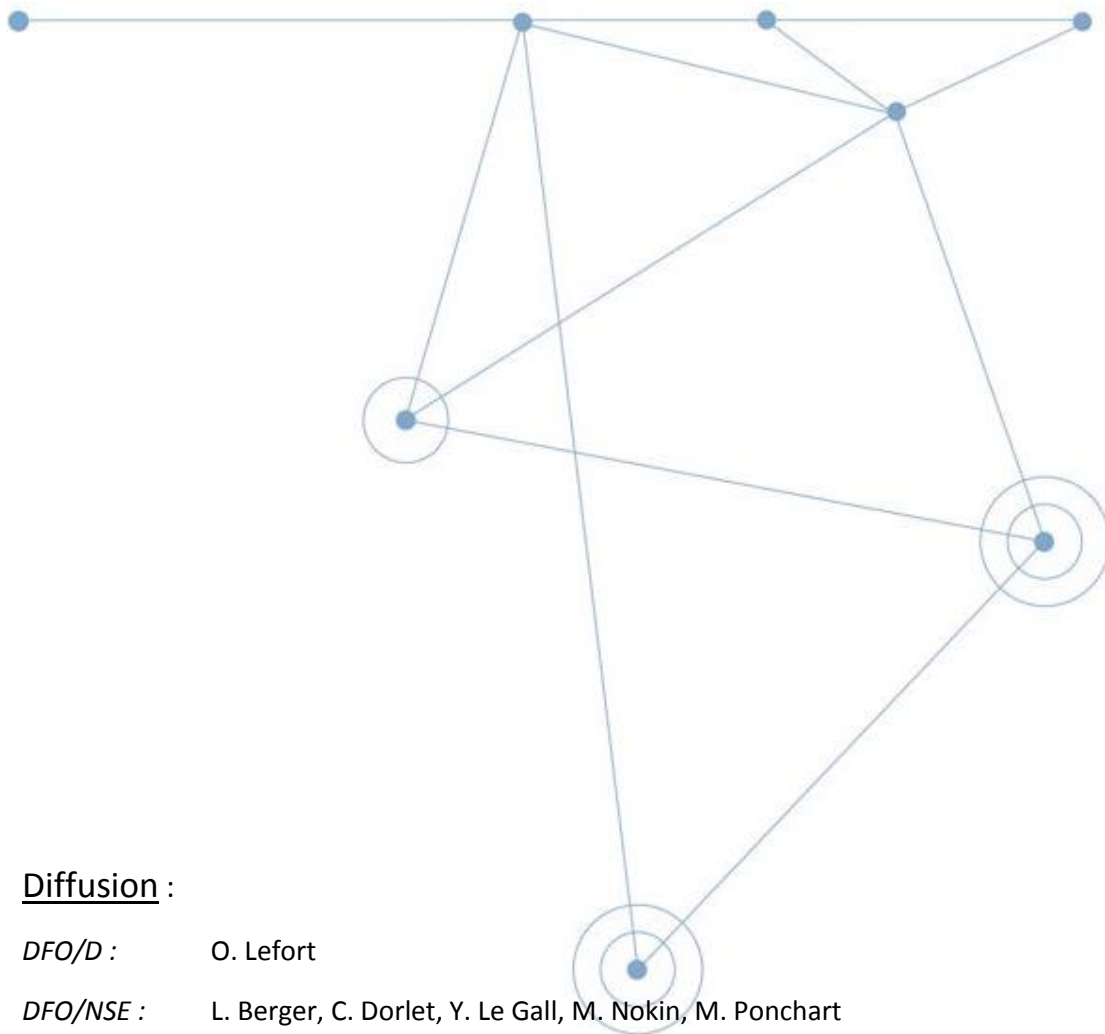


# Campagne *MANTA-RAY* N/O *L'Atalante*

## Analyse des risques sonores potentiels



### Diffusion :

*DFO/D* : O. Lefort

*DFO/NSE* : L. Berger, C. Dorlet, Y. Le Gall, M. Nokin, M. Ponchart

*DFO/PON* : G. Peltier, A. Feld, M. Denniel, F. Perroud, O. Quédec

*GENAVIR* : R. Balcon, F. Benon, J.Y. Tous

## Fiche documentaire

<b>Titre du rapport : Campagne <i>MANTA-RAY N/O L'Atalante</i>. Analyse des risques sonores potentiels</b>					
<b>Référence interne :</b> ASTI-2021-230			<b>Date de publication :</b> 30/08/2021		
<b>Diffusion :</b> <input checked="" type="checkbox"/> libre (internet)  <input type="checkbox"/> restreinte  <input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ			<b>Version :</b> 1.0.0  <b>Référence de l'illustration de couverture</b>  <b>Langue(s) :</b>		
<b>Résumé/ Abstract :</b> Ce document présente l'évaluation des risques sonores potentiels de la campagne scientifique <i>MANTA-RAY</i> sur les mammifères marins, et les mesures de protection proposées.					
<b>Mots-clés/ Key words :</b> Sismiques réflexion, réfraction et haute résolution, sondeurs multifaisceaux, sondeur de sédiments, mammifères marins, risques acoustiques, mesures de mitigation, <i>N/O L'Atalante</i>					
<b>Comment citer ce document :</b>					
<b>Disponibilité des données de la recherche :</b>					
<b>DOI :</b>					
<b>Révisions :</b>					
<i>Indice</i>	<i>Objet</i>	<i>Date</i>	<i>Rédigé par</i>	<i>Vérifié par</i>	<i>Approuvé par</i>
1	Création	30/08/2021	C. Ducatel	Y. Le Gall	M. Nokin

## TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>PRESENTATION DU PROJET DE RECHERCHE.....</b>	<b>7</b>
1.1	Contexte et objectifs .....	7
1.2	Zone d'étude .....	8
1.3	Equipements scientifiques .....	10
<b>2</b>	<b>DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT ET REGLEMENTATION .....</b>	<b>12</b>
2.1	Caractéristiques biologiques .....	12
2.1.1	Mammifères marins .....	12
2.1.2	Tortues.....	14
2.2	Réglementation .....	14
<b>3</b>	<b>EVALUATION DES RISQUES SONORES .....</b>	<b>15</b>
3.1	Principe.....	15
3.2	Caractéristiques acoustiques des sources acoustiques .....	16
3.2.1	Description de la source S <sub>1</sub> .....	16
3.2.2	Description de la source S <sub>2</sub> .....	17
3.2.3	Autres sources sonores .....	18
3.3	Résultats de l'évaluation .....	19
<b>4</b>	<b>PROTOCOLE DE MITIGATION .....</b>	<b>20</b>
4.1	Espèces concernées.....	20
4.2	Mesures appliquées durant la campagne .....	21
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>ANNEXES .....</b>	<b>25</b>
7.1	Annexe 1 : Références des principaux guides et conventions .....	25
7.2	Annexe 2 : Groupes de cétacés en fonction de leurs sensibilités auditives.....	26

## GLOSSAIRE

**BF** : Basse Fréquence

**Bonnes conditions d'observation** : En période diurne, avec un état de mer inférieur ou égal à 3 Beaufort, et une zone d'exclusion entièrement visible.

**Conditions d'observation limites** : l'observation visuelle est tout de même possible jusqu'à 5 Beaufort si la zone d'exclusion est dégagée. D'autres critères (état de mer, nébulosité, ...) conditionnent les conditions d'observation. Par conséquent, il revient au responsable de l'équipe MMOs de juger de l'état des conditions météorologiques permettant l'observation visuelle.

**Classe 1** : source sismique dont le volume total est supérieur à 500 in<sup>3</sup>

**Classe 2** : source sismique dont le volume total est inférieur à 500 in<sup>3</sup>

**CDB** : Convention sur la Diversité Biologique

**CMS** : Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage

**CPA** : *Closest Point of Approach*, point d'approche le plus proche

**DCSMM** : Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin

**DFO** : Direction de la Flotte Océanographique

**Espèces concernées (EC)**: regroupe les espèces de mammifères marins pour lesquelles ce protocole s'applique. Il s'agit de l'ensemble des mysticètes, des grands odontocètes (cachalot, orque, fausse orque, globicéphale, baleine à bec, dauphin de Risso) et des cétacés appartenant au genre des kogia (cachalot pygmée et cachalot nain). Le protocole ne tient pas compte des petits delphinidés, à l'exception des espèces protégées par la réglementation en vigueur de l'Etat riverain. Les tortues marines sont aussi considérées comme des espèces concernées et font l'objet de mesures de mitigation spécifiques.

**HF** : Haute Fréquence

**HR** : Haute Résolution

**MCS** : *Multi Channel Seismic*, Sismique multi-traces

**MM**: Mammifères Marins

**MMO** : *Marine Mammal Observer*, observateur de mammifères marins

**NMFS** : *National Marine Fisheries Service*, Service National de la Pêche Maritime

**NOAA** : *National Oceanic and Atmospheric Administration*, Agence Nationale d'Observation Océanique et Atmosphérique

**NP** : Non Pondéré

**OBS** : Ocean Bottom Seismometer, Sismomètre fond de mer

**OMI** : Organisation Maritime Internationale

**OSPAR** : Convention sur la Protection du Milieu Marin du Nord –Est Atlantique.

**OW**: *Otarid pinnipeds underwater*, Pinnipèdes otariidés sous-marins

**PAM (*Passive Acoustic Monitoring*)** : système de détection, d'identification et de localisation par acoustique passive. Il s'agit en général d'une flûte remorquée intégrant un réseau d'hydrophones, complétée par son système de traitement de signaux incluant des logiciels spécifiques.

**PT** : Pertes de Transmission

**PTS** : *Permanent Threshold Shift*, Décalage permanent du seuil d'audition

**PW** : *Phocid pinnipeds underwater*, Pinnipèdes phocidés sous-marins

**RMS** : *Root Mean Square*, moyenne quadratique

**SEL** : *Sound Exposure Level*, niveau d'exposition sonore ou énergie sonore intégrée au cours du temps

**SEL<sub>CUM</sub>** : Niveau d'exposition sonore cumulé

**SL** : *Sound Level*, Niveau d'émission

**SL<sub>PK</sub>** : *Peak Sound Level*, Niveau d'émission crête

**SPL** : *Sound Pressure Level*, Niveau sonore reçu

**SPL<sub>PK</sub>** : *Peak Sound Pressure Level*, Niveau sonore crête reçu

**Soft-start (ou ramp-up):** procédé de démarrage progressif des émissions sismiques destiné à augmenter le niveau sonore jusqu'à sa valeur nominale atteinte après une durée déterminée.

**TTS :** *Temporary Threshold Shift*, Décalage temporaire du seuil d'audition

**UE :** Union Européenne

**WF:** *Weighted Function*, Fonction de Pondération

**ZEE :** Zone Economique Exclusive

**Zone d'alerte :** cercle centré sur la source acoustique dont le rayon est fixé à 1,5 km pour les observations visuelles et non délimité pour les détections acoustiques. Une vigilance renforcée est appliquée si une espèce concernée est observée à l'intérieur de cette zone.

**Zone d'exclusion (Zex) :** cercle centré sur la source acoustique dont le rayon est fixé à 500 m pour les sources sismiques de classe 1. Les tirs sismiques sont arrêtés si une espèce concernée est observée à l'intérieur de cette zone.

# 1 PRESENTATION DU PROJET DE RECHERCHE

La campagne scientifique *MANTA-RAY* est une campagne océanographique évaluée par la Commission Nationale de la Flotte Hauturière dans le cadre des appels d'offres annuels. Le projet scientifique *MANTA-RAY* s'inscrit dans la continuité des travaux de recherches antérieurs (*ANTITHESIS* 2013 et 2016). Il vise à améliorer les connaissances des processus géodynamiques des Petites Antilles, zones soumises au risque des grands séismes de subduction. La campagne scientifique est préprogrammée à bord du *N/O L'Atalante* de fin avril à mi-juin 2022 en deux legs.

Parmi les équipements océanographiques qui seront déployés depuis le navire, des sources sismiques seront notamment mises en œuvre, pour répondre aux objectifs scientifiques. L'utilisation de ces sources implique une analyse préalable des risques sonores [1] sur les mammifères marins potentiellement présents sur zone ainsi que la définition de mesures éventuelles de mitigation. A cet effet, le présent document décrit dans un premier temps les enjeux et objectifs scientifiques et présente ensuite l'analyse de risques sonores de la campagne scientifique *MANTA-RAY*.

## 1.1 Contexte et objectifs

*Chapitre rédigé par les chefs de mission de la campagne scientifique MANTA-RAY : Frauke Klingelhofer (IFREMER) et Boris Marcaillou (GéoAzur, CNRS).*

Les Petites Antilles incluent les uniques départements Français à être directement soumis au risque des grands séismes de subduction. Malgré ce risque avéré, cette zone a subi une sismicité relativement modérée comparativement à d'autres marges du globe telles que le Japon par exemple. Une des raisons possibles de cette relative quiescence, et que nous souhaitons étudier ici, est que la marge des Petites Antilles est soumise, cas très rare dans le monde, à la subduction d'un socle océanique cristallisé le long d'une dorsale lente. Comparativement aux croûtes accrétées à des taux d'accrétions plus hauts, les socles issus de dorsales lentes sont constitués d'une grande quantité de matériel ultramafique issu du manteau supérieur exhumé et serpentinisé.

Au cours de l'enfoncement du slab dans la zone de subduction, l'eau stockée dans les serpentinites est libérée à des profondeurs de 30-60 km, canalisée par des systèmes de failles à travers la plaque chevauchante et émerge au fond de la mer formant des figures d'échappement de fluides tels que des volcans de boue par exemple. Des profils de sismique réflexion, acquis pendant les campagnes Antithesis (2013-2016), montrent des séries de réflecteurs de forte amplitude dans le socle de l'océan Atlantique, pentés vers la dorsale medio-océanique et qui s'étendent du toit du socle jusqu'à une profondeur d'environ 15 km dans le manteau supérieur. Ces séries de réflecteurs et l'absence de Moho, dans cette zone uniquement, suggèrent la présence, au sein de la croûte de l'Océan Atlantique, d'un patch de manteau supérieur exhumé et affecté de plans de fracture et de cisaillement profonds associés aux failles de détachement de la dorsale lente medio-Atlantique.

La campagne à la mer "Manta-ray" propose d'étudier l'influence de ce socle ultramafique sur la déformation tectonique, les circulations fluides et la sismogénèse de la zone de subduction. Dans un premier temps, la campagne se focalisera sur l'étude de la nature, de la lithologie, des caractéristiques mécaniques et des teneurs en fluide de la plaque plongeante juste avant son entrée en subduction. Nous acquerrons, pour cela des données bathymétrie, de magnétisme, de sismique réflexion basse fréquence et des données 3D de sismique grand angle. Nous chercherons notamment à confirmer l'existence du patch de manteau exhumé, en définir l'exacte extension et caractériser les variations de teneur en fluides liées à la présence des plans de cisaillement profonds. Dans un deuxième temps, une comparaison de la composition et de la vigueur des échappements

fluides liés à la déshydratation de ce patch de manteau en comparaison de ceux liés à la déshydratation d'une croûte mafique plus au sud sera effectuée. Nous procéderons pour cela à l'imagerie précise des structures d'échappements fluides dans ces zones puis à l'échantillonnage des sédiments et des fluides par carottage.

Ainsi, les objectifs prioritaires de la campagne Manta-ray sont de définir la nature et l'origine tectonique des réflecteurs profonds, de caractériser l'influence de ce socle ultramafique sur la sismicité de la région et de quantifier l'impact de la subduction d'un socle océanique de dorsale lente sur les bilans de circulation fluide.

## 1.2 Zone d'étude

La campagne scientifique *MANTA-RAY* est préprogrammée à bord du *N/O L'Atalante* du 30 avril au 22 juin 2022 au niveau de l'arc des Petites Antilles. La Figure 1 représente la zone d'étude.



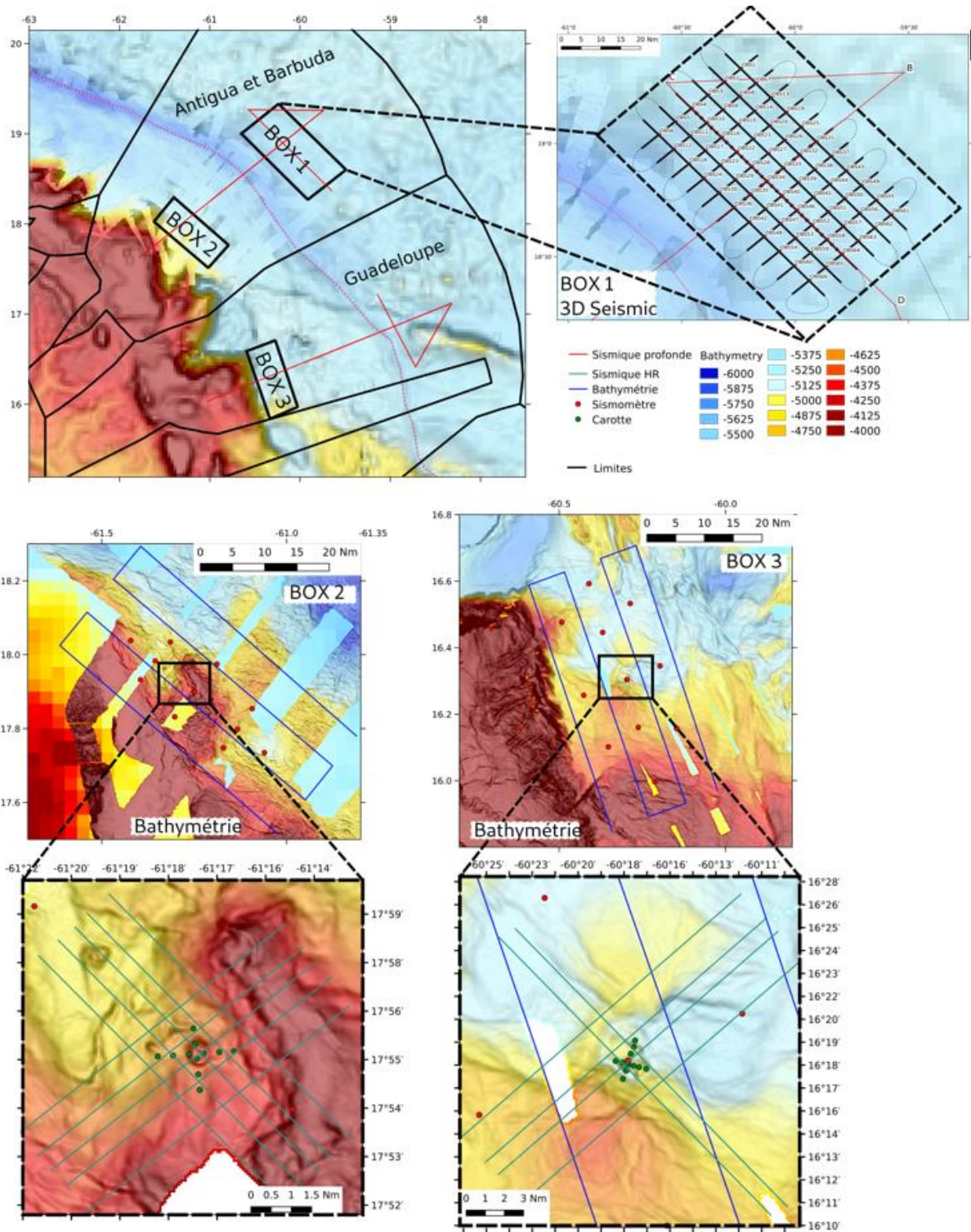


Figure 1: Plan de position de la campagne MANTA RAY, Sismique profonde (Classe 1) et HR High-Resolution (Classe 2)

Pour collecter les informations permettant de répondre aux hypothèses posées par le projet scientifique *MANTA-RAY*, plusieurs équipements océanographiques seront alors utilisés : sismique, magnétomètre, sondeurs multifaisceaux, sondeur de sédiments.

**Les acquisitions sismiques se dérouleront sur une durée inférieure à 17 jours uniquement lors du deuxième leg, du 18 mai au 22 juin 2022.** La durée totale de cette deuxième partie de campagne scientifique est de 36 jours.

### 1.3 Équipements scientifiques

Parmi les instruments océanographiques qui seront mis en œuvres plusieurs équipements acoustiques seront nécessaires.

Trois types de sources sismiques seront utilisées lors de la campagne *MANTA-RAY*. Ces équipements permettent de caractériser la structure géologique des fonds marins (Figure 2). Chaque strate réfléchit et réfracte les ondes différemment en fonction de ses propriétés physiques. Cette technique consiste à envoyer vers les fonds marins, à partir d'un navire, des ondes acoustiques basses fréquences de forte intensité. L'analyse des signaux reçus par une flûte sismique, longue antenne linéaire tractée à l'arrière du navire contenant des hydrophones, permet ensuite d'identifier la nature des différentes strates traversées par les ondes (Figure 3). Les sources utilisées aujourd'hui, sont principalement des canons à air. Ils libèrent brusquement dans la colonne d'eau un volume variable d'air sous pression, créant ainsi une source sonore de type impulsionnel.

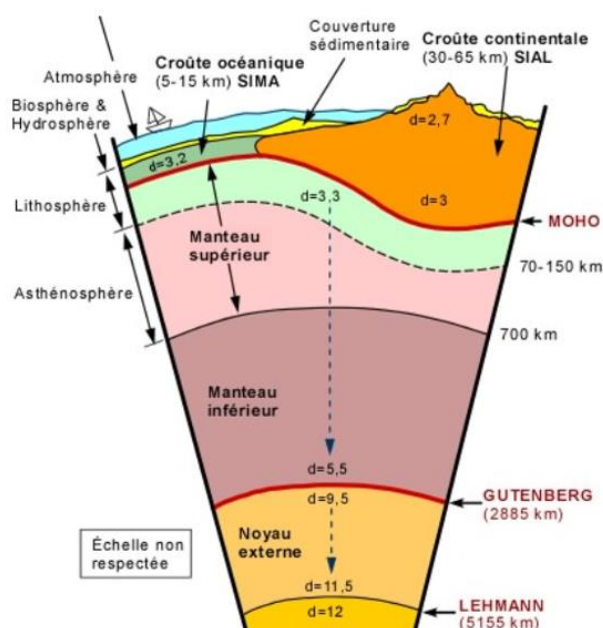


Figure 2 : Structure interne de la Terre. Source : <http://www2.ggl.ulaval.ca>

**Le niveau émis dépend de la capacité du canon (volume d'air libéré), de la pression exercée sur ce volume et du nombre de canons mis en œuvre.** Les sources sismiques peuvent être classées en fonction du volume d'air total libéré. Si ces deux classes reposent sur le même principe, les résultats obtenus sont bien différents. Les sources de Classe 1, définies par l'Ifremer [1, 2], dont le volume d'air total ( $V_T$ ) est supérieur à  $500 \text{ in}^3$ , permettent d'imager à l'échelle régionale l'ensemble de la couverture sédimentaire mais également le socle jusqu'au Moho (Voir Figure 2). La couverture sédimentaire superficielle (de l'ordre de 50 m à 2 km sous le fond marin) est quant à elle imagée en détail (résolution fine) grâce aux sources de plus faibles volumes, appartenant à la Classe 2 ( $V_T < 500 \text{ in}^3$ ).

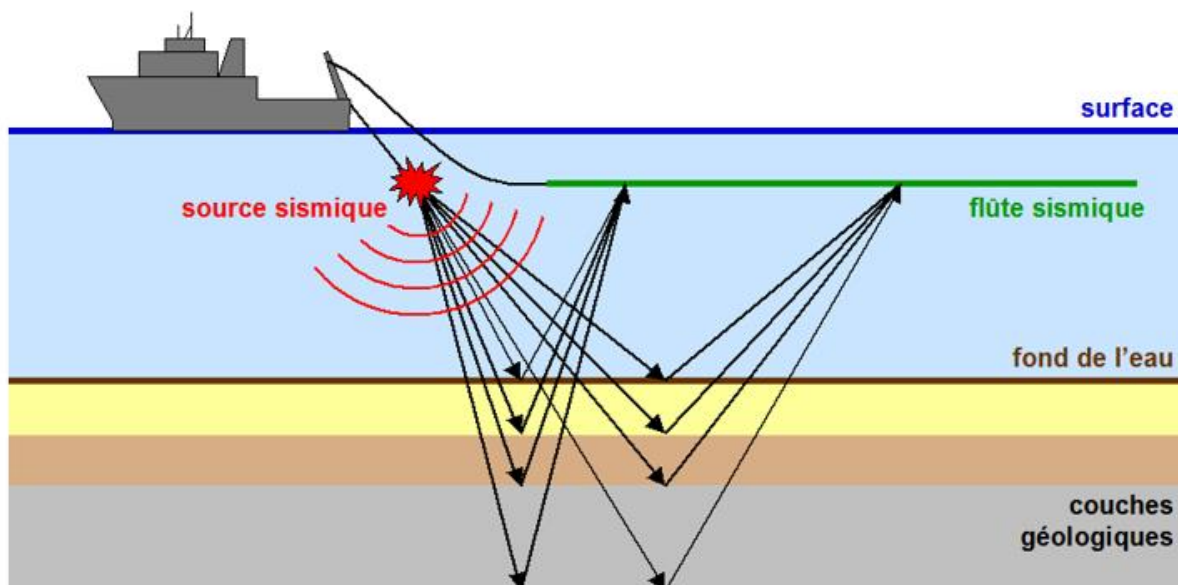


Figure 3 : Principe de fonctionnement de la sismique réflexion

Pour répondre aux objectifs scientifiques de la campagne *MANTA RAY*, deux sources  $S_1$  (MCS) et  $S_2$  (OBS), appartenant à la Classe 1 et une source  $S_3$  (HR) de plus faible volume appartenant à la Classe 2 seront mises en œuvre.

Un sondeur de sédiments de coque (Ixblue Echoes 3500) viendra également compléter les données acquises par la sismique (Figure 4). Ce sondeur permet de visualiser à très haute résolution les strates sédimentaires enfouies jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur (Figure 5).



Figure 4 : Sondeur de Sédiments Ixblue Echoes 3500

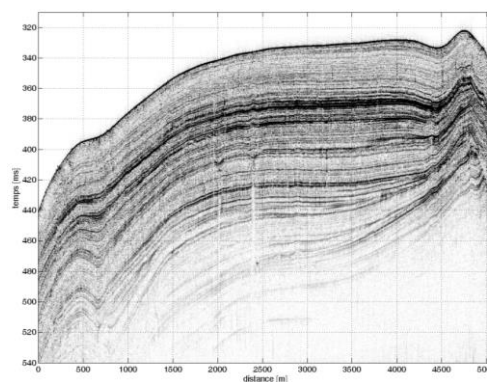


Figure 5 : Exemple de données acquises par le sondeur de sédiments Ixblue Echoes 3500

Le sondeur multifaisceau de coque Kongsberg EM122 du *N/O L'Atalante* sera également utilisé afin de cartographier la zone d'étude pour obtenir des relevés topographiques du relief sous-marin et/ou des images sonar présentant la réflectivité locale du fond, et donc sa nature.

**Les données acquises par chacun de ces équipements sont complémentaires et indispensables à la bonne compréhension des mécanismes et processus géophysiques de la région.**

## 2 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT ET REGLEMENTATION

### 2.1 Caractéristiques biologiques

L'ensemble de la ZEE des Antilles françaises constitue le sanctuaire de mammifères marins Agoa, reconnu comme aire marine protégée depuis 2012 au titre du protocole SPAW (*Specially Protected Areas and Wildlife*), protocole relatif à la biodiversité marine et côtière de la Caraïbe dans le cadre de la convention de Carthagène. La biodiversité marine est aujourd'hui reconnue comme une grande richesse des Petites Antilles du patrimoine naturel.

#### 2.1.1 Mammifères marins

Les Petites Antilles françaises sont représentatives de la diversité des espèces de mammifères marins des Caraïbes, avec plus d'une vingtaine d'espèces recensées sur une trentaine susceptible de l'être dans les eaux des Caraïbes. Le suivi sur le long terme et la campagne de recensement de la mégafaune marine par survols aérien REMOA<sup>1</sup> ont mis en évidence une grande diversité de cétacés mais une densité relativement faible. Les habitats préférentiels semblent être l'ensemble du talus continental (zone d'habitat propriétaire) à l'est de l'arc antillais, des zones importantes plus au large à l'est de la Martinique, à l'ouest de la Guadeloupe et à l'est de Saint Martin et Saint-Barthélemy.

Les Petites Antilles sont connues pour abriter diverses communautés de mammifères marins. Les plus emblématiques sont le cachalot (*Physeter macrocephalus*) et la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*). Cette dernière est présente dans les Petites Antilles de manière saisonnière de décembre à avril où les eaux chaudes conviennent mieux à l'accouplement et à la mise bas. Puis elles remontent s'alimenter dans les eaux froides et riches de l'Atlantique Nord. Cette espèce est facile à observer car elle s'approche des côtes et attire de nombreux touristes.

D'autres espèces de cétacés, telles que *Stenella attenuata*, sont fréquemment observées dans ces eaux. Cette zone représente une aire d'alimentation pour certaines espèces mais aussi une zone de reproduction et de mise-bas pour d'autres. Le pic des observations est en février. Selon l'Union Internationale de Conservation de la Nature (UICN Liste Rouge) certaines espèces sont considérées comme vulnérables. Le Tableau 1 liste les espèces de mammifères marins qui pourraient être observées au cours de la campagne scientifique MANTA RAY.

La campagne scientifique a été programmée en fonction des contraintes logistiques et de façon à éviter le plus possible les périodes de haute fréquentation de la zone d'étude par les mammifères marins, limitant ainsi considérablement l'impact.

---

<sup>1</sup> Programme REMOA mis en œuvre par l'Observatoire Pelagis sous l'égide de l'Agence des Aires Marines Protégées.

Nom latin	Nom commun	Statut UICN
<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	Baleine de Minke	LC
<i>Balaenoptera borealis</i>	Rorqual Boréal	EN
<i>Balaenoptera edeni</i>	Rorqual de Bryde	DD
<i>Balaenoptera musculus</i>	Rorqual Bleu	EN
<i>Balaenoptera physalus</i>	Rorqual commun	EN
<i>Eubaleana glacialis</i>	Baleine Franche de l'Atlantique Nord	EN
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Baleine à Bosse	LC
<i>Delphinus capensis</i>	Dauphin à long Bec	DD
<i>Delphinus delphis</i>	Dauphin commun	LC
<i>Feresa attenuata</i>	Orque Pygmé	DD
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Globicéphale tropical	DD
<i>Grampus griseus</i>	Dauphin de Risso	LC
<i>Kogia breviceps</i>	Cachalot pygmé	DD
<i>Kogia sima</i>	Cachalot nain	DD
<i>Lagenodelphis hosei</i>	Dauphin de Fraser	LC
<i>Mesoplodon bidens</i>	Baleine à bec de Sowerby	DD
<i>Mesoplodon densirostris</i>	Baleine à bec de Blainville	DD
<i>Mesoplodon europaeus</i>	Baleine à bec de Gervais	DD
<i>Mesoplodon mirus</i>	Baleine à bec de True	DD
<i>Orcinus orca</i>	Orque	DD
<i>Peponocephala electra</i>	Dauphin d'Électre	LC
<i>Stenella attenuata</i>	Dauphin tacheté pantropical	LC
<i>Stenella clymene</i>	Dauphin de clymène	DD
<i>Stenella coeruleoalba</i>	Dauphin bleu et blanc	LC
<i>Stenella frontalis</i>	Dauphin tacheté de l'Atlantique	DD
<i>Stenella longirostris</i>	Dauphin à long bec	DD
<i>Steno bredanensis</i>	Dauphin à bec étroit	LC
<i>Tursiops truncatus</i>	Grand Dauphin	LC
<i>Ziphius cavirostris</i>	Baleine à Bec de Cuvier	LC

Tableau 1: Principales espèces de mammifères marins potentiellement présentes dans la zone d'étude du projet MANTA RAY, UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature (DD: Data Deficient, LC : Least concern, VU: Vulnerable, EN : Endangered)

## 2.1.2 Tortues

Cinq espèces de tortues marines ont été recensées dans les Antilles françaises. Le Tableau 2 précise le statut UICN de chacune de ces espèces. Certaines d'entre elles privilégient cette zone pour la nidification, d'autres pour s'alimenter. En fonction des espèces, la période de ponte s'étend de mars à fin octobre.

Nom latin	Nom commun	Statut UICN
<i>Eretmochelys imbricata</i>	Tortue imbriquée	CR
<i>Chelonia mydas</i>	Tortue verte	EN
<i>Caretta caretta</i>	Tortue caouanne	EN
<i>Lepidochelys olivacea</i>	Tortue olivâtre	VU
<i>Dermochelys coriacea</i>	Tortue luth	LC

Tableau 2 : Principales espèces de tortues potentiellement présentes dans la zone d'étude du projet MANTA RAY, UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature (DD: Data Deficient, LC : Least concern, VU: Vulnerable, EN : Endangered, CR : Danger critique d'extinction)

## 2.2 Réglementation

### Les mammifères marins :

Les mammifères marins sont protégés par plusieurs conventions internationales ratifiées par la France. L'Annexe 1 dresse une liste non-exhaustive des principaux textes internationaux et régionaux concernant le bruit sous-marin et la faune marine. En France, en dehors de l'arrêté ministériel du 1er juillet 2011, qui protège les mammifères marins, aucun texte juridique ne mentionne de réglementation particulière quant à l'utilisation de sources sonores. Une partie de la campagne MANTA-RAY se déroulera au sein du sanctuaire Agoa, à notre connaissance, aucun texte juridique ne prévoit de restriction particulière quant au niveau sonore émis par les canons à air.

### Les tortues :

Les tortues marines sont également protégées par plusieurs conventions internationales ratifiées par la France. Les principales sont rappelées ci-dessous :

- **Convention de Washington** (1973) sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES) : Annexe I ;
- **Convention de Bonn** (1979) sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS) : Annexes I et II ;
- **Convention de Berne** (1979) relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe : Annexe II ;
- **Convention de Carthage** (1983) pour la protection et la mise en valeur du milieu marin dans la région des Caraïbes ;
- **Convention de Rio** (1992) sur la diversité biologique.

Au niveau national, l'ensemble des espèces de tortues marines des Antilles françaises ainsi que leur habitat sont intégralement protégés par l'arrêté ministériel du 14 octobre 2005.

### 3 EVALUATION DES RISQUES SONORES

#### 3.1 Principe

Pour évaluer l'impact potentiel d'une source sonore sur la faune marine, le signal émis par cette source doit être exprimé en niveau sonore maximal reçu instantanément (*Peak Sound Pressure Level* :  $SPL_{PK}$ ) et en niveau cumulé d'exposition sonore (*Cumulated Sound Exposure Level* :  $SEL_{cum}$ ). Ces métriques prennent en considération le niveau sonore émis par la source, la fréquence et la directivité angulaire, c'est-à-dire la distribution spatiale de l'énergie sonore, ainsi que la durée et la cadence d'émission des signaux. Le niveau reçu dépend également des phénomènes de propagation de l'onde sonore.

Le risque sonore est évalué pour un mammifère marin exposé à une source sismique mise en œuvre le long d'un profil infini. Des zones d'exclusion sont calculées en tenant compte de l'influence de la directivité de la source et des fonctions de pondération fréquentielle des groupes de cétacés classés selon leur audition (BF, HF, THF [3])<sup>2</sup> et des seuils PTS décrits par la NOAA (2018) [4] et recommandés par le Ministère de la Transition Ecologique [5].

Un certain nombre d'hypothèses sont effectuées dans la modélisation :

- la source sonore se déplace à vitesse constante (5 nœuds) et selon une même direction,
- le récepteur est stationnaire,
- la cadence des tirs sismiques est constante,
- les pertes de propagation sont calculées selon le modèle de divergence sphérique [6],
- le  $SEL_{cum}$  est calculé en intégrant l'émission lors du passage du navire au point le plus proche (CPA) du mammifère marin afin de tenir compte de l'exposition de plus forte contribution.

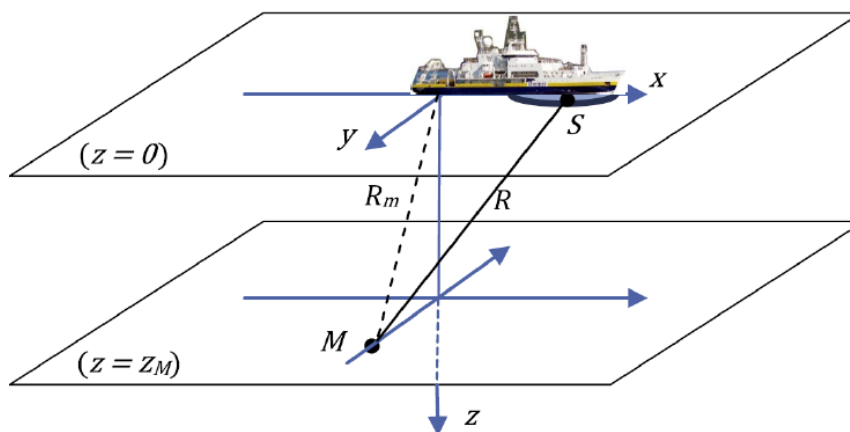


Figure 6 : Géométrie du champ rayonné par une source mobile le long d'un profil d'acquisition

La méthode employée pour évaluer l'impact physiologique est développée à partir de l'équation du sonar [6], qui traduit un bilan énergétique entre les niveaux du signal émis, reçu et traité. Le document [2] présente le détail de cette méthode.

<sup>2</sup> Les cétacés sont divisés en 3 groupes en fonction de leurs sensibilités auditives (Southall et al. 2019), voir Annexe 2 pour plus de détails.

### 3.2 Caractéristiques acoustiques des sources acoustiques

Le Tableau 3 synthétise les caractéristiques acoustiques des trois sources sismiques  $S_1$  (MCS),  $S_2$  (OBS) et  $S_3$  (HR) qui seront mises en œuvre lors de la campagne *MANTA RAY*. Les deux premières sources appartiennent à la Classe 1 définie par l’Ifremer [1, 2] alors que la source  $S_3$ , dont le volume total est inférieur à 500 in<sup>3</sup> appartient à la classe 2.

CLASSE	CLASSE 1		CLASSE 2
Source	Source 1 ( $S_1$ )	Source 2 ( $S_2$ )	Source 3 ( $S_3$ )
Volume total (in <sup>3</sup> )	2570	4990	320
Nombre de canons	14	16	4
Immersion (m)	6	10	3
Dimensions de la source (m)	9 m (longit.) x 15 m (transv.)	10 m (longit.) x 16,5 m (transv.)	2.25 m (longit) x 9 m (trans.)
Pression maximale 0-pic (bar.m)	36,52	53,10	8,6
Cadence de tir : T (s)	20	60	10
$SL_{PK}$ (dB re 1 $\mu$ Pa @ 1 m)	251,2	254,5	238,7
SEL (dB re 1 $\mu$ Pa <sup>2</sup> s @ 1 m)	229,2	233,6	214,3
Pression de charge utilisée (bar)	140	140	140

Tableau 3: Caractéristiques des sources sismiques ( $S_1$ ) et ( $S_2$ ) et ( $S_3$ )

#### 3.2.1 Description de la source $S_1$

La source  $S_1$  compte 14 canons à air totalisant un volume d’air de 2570 in<sup>3</sup> et présente une cadence de tir de 20 secondes.

La forme du signal dans le domaine temporel de  $S_1$  est représentée sur la Figure 7. Le niveau maximum de pression (en valeur absolue) mesuré sur le tracé  $p(t)$  est égal à 36,52 bar @ 1m, soit  $36,52 \times 10^{11}$   $\mu$ Pa @ 1 m. Le niveau-crête de source ( $SL_{PK}$ ) à la distance de référence  $R_0$  de 1 m est défini comme :

$$SL_{PK}(R_0) = 20 \log(36,52 \times 10^{11}) \approx 251,2 \text{ dB réf } 1\mu\text{Pa @ 1m}$$



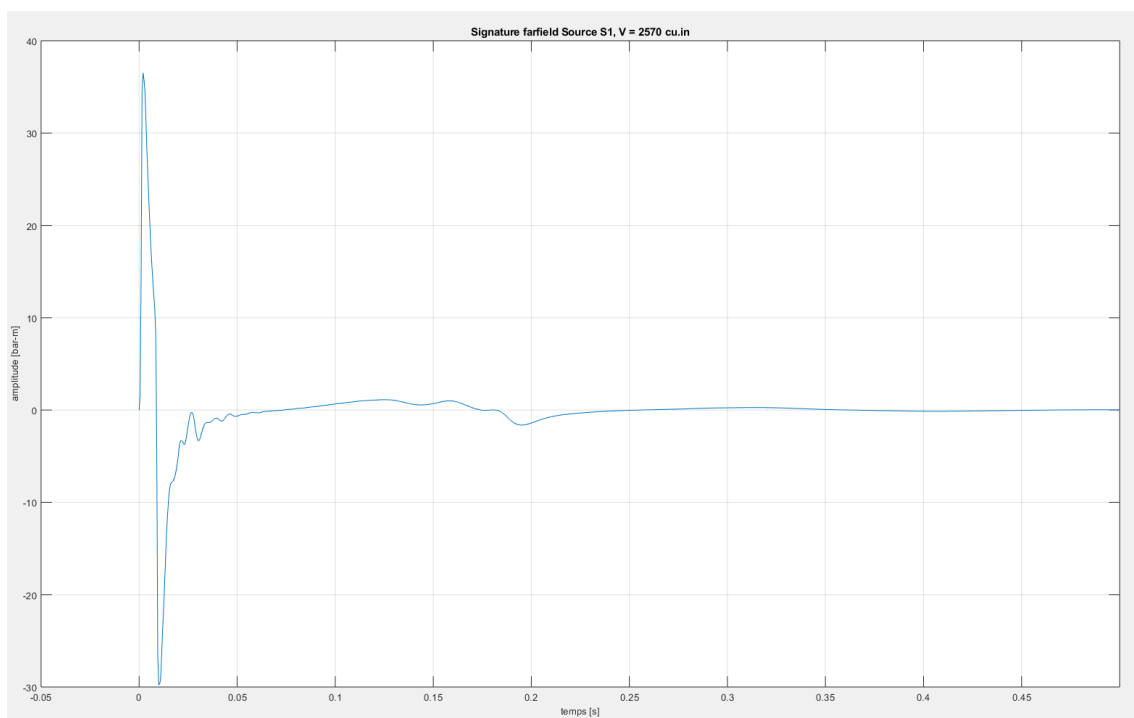


Figure 7: Signal temporel de la source sismique  $S_1$  ( $V = 2570 \text{ in}^3$ )

Le niveau d'exposition sonore ( $SEL$  : *Sound Exposure Level*) pour un tir est donné par l'intégration de l'intensité sur le temps :

$$SEL = 10 \log \int p^2(t) dt$$

Dans ce cas, à partir du tracé de  $p(t)$  donné en Figure 7, le SEL pour un 1 tir a 1m est égal à 229,2 dB réf  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$  à 1 m.

### 3.2.2 Description de la source $S_2$

La Figure 8 représente la forme du signal dans le domaine temporel de la source  $S_2$ , plus volumineuse ( $4990 \text{ in}^3$ ) que  $S_1$ , et constituée de 16 canons émettant toutes les 60 secondes, à un niveau d'émission :  $SL(R_0) = 254,5 \text{ dB réf } 1 \mu\text{Pa} @ 1 \text{ m}$ .

Pour un tir, cette source de  $4990 \text{ in}^3$  présente un niveau d'exposition sonore de 233,6 dB réf  $1\mu\text{Pa}^2\text{s}$  @ 1 m.

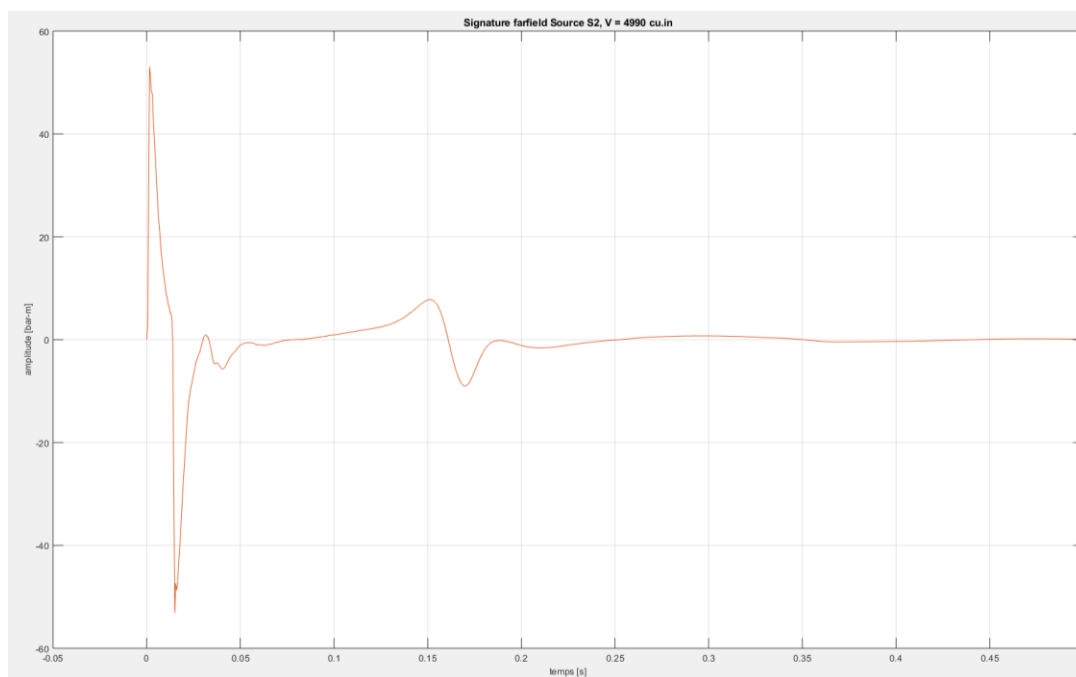


Figure 8 : Signal temporel de la source sismique  $S_2$  ( $V = 4990 \text{ in}^3$ )

La troisième source sismique ( $S_3$ ) d'un volume total de  $320 \text{ in}^3$  appartenant à la Classe 2 de l'Ifremer [1,2] présente une pression acoustique crête d'amplitude d'environ 6 fois inférieure à celle de la source  $S_2$ . Ce rapport de pression se traduit par une différence d'environ 16 dB en termes de  $SL_{PK}$ . En puissance acoustique, la source  $S_3$  est 38 fois plus faible que la source  $S_2$ . Le niveau-crête de source et le niveau d'exposition sonore sont fournies dans le Tableau 3.

### 3.2.3 Autres sources sonores

Les autres sources sonores mises en œuvre pendant cette campagne sont les suivantes :

- Sondeur multifaisceau Kongsberg EM 122,
- Sondeur de Sédiments Ixblue Echoes 3500.

L'Ifremer a évalué le niveau de danger potentiel sur la faune marine de l'ensemble de ses équipements acoustiques [7, 8]. Des études paramétriques basées sur la modélisation du rayonnement sonore de ces systèmes sonars océanographiques, afin d'établir les risques d'impact, ont été menées pour estimer les conditions de dépassement des seuils acceptables en terme de niveau reçu instantané et d'exposition sonore cumulée. Pour ces deux critères, les probabilités de risques associées aux sondeurs multifaisceaux ont été trouvées très faibles, essentiellement en raison, d'une part, de l'extrême sélectivité spatiale de leur directivité (l'émission est effectuée dans des « faisceaux » très étroits) ; et, d'autre part, des très courtes durées d'émission, ramenées à la cadence des émissions. Par ailleurs, le sondeur de sédiments présente un niveau d'émission relativement faible (210 dB réf.  $1 \mu\text{Pa}$  @ 1 m) et un caractère non-impulsionnel (modulations de fréquences ou *chirps*). La probabilité qu'un mammifère marin puisse être soumis à un rayonnement

sonore éventuellement dangereux n'est à considérer que pour des distances extrêmement faibles et non significatives ; voir [6].

### 3.3 Résultats de l'évaluation

Conformément aux résultats de l'évaluation des risques sonores des sources sismiques de l'Ifremer [2] deux classes de sources sismiques ont été définies :

- Classe 1 pour des volumes de sources supérieurs à 500 in<sup>3</sup> soit 8.2 litres, pouvant potentiellement impacter les mammifères marins.
- Classe 2 : pour des volumes de sources inférieurs à 500 in<sup>3</sup> soit 8.2 litres.

Le protocole de mitigation des émissions sonores est appliqué uniquement à la Classe 1. La Classe 2 ne fait généralement pas l'objet de mesures particulières de contrôle ou de mitigation [1, 2].

Le Tableau 4 synthétise les résultats de l'évaluation des risques sonores pour les 3 catégories de cétacés (BF, HF, THF) et fournit les rayons d'exclusion (Rex) en termes de SPL<sub>PK</sub> et SEL<sub>cum</sub> pour les deux sources S<sub>1</sub> (V = 2570 in<sup>3</sup>) et S<sub>2</sub> (V = 4990 in<sup>3</sup>).

Les cétacés des groupes BF et HF sont les espèces les plus rencontrées lors des campagnes de géosciences marines de l'Ifremer. Le rayon d'exclusion pour le groupe BF est de l'ordre de 100 m (Tableau 4). En prenant un rayon d'exclusion de 500 m (retenu dans le protocole Ifremer et dans la majorité des protocoles appliqués au niveau international), le facteur de sécurité est donc proche de 5. En considérant les cétacés du groupe THF, avec une probabilité de rencontre très faible sur les campagnes hauturières, le critère impactant est le SPL<sub>PK</sub>. Le calcul donne alors un rayon d'exclusion maximum de 420 m, qui reste toujours inférieur à la distance de sécurité de 500 m définie dans le protocole Ifremer. Ce rayon est calculé pour des mammifères marins dans l'axe de la source. Pour des espèces évoluant en surface ou à faible immersion, l'atténuation causée par la directivité de l'antenne est de l'ordre de 30 dB, ce qui ramène le rayon d'exclusion à 13 m pour la catégorie THF.

		Groupe de cétacés		
		BF	HF	THF
	Seuils_SPL <sub>PK</sub> (dB réf 1 μPa)	219	230	202
S <sub>1</sub>	<b>Rex_SPL<sub>PK</sub> (m)</b>	<b>41</b>	<b>11</b>	<b>288</b>
S <sub>2</sub>	<b>Rex_SPL<sub>PK</sub> (m)</b>	<b>60</b>	<b>17</b>	<b>422</b>
	Seuils_SELcum <sub>(pondéré)</sub> (dB réf 1 μPa <sup>2</sup> .s)	183	185	155
S <sub>1</sub>	<b>Rex_SEL_cum (m)</b>	<b>114</b>	<b>0</b>	<b>2</b>
S <sub>2</sub>	<b>Rex_SEL_cum (m)</b>	<b>103</b>	<b>0</b>	<b>3</b>

Tableau 4: Synthèse des seuils et des rayons d'exclusion (m) des sources S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> pour les trois groupes de cétacés.

En conclusion, définir un rayon d'exclusion de 500 m pour les sources sismiques de volume supérieur à 500 in<sup>3</sup> est donc une mesure conservative.

La Figure 9 représente les résultats de la modélisation du niveau d'exposition sonore cumulé (SEL<sub>cum</sub>) pour les cétacés BF le long d'un profil d'acquisition sismique de longueur infinie pour la source sismique la plus pénalisante (en raison d'une cadence de tirs plus importante) : S<sub>1</sub>.

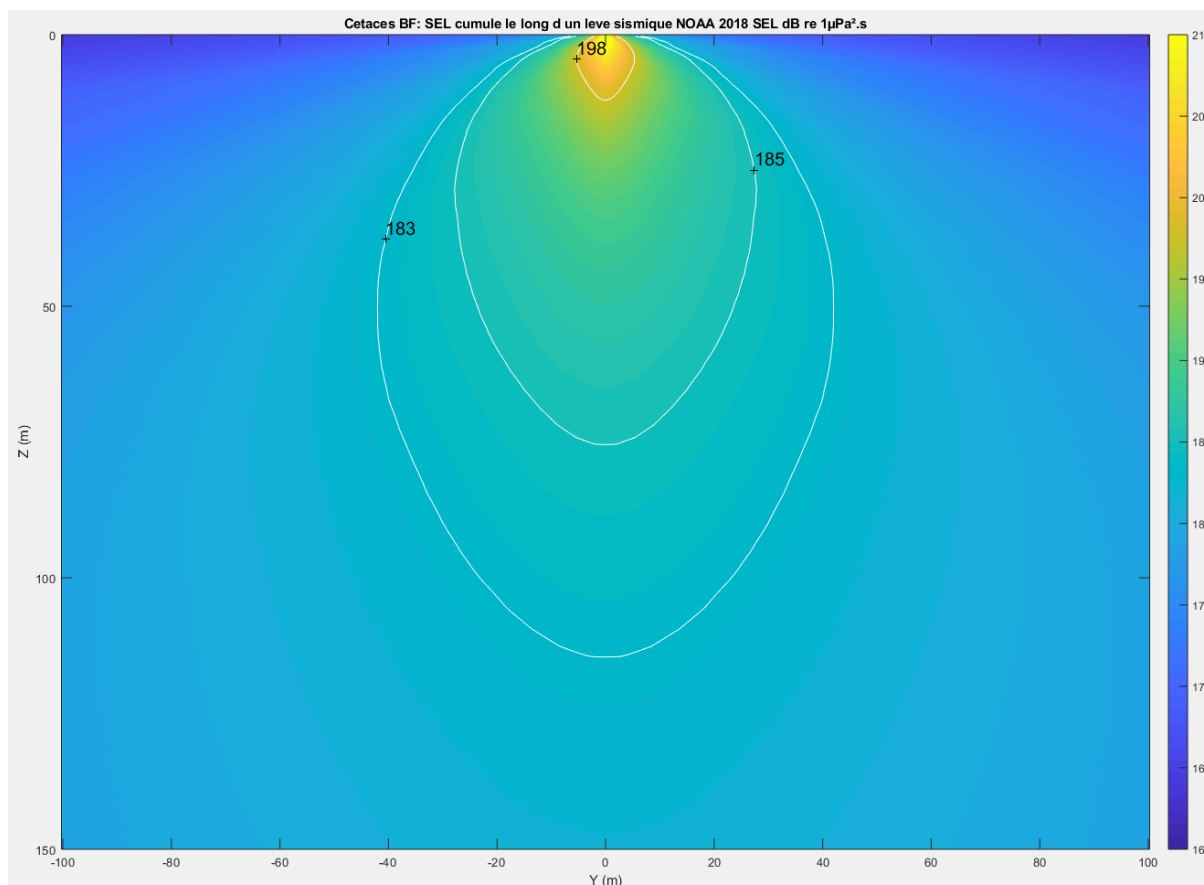


Figure 9: Cas des cétacés BF : SEL<sub>cum</sub> le long d'un profil d'acquisition sismique pour la source S<sub>1</sub> de 2570 in<sup>3</sup>

## 4 PROTOCOLE DE MITIGATION

### 4.1 Espèces concernées

Le protocole s'applique pour les espèces suivantes :

- l'ensemble des mysticètes,
- les grands odontocètes (cachalot, orque, fausse orque, globicéphale, baleine à bec, dauphin de Risso),
- les cétacés appartenant au genre des kogia (cachalot pygmée et cachalot nain),
- les tortues marines.

Les petits delphinidés, nageurs rapides, sont couramment observés à l'étrave du navire, donc à plus de 100 m de la source sismique et par conséquent en dehors de la zone de risque physiologique pour ces espèces (le rayon d'exclusion calculé est de l'ordre de 13 m en tenant compte de la directivité de la source, cf. ci-dessus). Par conséquent, le protocole ne tient pas compte de ces petits delphinidés (de type *Stenella* ou *Delphinus*, espèces évoluant principalement en surface ou sub-surface).

## 4.2 Mesures appliquées durant la campagne

L'analyse des impacts acoustiques de la campagne scientifique *MANTA RAY* montre que seules les sources sismiques de la **classe 1** [1, 2] présentent un caractère potentiellement impactant sur la faune marine. Par conséquent, lors des émissions sismiques, le protocole de mitigation suivant sera mis en œuvre par une équipe d'observateurs indépendants, qualifiés et expérimentés lors de l'utilisation des sources  $S_1$  et  $S_2$ .

- A bord, mise en place d'une surveillance visuelle (MMOs) qui sera complétée par un système de détection par acoustique passive (PAM),
- Recherche pré-tir d'une durée de 30 minutes à la fois visuelle et acoustique assurant ainsi un suivi pour les EC en surface et en plongée, de nuit ou lors des conditions d'observations défavorables. La recherche pré-tir est effectuée avec le système PAM pendant 60 minutes pour des hauteurs d'eau supérieures à 200 m. Pour des fonds marins compris entre 0 et 200 m, la recherche pré-tir est d'une durée de 30 minutes. Si des mammifères marins sont aperçus pendant cette recherche à moins de 500 mètres des canons, les opérations seront reportées,
- Le démarrage progressif des sources sismiques s'étend sur une durée comprise entre 20 et 40 min. Il sera appliqué au commencement des périodes de tirs, qui n'aura lieu que si aucun mammifère marin n'a été vu à moins de 500 m de l'antenne de canons à air pendant au moins 30 minutes ; de plus, les tirs seront interrompus si des mammifères marins sont aperçus pendant les opérations à moins de 500 mètres des canons. Le *soft-start* doit être appliqué de façon à minimiser l'intervalle de temps entre sa phase finale de tirs à pleine puissance et le début de profil, soit 30 min maximum. Si une EC est observée ou détectée dans la zone d'exclusion pendant la phase de *ramp-up*, les canons sont alors stoppés. Le *pré-watch* reprend de façon à ce qu'un délai de 30 ou 60 min consécutives se soit écoulé sans nouvelle observation d'EC. Le démarrage progressif s'applique également à la source HR.
- Zone d'exclusion de 500 m pour les cétacés et de 100 m pour les tortues,
- Zone d'alerte de 1,5 km,
- Toute détection d'EC au sein de la zone d'exclusion entraîne un arrêt des tirs,
- L'équipe d'observateurs a toute autorité pour faire cesser les tirs en cas de présence de mammifères marins dans la zone d'exclusion [1],
- Les tortues marines ne peuvent être observées qu'à de faibles distances même avec de bonnes conditions météorologiques ; une distance d'exclusion de 100 m autour du navire est donc retenue. Dès qu'une tortue est observée à l'intérieur de cette zone, les opérations sont stoppées pendant 5 minutes, temps nécessaire au navire pour s'éloigner suffisamment de la tortue. Les tirs sismiques peuvent reprendre à plein régime au bout de ces 5 minutes si la tortue n'est plus observée dans un rayon de 100 m autour du navire.

Comme évoqué au paragraphe 3.3 et comme indiqué dans le guide MTES [5], la source  $S_3$  ne nécessite pas de mesure de mitigation particulière. Toutefois, la campagne se réalisant dans un sanctuaire de mammifères marins, l’Ifremer propose la mise en place du démarrage progressif (*soft-start*) de la source avant le début des acquisitions.

Par ailleurs, hors période de tirs, à savoir pendant plus de 50% de la durée du leg2 de la campagne, un protocole de suivi de la mégafaune marine sera mis en place. Ce dernier contribuera à l’amélioration des connaissances de la mégafaune marine présente à cette période dans l’arc des Petites Antilles.

## 5 CONCLUSIONS

La campagne scientifique *MANTA RAY* devrait se dérouler de fin avril à mi-juin 2022, à bord du *N/O L’Atalante*. La zone d’étude est localisée au niveau de l’arc des Petites Antilles, soit en partie au sein du sanctuaire Agoa.

A notre connaissance, aucun texte juridique national ou régional ne prévoit de restriction particulière quant au niveau sonore émis par les canons à air.

Compte tenu des résultats de l’analyse des risques sonores présentée dans ce document, seule l’utilisation des sources sismiques de Classe 1, nécessite la mise en place d’un protocole de mitigation. Le respect et l’application de ces mesures de mitigation seront de la responsabilité des MMOs et opérateurs PAM embarqués sur la campagne. Le détail de ces mesures est décrit dans le protocole de protection des mammifères marins [1]. Par ailleurs, la procédure de *ramp-up* s’appliquera également à la source sismique HR ( $S_3$ ).

A notre connaissance, les opérations menées dans ces conditions ne devraient pas provoquer d’atteinte directe aux espèces concernées. La campagne scientifique *MANTA RAY* permettra également de participer au recensement de la mégafaune-marine de l’arc des Petites Antilles. En effet, en dehors des périodes de tirs sismiques, un protocole d’observation de la faune marine sera appliqué.

La responsabilité est bien sûr laissée aux autorités administratives compétentes de décider si les éléments détaillés ci-dessus sont conformes aux exigences réglementaires spécifiques de l’État côtier concerné. L’Ifremer saura bien évidemment se conformer à toutes exigences documentées et justifiées quantitativement présentées par l’Etat côtier.

## 6 BIBLIOGRAPHIE

[1] Ducatel. C, Le Gall. Y, Lurton. X. (2019). **Protocole de protection de la faune marine lors des campagnes sismiques**. Brest, France: Ifremer IMN/NSE/ASTI-2019-148.

[2] Ducatel. C, Le Gall. Y, Lurton. X. (2019). **Evaluation des risques sonores des sources sismiques**. Brest, France: Ifremer IMN/NSE/ASTI-2019-147.

[3] Southall, B. L., Finneran, J.J., Reichmuth, C., Nachtigall, P. E., Ketten, D.R., Bowles, Ann. E., Ellison, W. T., Nowacek, D. P., Tyack, Peter.L. (2019). Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals* 2019, 45(2), 125-232, DOI 10.1578/AM.45.2.2019.125.

[4] **Technical Report (2017)**. Criteria and Thresholds for U.S. Navy Acoustic and Explosive Effects Analysis (Phase III).

[5] **MTES (Juin 2020)**. Préconisations pour limiter les impacts des émissions acoustiques en mer d'origine anthropique sur la faune marine.  
<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/guide-lutte-contre-bruit-sous-marin>

[6] **Lurton. X (2010)**. An introduction to underwater acoustics – principles and applications (2nd ed.), Springer-Verlag, Berlin.

[7] **Lurton, X. and Antoine, L. (2007)**. Analyse des risques pour les mammifères marins liés à l'emploi des méthodes acoustiques en océanographie (Rapport final). Brest, France: Ifremer DOP/CB/NSE/AS/07-07.

[8] **Lurton X. (2016)**. Modeling of the sound field radiated by multibeam echosounders for acoustical impact assessment. *Applied Acoustics* (Elsevier BV), 2016-01, Vol. 101, P. 201-221, [10.1016/j.apacoust.2015.07.012](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.07.012)

### **AUTRES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CONSULTEES:**

"Plan de Gestion du Sanctuaire AGOA 2012-2017 - Partie I: Etat Initial", doc. AAMP, Juin 2012

"Projet de procès-verbal - Réunion du 18 juillet 2012", doc. AGOA, 2012

Arrêté du 1er juillet 2011 fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national et les modalités de leur protection, JORF n°0171 du 26 juillet 2011, page 12708, texte n° 8

"Action Plan for the Conservation of Marine Mammals (MMAP) in the Wider Caribbean Region", doc. UNEP, 10 novembre 2008

"Protocole relatif aux zones et à la vie sauvage spécialement protégées à la convention pour la protection et la mise en valeur du milieu marin dans la région des Caraïbes", Protocole SPAW, 18 janvier 1990

"Convention for the Protection and Development of the Marine Environment of the Wider Caribbean Region", Convention de Carthagène, 24 mars 1983

"Rapport du groupe de travail ad hoc pour développer les critères et le processus d'évaluation des exemptions en vertu de l'Article 11(2) du Protocole SPAW", doc. UNEP(DEPI)/CAR WG.34/5, 18 septembre 2012



## 7 ANNEXES

### 7.1 Annexe 1 : Références des principaux guides et conventions

Le tableau ci-dessous dresse une liste non-exhaustive des principaux textes concernant le bruit sous-marin et la faune marine. La plupart de ces conventions, guides, normes, et procédures recommandées de caractère international revêtent une nature politique et ne sont pas juridiquement contraignantes. Toutefois, en application du principe de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement des mesures de précaution s'imposent.

ORGANISMES	REFERENCES	DESCRIPTION
<u>ACCOBAMS</u>	Résolution 2.16	Evaluation du bruit anthropique et de son impact
	Résolution 3.10	Lignes directrices pour aborder le problème de l'impact du bruit d'origine anthropique sur les mammifères marins dans l'aire de l'ACCOBAMS
	Résolution 4.17	Lignes directrices pour atténuer l'impact du bruit anthropique sur les cétacés dans la zone ACCOBAMS
	Résolution 6.17	Bruit d'origine anthropique
	Résolution 6.18	Mise en œuvre d'un certificat ACCOBAMS pour des Observateurs de Mammifères Marins Hautement Qualifiés
<u>ASCOBANS:</u>	Résolution 5.4	Effets néfastes des bruits, des navires et d'autres formes de perturbation sur les petits cétacés
	Résolution 6.2	Effets néfastes du bruit sous-marin sur les mammifères marins au cours des activités de construction en mer pour les activités de construction à partir de sources renouvelables Production d'énergie
<u>CDB</u>	Décisions VIII / 28	Lignes directrices volontaires de la CDB sur l'évaluation d'impact sur la diversité biologique
	Décision XII / 23»	Préconisation de l'utilisation des technologies moins bruyantes et application des meilleures pratiques disponibles dans toutes les activités pertinentes.
<u>CMS</u>	Résolution CMS 9.19	Impacts acoustiques marins/océaniques anthropogènes nuisibles pour les cétacés et autres biotes.
	Résolution CMS 10.24	Mesures supplémentaires pour réduire la pollution sonore sous-marine afin de protéger Cétacés et autres espèces migratrices.
	UNEP/CMS/COP12/Doc.24.2.2	Lignes directrices sur l'évaluation de l'impact environnemental du bruit sous-marin généré par les activités humaines.
	UNEP/CMS/Resolution 12.14	Résolution adoptée par l'ensemble des Etats

		membres de l'ONU. Il s'agit d'un guide concernant l'évaluation des impacts environnementaux des activités marines génératrices de bruit
<u>OSPAR</u>	ICG-Noise	ICG-Noise a été créé afin d'organiser le travail selon 3 volets (Bruits impulsifs, coordonnées par la Grande-Bretagne, Bruit ambiant coordonnées par les Pays-Bas, et les mesures d'atténuation coordonnée par l'Allemagne).
<u>UE</u>	TG Noise	Groupe de travail relatif au descripteur 11 de la DCSMM
<u>France</u>	Le Plan national d'action pour les cétacés	(action 43 du plan biodiversité) prévoit des mesures de réduction du bruit sous-marin d'origine anthropique

## 7.2 Annexe 2 : Groupes de cétacés en fonction de leurs sensibilités auditives

Groupes de cétacés	Fonction de Pondération	Genres ou espèce
Cétacés Basse Fréquence	BF	Balaenidae (Balaena, Eubalaenidae spp.); Balaenopteridae (Balaenoptera physalus, B. musculus)
		Balaenopteridae (Balaenoptera acutorostrata, B. bonaerensis, B. borealis, B. edeni, B. omurai; Megaptera novaeangliae); Neobalenidae (Caperea); Eschrichtiidae (Eschrichtius)
Cétacés Haute Fréquence	HF	Physeteridae (Physeter); Ziphiidae (Berardius spp., Hyperoodon spp., Indopacetus, Mesoplodon spp., Tasmacetus, Ziphius); Delphinidae (Orcinus)
		Delphinidae (Delphinus, Feresa, Globicephala spp., Grampus, Lagenodelphis, Lagenorhynchus acutus, L. albirostris, L. obliquidens, L. obscurus, Lissodelphis spp., Orcaella spp., Peponocephala, Pseudorca, Sotalia spp., Sousa spp., Stenella spp., Steno, Tursiops spp.); Montodontidae (Delphinapterus, Monodon); Plantanistidae (Plantanista)
Cétacés Très Haute Fréquence	THF	Delphinidae (Cephalorhynchus spp.; Lagenorhynchus cruciger, L. australis); Phocoenidae (Neophocaena spp., Phocoena spp., Phocoenoides); Iniidae (Inia); Kogiidae (Kogia); Lipotidae (Lipotes); Pontoporiidae (Pontoporia)

*Groupes de cétacés en fonction de leurs sensibilités auditives Southall et al. 2019*