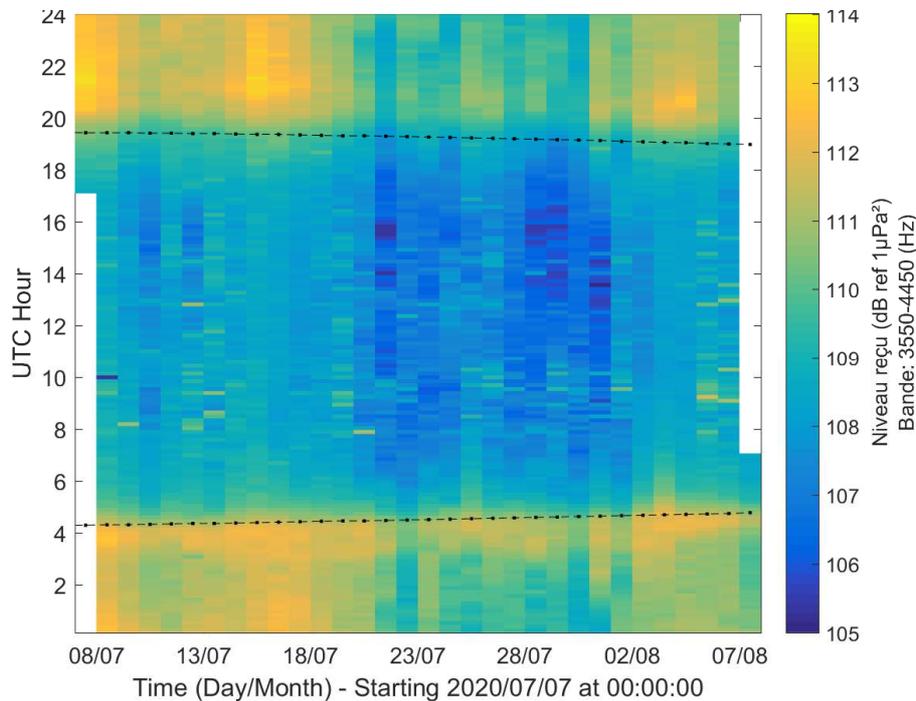


Figure 39 : Statistique horaire de la sonore reçue (dB ref 1µPa<sup>2</sup>) pour le 50<sup>ème</sup> percentile dans la bande d'émission préférentielle des organismes benthiques (3,5 et 4,5 kHz) sur l'ensemble de la période d'étude (7 juillet au 7 août 2020).

#### V.4. Corrélation entre les différents niveaux de bruits

Le Tableau 9 synthétise la présence acoustique des activités biologiques au niveau de la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls (RNMCB) entre le 29 juillet et le 5 août 2020. Les activités biologiques recensées sont confrontées à celles des plongeurs sur site afin de rechercher un éventuel effet du bruit émis par les activités de plongée (et le trafic induit) sur la faune marine.

Pour rappel, en termes d'activités biologiques, seuls des signaux acoustiques émis par les organismes benthiques et des poissons ont été observés. A l'exception des organismes benthiques, la présence d'activités biologiques en période de météo défavorable aux activités de plongée est moindre (détectations erratiques ou absence de détectations selon les espèces). Il est supposé que les poissons sont alors moins actifs vocalement ou qu'un effet de masquage par le bruit de la houle a lieu aux basses fréquences.

De manière générale, les activités de plongée n'influent pas sur les organismes benthiques qui sont omniprésents sur le site. En effet, aucune corrélation n'a pu être établie entre les niveaux de bruit benthiques et la présence de plongeurs.

Les émissions acoustiques du corb commun (*Sciaena umbra*) sont fréquemment détectées au lever et coucher du soleil (V.3.2. ) donc soit bien avant l'arrivée des premiers plongeurs sur site, soit bien après le départ des derniers plongeurs. Toutefois, sur les journées du 29 juillet, du 1<sup>er</sup> et du 2 août 2020, quelques détectations acoustiques ont été réalisées entre 30 minutes et 2 h juste avant les activités de plongée. Dans un contexte similaire, sur les journées du 31 juillet, du 1<sup>er</sup> et du 5 août 2020, des signaux acoustiques émis par le corb commun ont été détectés quelques minutes après des activités de plongée.

La grande majorité du temps, ce poisson est acoustiquement absent pendant le déroulement d'une activité de plongée sur site. Deux exceptions ont pu être mises en évidence sur les journées du 2 et 5 août 2020 avec la présence simultanée, sur une durée de 30 minutes à 1 heure, de plongeurs et du corb commun. Sur ces journées, les activités de plongée sont courtes et les signaux acoustiques associés aux plongeurs sont peu intenses (V.2.3.a. ). La présence du corb commun en simultanée avec la présence de plongeurs est donc erratique.

Les émissions acoustiques associées au mérou brun (*Epinephelus marginatus*) ainsi qu'aux espèces indéterminées n°1 et n°2 ont toutes été détectées en période nocturne entre 20h30 et 3h30 UTC (V.3.2. ). Par conséquent, aucune de ces espèces n'a été observée en simultané avec la présence de plongeurs sur site. Trois hypothèses peuvent être émises quant à cette absence de détection acoustique en journée :

- Hypothèse concernant la biologie animale : ces trois espèces émettent uniquement des signaux acoustiques durant la nuit à des fins de chasse ou de reproduction. Par exemple, le mâle mérou brun est connu pour émettre des sons en période de reproduction entre juillet et août, et ce principalement durant la nuit (Bertucci et al., 2015). Dans ce contexte, il est peu probable que le bruit des plongeurs ait un impact sur leur présence en journée ;
- Hypothèse concernant les pressions anthropiques : soit ces trois espèces de poissons sont moins actives vocalement afin de rester discrètes face à la présence des plongeurs dans la colonne d'eau, soit elles se cachent en présence de plongeurs. Par exemple, le mérou brun vivant à proximité de cavités ou de grottes peut facilement s'y abriter en journée si ce dernier prend peur en présence de plongeurs. Dans ce contexte, il est supposé que le bruit associé aux activités de plongée joue un rôle sur la fréquentation du site par ces poissons ;
- Hypothèse concernant les pressions anthropiques : les signaux acoustiques des espèces indéterminées peuvent subir un effet de masquage en journée avec la présence du trafic sur site, principalement induit par les activités de plongée. Les poissons sont bien présents sur site mais il est difficile de les détecter auditivement et visuellement (Figure 40). Dans ce contexte, il s'agit du bruit annexe provoqué par les activités de plongée qui est mis en cause concernant l'absence acoustique de ces poissons.

Il est important de noter qu'à la vue du faible nombre d'observation des signaux émis par les espèces indéterminées n°1 et n°2, il est difficile de conclure sur une éventuelle corrélation entre les activités de plongée et ces espèces.

**Tableau 9 : Synthèse générale sur la présence des activités biologiques au niveau de la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls (RNMCB) mises en regard avec la présence des activités de plongée et le trafic induit entre le 29 juillet et 5 août 2020.**

Activités biologiques			Benthos	Corb commun <i>Sciaena umbra</i>	Mérou brun <i>Epinephelus marginatus</i>	Espèce indéterminée n°1 (signaux de type « downsweep »)	Espèce indéterminée n°2 (train de signaux impulsifs BF)
Activités de plongée (2 créneaux horaires/jours lorsque la météo est favorable)	En dehors	Avant	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
		Après					
	Pendant		Oui	Erratique	Non	Non	Non
Durant le trafic induit			Oui	Oui	Oui	Non	Non
Météo	Favorable		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
	Défavorable (absence d'activités de plongée)		Oui	Erratique	Non	Non	Erratique

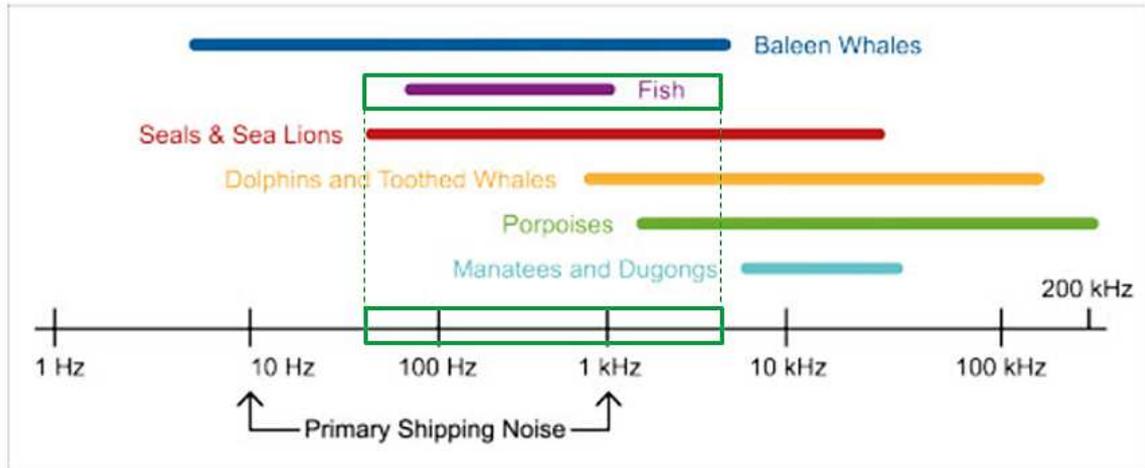


Figure 40 : Diagramme croisé sur les fréquences d'émissions du bruit anthropique et des signaux acoustiques de la faune marine. La bande d'émission des signaux acoustiques des poissons (50 Hz à 1 kHz) se confond avec celle du bruit généré par les navires dans la colonne d'eau. Ce phénomène peut donner lieu à un effet de masquage<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Source : <https://www.maritime-executive.com/features/noise-control-at-sea-and-in-ports>

## V.5. Synthèse

Suite à l'analyse auditive et visuelle des enregistrements entre le 29 juillet et 5 août 2020, il a été mis en évidence :

- L'absence systématique de signatures acoustiques de poissons en présence des bruits associés aux plongeurs (respiration) lors d'une période météo favorable aux activités de plongée (Figure 41) ;
- La présence exceptionnelle de signatures acoustiques de poissons, principalement le corb commun (*Sciaena umbra*), en présence des bruits associés aux plongeurs lors d'une météo mitigée avec l'arrivée de forts coups de vent en milieu d'après-midi sur la journée du 2 août 2020 (Figure 42). Sur cette journée, il a été possible de noter une baisse des activités de plongée avec l'observation d'un seul créneau horaire sur une courte durée ;
- La présence moindre de signatures acoustiques de poissons en période de météo défavorable aux activités de plongée (Figure 43).

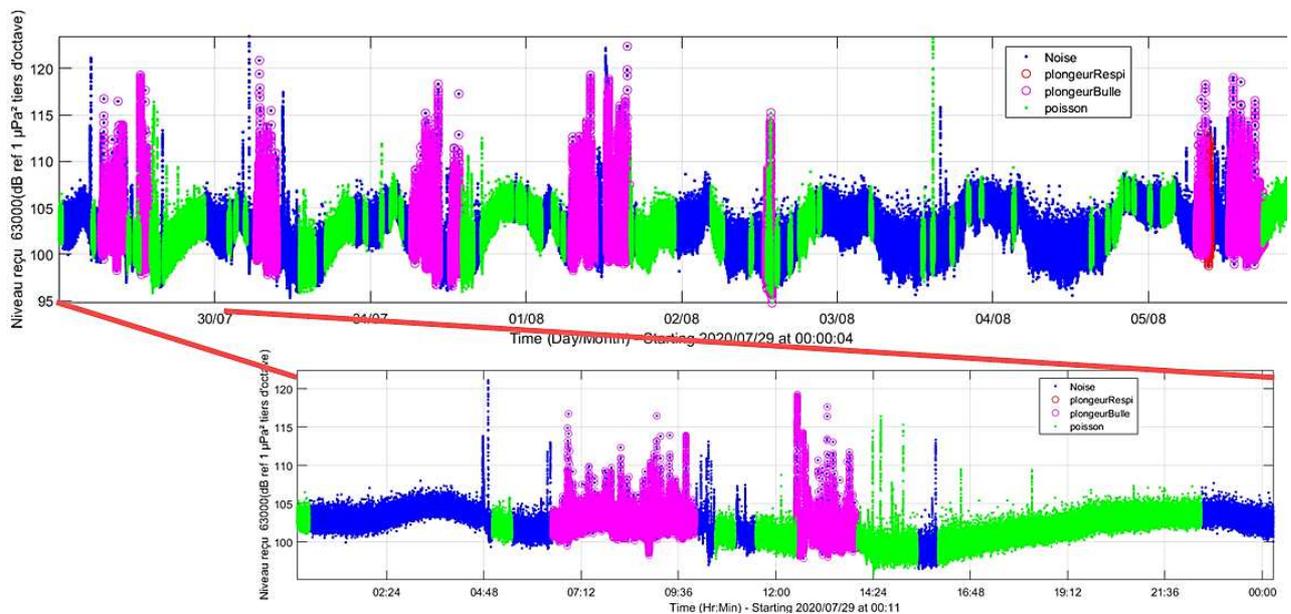


Figure 41 : Niveau sonore reçu à l'hydrophone (dB ref  $1 \mu\text{Pa}^2$  tiers d'octave) entre le 29 juillet et 5 août 2020, avec un agrandissement sur la journée du 29 juillet 2020 (période météo favorable aux activités de plongée).

**Bleu : bruit ambiant ; Vert : présence de signatures de poissons ; Rose / Rouge : présence de signatures de plongeurs (respiration, bulles, mouvement d'eau).**

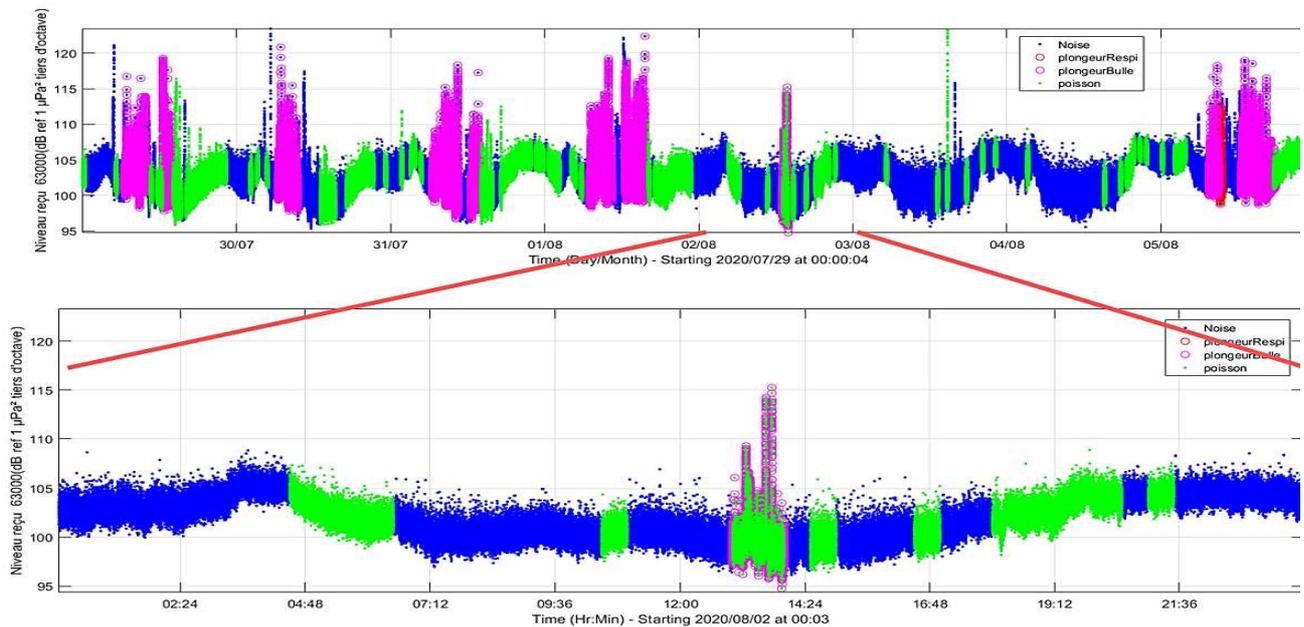


Figure 42 : Niveau sonore reçu à l'hydrophone (dB ref 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup> tiers d'octave) entre le 29 juillet et 5 août 2020, avec un agrandissement sur la journée du 2 août 2020. Début d'une météo défavorable en milieu de cette journée avec une baisse des activités de plongée (un seul créneau détecté sur une courte durée).

**Bleu :** bruit ambiant ; **Vert :** présence de signatures de poissons ; **Rose / Rouge :** présence de signatures de plongeurs (respiration, bulles, mouvement d'eau).

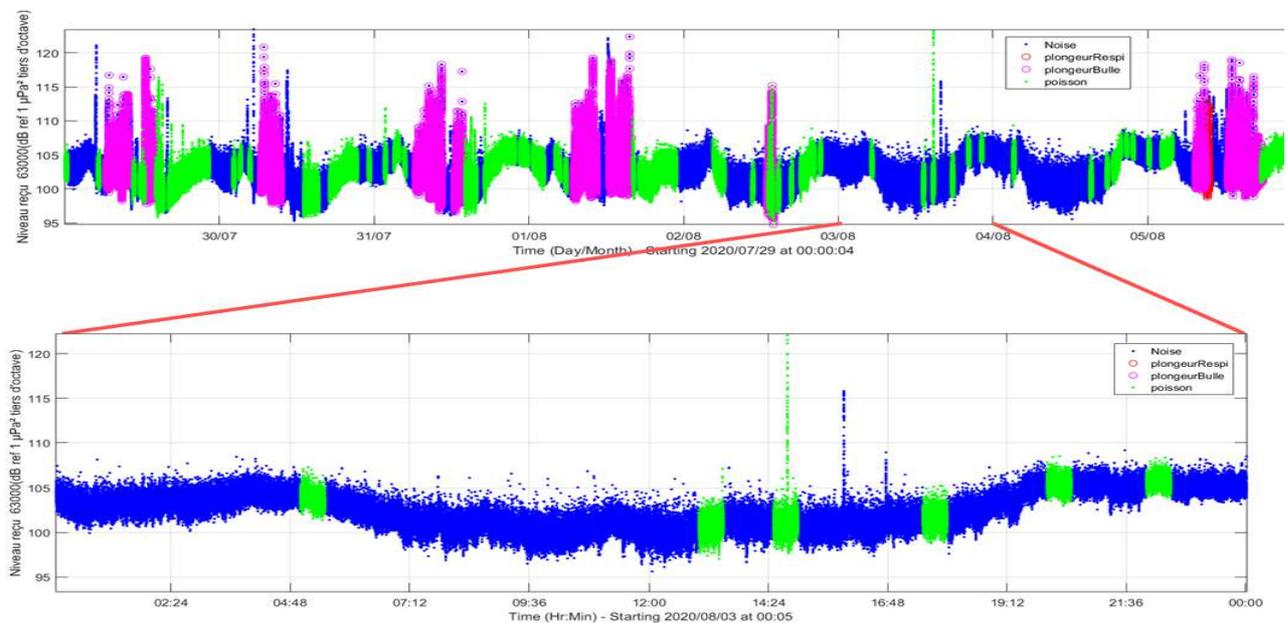


Figure 43 : Niveau sonore reçu à l'hydrophone (dB ref 1 $\mu$ Pa<sup>2</sup> tiers d'octave) entre le 29 juillet et 5 août 2020, avec un agrandissement sur la journée du 03 août 2020 (période météo défavorable aux activités de plongée).

**Bleu :** bruit ambiant ; **Vert :** présence de signatures de poissons.

## Chapitre VI. Conclusions et recommandations

Cette étude a permis à partir de mesures in-situ spécifiques d'établir le gabarit de bruit émis par un plongeur en activité. Le niveau large bande est ainsi estimé à  $134 \pm 2$  dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2@1\text{m}$  dans la bande 10Hz à 100kHz. Cette estimation se base sur une campagne effectuée le 7 juillet 2020 dans des conditions environnementales qui induisent une distance de perception du bruit d'un plongeur jusqu'à 50 m.

Une seconde campagne de mesures d'acoustique passive sur une durée de 32 jours du 7 juillet au 10 août 2020 a permis de caractériser le bruit existant au large du Cap d'Abeille. Durant cette période, le bruit médian était de 121,1 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2$  avec une augmentation de 2,8 dB du niveau sonore durant la phase nocturne en raison de l'accroissement d'activité des organismes benthiques. Cette augmentation de bruit est classique pour ce type d'habitat rocheux. Durant la période diurne, le bruit subit une augmentation significative du bruit pouvant passer de 115 dB à 150 dB réf.  $1\mu\text{Pa}^2$  en raison des passages des navires dans la zone de mesure. En moyenne chaque jour, 42 passages ont été observés entraînant pendant une durée inférieure à 5 minutes des émergences sonores comprise entre 5 et 20dB au-dessus du bruit ambiant. En d'autres termes, les navires de support à la plongée engendrent une émergence du bruit 30 % du temps durant la période diurne. Sur ce site, le bruit environnemental est fortement conditionné par les hétérogénéités de la nature des fonds marins et par la hauteur des vagues pouvant induire des écarts de 10 dB en fonction de la période.

En utilisant la plateforme de modélisation du bruit Quonops et à partir du gabarit de bruit émis par un plongeur, un scénario fictif d'utilisation du site par les plongeurs a permis de cartographier l'empreinte sonore de cette activité en comparaison du bruit naturel. Cette cartographie ne peut prendre en compte le bruit de des embarcations sur ce site en l'absence de données AIS pour ce type de navire. Cette cartographie d'empreinte sonore peut ainsi servir de base d'outil de management de mesure de gestion du point de vue des perturbations acoustiques.

Une analyse bioacoustique spécifique et exhaustive d'une fraction de la donnée recueillie par l'enregistreur acoustique passif au niveau de la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls (RNMCB) a été réalisée entre le 29 juillet et 5 août 2020. Cette analyse a permis de définir le paysage acoustique du site ainsi que sa fréquentation.

La fréquentation biologique du site est caractérisée par la présence d'organismes benthiques et de différentes espèces de poissons comme le corb commun (*Sciaena umbra*) et le mérrou brun (*Epinephelus marginatus*). Aucun signal émis par des mammifères marins n'a été détecté dans l'ensemble des enregistrements analysés.

Le bruit émis par les organismes benthiques est omniprésent sur l'ensemble de la période d'étude, avec une intensité plus importante durant la nuit (+2,8dB). Le corb commun est l'espèce de poisson la plus observée sur site, principalement aux transitions jour / nuit. Les trois autres espèces de poissons, c'est-à-dire le mérrou brun et deux espèces indéterminées, ont toutes été détectées en période nocturne.

La recherche de corrélations entre les activités biologiques et la présence de plongeurs sur site a permis de mettre en évidence :

- L'absence fréquente de signatures acoustiques de poissons durant les activités de plongées en période de météo favorable ;
- La moindre présence acoustique de poissons en période de météo défavorable (forts coups de vent) et donc en l'absence de plongeurs sur site.

La présence acoustique des poissons principalement en période nocturne semble être liée à la biologie et au mode de vie de ces derniers. Outre cette hypothèse, il est supposé que (i) les poissons sont effrayés par la présence de plongeurs sur site et se cachent en journée ou (ii) que les signaux acoustiques des poissons sont masqués par le bruit du trafic maritime induit par les activités de plongée. Dans les deux cas, les bruits associés aux activités de plongée pourraient avoir un effet à long terme sur la socialisation et la chasse chez les poissons.

Afin de confirmer ou d'infirmer l'absence de signatures acoustiques des poissons en présence du bruit des plongeurs et donc d'approfondir ces hypothèses, SEANEO et Quiet Oceans recommandent de réaliser une

campagne spécifique de mesures avant la saison de plongée en période de météo favorable afin d'établir les périodes préférentielles d'émission sonore des poissons dans une journée.

---

## Bibliographie

- Bertucci, F., Lejeune, P., Payrot, J., & Parmentier, E. (2015). Sound production by dusky grouper *Epinephelus marginatus* at spawning aggregation sites. *Journal of Fish Biology*, 87(2), 400–421. <https://doi.org/10.1111/jfb.12733>
- Breeding, J., Pflug, L. A., Bradley, M., Walrod, M. H., & McBride, W. (1996). Research Ambient Noise Directionality (RANDI) 3.1 Physics Description. *Naval Research Laboratory*.
- Desiderà, E., Guidetti, P., Panzalis, P., Navone, A., Valentini-Poirrier, C. A., Boissery, P., ... Iorio, L. Di. (2019). Acoustic fish communities: Sound diversity of rocky habitats reflects fish species diversity. *Marine Ecology Progress Series*, 608(November), 183–197. <https://doi.org/10.3354/meps12812>
- Di Iorio, L., Bonhomme, P., Michez, N., Ferrari, B., Gigou, A., Panzalis, P., ... Gervaise, C. (2020). *Spatio-temporal surveys of the brown meagre *Sciaena umbra* using passive acoustics for management and conservation*. <https://doi.org/10.1101/2020.06.03.131326>
- Di Iorio, L., & Gervaise, C. (2020). *Guide pour le suivi par acoustique passive des corbs : de la prise de mesures à la gestion*. 31.
- 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. *Animal Conservation*, 21(3), 211–220. <https://doi.org/10.1111/acv.12362>
- Ross. (1976). *Mechanics of Underwater Noise*. In *Pergamon, New York*.
- Wagstaff, R. A. (1973). *RANDI: Research Ambient Noise Directionality Model*. (NUVTP349), 82.
- Wenz, G. M. (1962). Acoustic Ambient Noise in the Ocean: Spectra and Sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 34(12), 1936–1956. <https://doi.org/10.1121/1.1909155>