



RAPPORT

# Etude acoustique sous-marine des opérations de dragage du banc de Bernet

Mai 2020

SYNDICAT INTERCOMMUNAL DU BASSIN  
D'ARCACHON

**BASSIN D'ARCACHON**  
SYNDICAT INTERCOMMUNAL

## CLIENT

RAISON SOCIALE	SYNDICAT INTERCOMMUNAL DU BASSIN D'ARCACHON
COORDONNÉES	16 allée Corrigan - CS 40002 33311 ARCACHON Cedex Tél. : 05.57.52.74.74 - Fax : 05.57.52.74.75
INTERLOCUTEUR <i>(Nom et coordonnées)</i>	<b>Madame Julie PEDELUCQ - CAZEMAJOU</b> Tél. : 05 57 52 74 81 6 Mob. : 06 07 54 55 39 E-mail : j.pedelucq@siba-bassin-arcachon.fr

## CREOCEAN

COORDONNÉES	<b>AGENCE SUD-OUEST</b> ZAC du Golf - 60, chemin de l'aviation 64200 BASSUSSARRY Tél. : 05.59.70.35.61 – Fax. : 05.59.93.14.17
	<b>SIEGE SOCIAL</b> Zone Technocéan – Rue Charles Tellier 17000 LA ROCHELLE Tél. : 05.46.41.13.13 - Fax : 05.46.50.51.02 E-mail : creocean@creocean.fr
INTERLOCUTEUR <i>(Nom et coordonnées)</i>	<b>Laure MARINI</b> Tél. : 05.59.70.35.61 E-mail : laure.marini@creocean.fr

## RAPPORT

TITRE	<b>Etude acoustique sous-marine des opérations de dragage du banc de Bernet</b>
NOMBRE DE PAGES	127
NOMBRE D'ANNEXES	2
OFFRE DE RÉFÉRENCE	P20000039A
N° COMMANDE	BDC n°20-000109 du 31/01/2020

## SIGNATAIRE

RÉFÉRENCE	DATE	RÉVISION DU DOCUMENT	OBJET DE LA RÉVISION	RÉDACTEUR	QA/QC
200104	24/04/2020	Version V2	Ajout modélisation	LAM	PGU
200104	13/05/2020	Version V3.1	Correction retour SIBA	LAM	LAM

## Sommaire

<b>1. Contexte .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Méthodologie .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Plan d'échantillonnage.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Moyen nautique .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Matériel acoustique .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Résultats : rapport d'expertise.....</b>	<b>7</b>

## Table des figures

**Figure 1 : Plan d'échantillonnage des points de « référence » ..... 6**

**Figure 2 : Mise en œuvre du semi-rigide CREOCEAN le 5 février 2020 ..... 6**

## Table des tableaux

**Tableau 1 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur acoustique autonome MARANTZ..... 7**

**Tableau 2 : Caractéristiques principales de l'hydrophone B&K 8106 utilisé pour les enregistrements in situ. .... 7**

## 1. Contexte

Dans le cadre de la réalisation des dossiers règlementaires, le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA) a sollicité CREOCEAN afin de réaliser une étude acoustique sous-marine des opérations de dragage effectuées par la drague « Côtes de Bretagne ». Les opérations ciblées étaient le dragage du banc de Bernet associé au réensablement des plages de Pyla-sur-Mer et la Teste-de-Buch.

CREOCEAN a coordonné et réalisé cette prestation, accompagné de son partenaire NEREIS spécialisé dans l'évaluation de l'impact sonore des activités en mer.

Les acquisitions de données acoustiques ont été réalisées sur deux périodes distinctes : durant les opérations de dragage/réensablement et en dehors de ces opérations afin d'estimer la contribution acoustique des opérations associées à la drague « Côtes de Bretagne ». Elles ont eu lieu les 5 et 24 février 2020, respectivement avec et sans la présence de la drague Côtes de Bretagne en opération.

Ces acquisitions ont permis d'évaluer l'empreinte sonore du navire dans chacune de ses configurations de fonctionnement : transit léger, transit chargé, dragage, réensablement par rainbowing. Ces mesures ont été comparées à celles de la drague DRAGON, acquises par opportunité le 24 février.

Ces données ont été couplées à la bathymétrie du bassin d'Arcachon afin de modéliser la propagation du bruit dans la zone. Les résultats sont rendus sous forme de cartes de bruit, pondérées selon le bruit perçu par les espèces marines présentes dans la zone.

**Le présent rapport d'étude présente ces résultats.**

## 2. Méthodologie

### 2.1. Plan d'échantillonnage

L'étude acoustique a consisté en deux campagnes d'acquisition des données *in situ* (figure ci-dessous) :

- Le 5 février 2020 avec la présence sur la zone d'étude de la drague Côtes de Bretagne en opération de réensablement sur les plages de Pyla-sur-mer ;
- Le 24 février 2020 sans la présence de la drague Côtes de Bretagne puis avec la présence de la drague DRAGON en opération au niveau du port de la Vigne.

L'acquisition des données a consisté à réaliser plusieurs radiales de mesures acoustiques en dérive : un enregistreur acoustique était déployé depuis un navire à l'arrêt. La dérive du navire est suivie par GPS. Différents types de mesures ont été réalisés en radiales :

- Sur les 5 points de mesure « référence » qui délimitent le périmètre opérationnel de la drague Côtes de Bretagne. Ces 5 points ont été monitorés avec et sans la présence de la drague afin de pouvoir établir la contribution des opérations de réensablement sur le paysage sonore sous-marin ;
- En dérive autour de la drague Côtes de Bretagne afin d'établir le spectre acoustique représentatif du navire en fonction de sa phase opérationnelle ;
- En dérive autour de la drague DRAGON afin d'établir le spectre acoustique représentatif du navire.

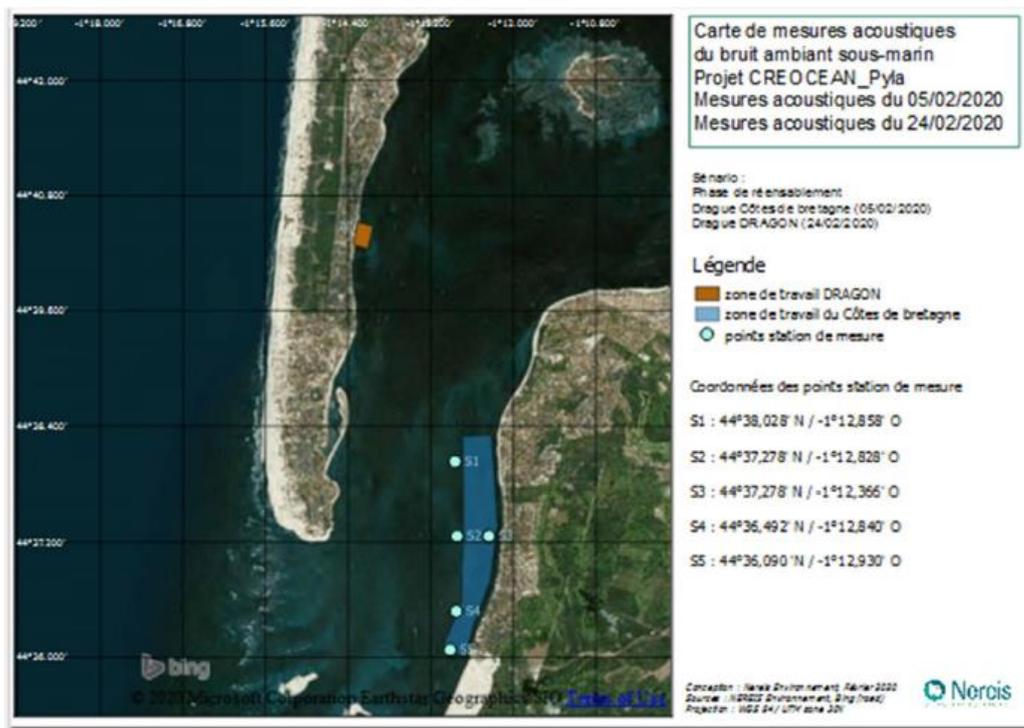


Figure 1 : Plan d'échantillonnage des points de « référence »

## 2.2. Moyen nautique

La campagne d'acquisition des mesures a été réalisée avec le semi-rigide de CREOCEAN, équipé pour ce type d'opération.



Figure 2 : Mise en œuvre du semi-rigide CREOCEAN le 5 février 2020

## 2.3. Matériel acoustique

La chaîne d'acquisition MARANTZ a été déployée pour réaliser les mesures acoustique en radiale. Les tableaux suivants présentent les caractéristiques générales de cet enregistreur.

**Tableau 1 : Caractéristiques techniques de l'enregistreur acoustique autonome MARANTZ**

Caractéristiques	Chaîne acoustique MARANTZ
Bande passante d'acquisition	10 Hz à 48 kHz
Capacité de stockage	Stockage sur des cartes SD 32 Go
Enregistrement	<b>En continu</b>
Gain	réglable
Fréquence d'échantillonnage	96 kHz
Codage	24 bits



**Tableau 2 : Caractéristiques principales de l'hydrophone B&K 8106 utilisé pour les enregistrements in situ**

Caractéristiques	Hydrophone B&K 8106
Sensibilité	-174.1 dB ref 1V/μPa
Bande passante	Réponse plate à +/- 1 dB <b>10 Hz à 50 kHz</b>

## 3. Résultats : rapport d'expertise

Les résultats sont présentés dans le rapport de l'entreprise NEREIS ci-dessous.



## Etude en acoustique sous-marine des opérations de réensablement des plages de Pyla-sur-mer

Destinataire :  
CREOCEAN

MAI 2020

## DESTINATAIRE : CREOCEAN

COORDONNÉES	CREOCEAN-agence du SudOuest ZAC du Golf – 60 chemin de l'Aviation 64200 BASSUSSARY
INTERLOCUTEUR	<b>Laure MARINI</b> Tél. : 05 59 70 35 61 Email : laure.marini@creocean.fr

## PRESTATAIRE : NEREIS ENVIRONNEMENT

COORDONNÉES	5, allée de Maubreuil 44470 CARQUEFOU Tél. : 09 81 36 23 80 E-mail : contact@nereisenvironnement.com
INTERLOCUTEUR	<b>Loïc HELLOCO</b> Tél. : 06 68 67 83 83 E-mail : l.helloco@nereisenvironnement.com

## DOCUMENT

TITRE	Etude en acoustique sous-marine des opérations de réensablement des plages de Pyla-sur-mer
VERSION	V2.1 du 13 mai 2020
NBRE DE PAGES	79 pages + 2 annexes

## SIGNATAIRE

REDACTEURS	<b>Loïc HELLOCO (NEREIS Environnement)</b> <b>Cécile PERSOHN (NEREIS Environnement)</b>
DATE	13 mai 2020



## SOMMAIRE

<b>LEXIQUE.....</b>	<b>6</b>
<b>PARTIE A : ANALYSE DU BRUIT SOUS-MARIN GENERE PAR LES OPERATIONS DE REENSABLEMENT DES PLAGES DE PYLA-SUR-MER .....</b>	<b>9</b>
<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE.....</b>	<b>10</b>
<b>2. NOTIONS D'ACOUSTIQUE SOUS-MARINE .....</b>	<b>10</b>
2.1. Le son.....	10
2.2. La propagation des ondes sonores dans le milieu marin.....	12
2.3. Caractérisation du bruit ambiant sous-marin .....	14
<b>3. ETUDE ACOUSTIQUE : ACQUISITION DE DONNEES <i>IN SITU</i> .....</b>	<b>16</b>
3.1. Calendrier de l'étude.....	17
3.2. Moyens nautiques et personnel mobilisés pour l'étude .....	17
3.3. Matériel et logiciels utilisés .....	18
3.3.1 Chaîne acoustique MARANTZ .....	18
3.3.2. La sonde multiparamètre MP4 (NKE) .....	19
3.3.3. Logiciels de traitement et d'analyse des données.....	19
3.4. Méthodologie de l'étude.....	20
3.4.1. Protocole de mesures acoustiques .....	21
3.5. Résultats de l'analyse des données collectées .....	22
3.5.1. Caractérisation des composantes du bruit ambiant aux différents points de mesures S1 à S5 .....	22
3.5.1.1. <i>Contribution de la drague Côtes de Bretagne au bruit ambiant.....</i>	<i>22</i>
3.5.1.2. <i>Géophonie : phénomènes météorologiques.....</i>	<i>24</i>
3.5.2. Analyse acoustique du Côtes de Bretagne .....	24
3.5.2.1. <i>Spectres acoustiques du Côtes de Bretagne .....</i>	<i>25</i>
3.5.3. Diagrammes de rayonnement de la drague Côtes de Bretagne .....	26
3.5.4. Analyse acoustique du DRAGON .....	28
3.5.4.1. <i>Spectres acoustiques du DRAGON.....</i>	<i>29</i>
3.5.5. Diagrammes de rayonnement de la drague DRAGON .....	30
3.5.6. Comparaison des diagrammes de rayonnement de la drague DRAGON et du Côtes de Bretagne lors des opérations de dragage.....	32



3.5.7. Comparaison des spectres acoustiques avec les données issues de la littérature .....	33
3.5.8. Comparaison des signatures acoustiques des dragues avec celles des autres navires observés lors des mesures acoustiques.....	37
<b>4. CONCLUSION .....</b>	<b>39</b>
 <b>PARTIE B : MODELISATION DE L'EMPREINTE SONORE SOUS-MARINE DES OPERATIONS DE REENSABLEMENT DES PLAGES DE PYLA-SUR-MER .....</b>	
<b>1. RAPPEL DU CONTEXTE .....</b>	
<b>2. METHODOLOGIE DE L'ETUDE.....</b>	
2.1. Logiciels de traitement des données et de modélisation acoustique .....	43
2.2. Métadonnées environnementales collectées durant les campagnes de mesure acoustique .....	45
2.2.1. Bathymétrie.....	45
2.2.2. Bathycélérimétrie .....	45
2.2.3. Influence de la fréquence de coupure sur la propagation des ondes sonores .....	46
2.3. Pertes par propagation .....	46
2.3.1. Propriétés géo-acoustiques associées à la nature du fond.....	48
2.4. Spectres acoustiques de la drague Côtes de Bretagne associés aux opérations de réensablement.....	49
2.5. Spectres acoustiques de la drague DRAGON associés aux opérations de dragage .....	50
 <b>3. EFFET DU BRUIT DES DRAGUES SUR LES ESPECES MARINES .....</b>	
3.1. L'audition des espèces marines .....	51
3.1.1. L'audition chez les mammifères marins .....	51
3.1.2. L'audition chez les poissons .....	52
3.1.3. L'audition chez les mollusques céphalopodes .....	54
3.2. L'audition des espèces présentes sur la zone d'étude .....	54
3.2.1. Les mammifères marins.....	54
3.2.1.1. Cétacés « basse fréquence ».....	54
3.2.1.2. Cétacés « haute fréquence » .....	55



---

3.2.1.3. Cétacés « très haute fréquence ».....	56
3.2.1.4. Phocidés dans l'eau .....	56
3.2.2. Les poissons .....	59
3.2.2.1. La raie bouclée <i>Raja clavata</i> .....	59
3.2.2.2. Le bar commun <i>Dicentrarchus labrax</i> .....	60
3.2.2.3. La daurade royale <i>Sparus aurata</i> et le sar commun <i>Diplodus sargus</i> ..	60
3.2.2.4. La sole sénégalaise <i>Solea senegalensis</i> .....	61
3.2.3. Les mollusques céphalopodes .....	62
3.3. Evaluation des effets .....	63
3.3.1. Définition et seuils .....	63
3.3.2. Modélisation du bruit perçu par les espèces et évaluation des effets liés aux opérations de réensablement des plages de Pyla-sur -Mer .....	65
3.3.2.1. Définition des scénarios acoustiques associés aux opérations de réensablement.....	65
3.3.3. Scénario acoustique de la drague Côtes de Bretagne en phase de dragage .....	67
3.3.3.1. Effets sur les mammifères marins .....	67
3.3.3.2. Effets sur les poissons et céphalopodes .....	67
3.3.4. Scénarios acoustique de la drague Côtes de Bretagne en phase de réensablement .....	68
3.3.4.1. Effets sur les mammifères marins .....	68
3.3.4.2. Effets sur les poissons et céphalopodes .....	68
3.3.5. Scénario acoustique de la drague DRAGON en phase de dragage .....	69
3.3.5.1. Effets sur les poissons et céphalopodes .....	70
3.4. Synthèse des effets et évaluation des niveaux d'effet .....	70
<b>4. CONCLUSION .....</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>77</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>80</b>



## Lexique

Intensité sonore ( $I$ ) Flux moyen d'énergie qui traverse une unité de surface, perpendiculairement à l'axe de propagation. Notée  $I$ , elle s'exprime en Watt/m<sup>2</sup>. L'intensité sonore est proportionnelle au carré de la pression sonore mesurée par un hydrophone.

Ainsi :

$$P_{(Pa)} = \sqrt{(1,5 \cdot 10^6 * I)},$$

Avec  $P_{(Pa)}$  : pression sonore en Pascal (Pa).

L'intensité sonore varie dans une gamme de valeur très étendue. Un bruit très faible a une intensité sonore de l'ordre de 10<sup>-18</sup> W/m<sup>2</sup> (pression sonore d'environ 1,2.10<sup>-12</sup> Pa) alors qu'une émission sonar peut atteindre 10<sup>3</sup> W/m<sup>2</sup> (pression sonore d'environ 4,0.10<sup>-3</sup> Pa). Une telle différence est difficile à appréhender avec une échelle linéaire, elle est donc souvent donnée en échelle logarithmique.

Décibel (dB) Unité de quantification du niveau sonore (notée dB). Elle mesure l'intensité d'une onde acoustique, ou la pression acoustique. Ainsi le niveau sonore exprimé en dB est établi par la relation suivante :

$$N_{(dB)} = 10 * \log_{10} \frac{I}{I_0} = 20 * \log_{10} \frac{P}{P_0},$$

Avec  $I$  : intensité sonore de l'onde acoustique exprimée en W/m<sup>2</sup> ;

$I_0$  : Intensité sonore de référence : pour une pression de 1 µPa ;

$I_0 = 6,5 \cdot 10^{-19}$  W/m<sup>2</sup> ;

$P$  : Pression acoustique de l'onde sonore mesurée exprimée en µPa ;

$P_0$  : Pression acoustique de référence valant 1 µPa.

Fréquence Notée  $f$  et exprimée en Hertz (Hz), la fréquence correspond au nombre d'ondes acoustiques qui passent par seconde en un point donné.

Son pur Un son pur correspond à une onde sinusoïdale dont la fréquence et l'amplitude sont constantes durant toute la durée d'émission.

Fondamental Dans le cas d'un son pur, le fondamental d'une onde acoustique désigne la fréquence  $f$  de ce son. Dans le cas d'un spectre de sons complexes qui fait apparaître plusieurs harmoniques, le fondamental désigne dans une famille d'harmonique, le plus petit intervalle fréquentiel entre les harmoniques de même origine. Les harmoniques désignent donc des signaux sinusoïdes de fréquences :

$$f_n = f * n,$$

Où  $n$  est un entier positif appelé rang de l'harmonique, et  $f$  le fondamental.



**Longueur d'onde** Notée  $\lambda$  et exprimée en mètre, elle désigne la distance entre deux points semblables de deux cycles successifs d'une onde acoustique (ex. deux points d'amplitude maximale). La longueur d'onde est fonction de la fréquence de l'onde acoustique et de la vitesse de propagation dans le milieu.

On en déduit la relation suivante :

$$\lambda_{(m)} = \frac{c}{f},$$

Avec  $\lambda_{(m)}$  : la longueur d'onde en m ;

$C$  : la célérité ou vitesse de propagation de l'onde acoustique dans le milieu en  $m.s^{-1}$  ;

$f$  : la fréquence de l'onde acoustique en Hz.

**Niveau de pression acoustique** Le niveau de pression acoustique, noté SPL pour Sound Pressure Level et exprimé en dB ref 1  $\mu Pa$ , correspond au niveau de pression acoustique mesuré par rapport à un niveau de pression acoustique de référence, ramené par exemple à 1 mètre de la source (@1 m).

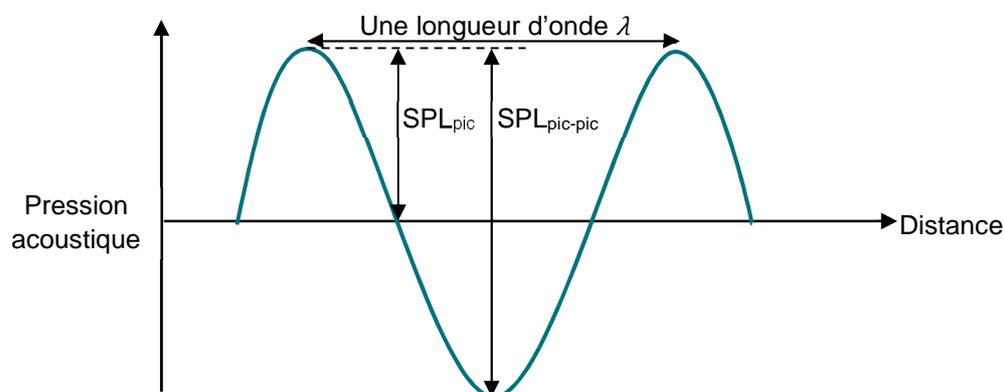
**Niveau de pression acoustique crête** Le niveau de pression acoustique crête, noté  $SPL_{pic}$  ou  $SPL_{peak}$  pour Sound Pressure Level zero-to-peak, correspond au niveau de pression acoustique  $P(t)$ , exprimé en dB ref 1  $\mu Pa$ , entre le niveau 0 et le niveau maximal observé sur un signal acoustique donné. Il est défini par la relation suivante :

$$SPL_{pic} (dB) = 20 \log(\max |P(t)|).$$

**Niveau de pression acoustique crête–crête** Le niveau de pression acoustique crête–crête, noté  $SPL_{pic-pic}$  ou  $SPL_{peak-peak}$  pour Sound Pressure Level peak-to-peak, correspond au niveau de pression acoustique  $P(t)$ , exprimé en dB ref 1  $\mu Pa$ , mesuré entre deux extremums d'un signal (minimum et maximum, donc négatif et positif). Ce niveau est défini par la relation suivante :

$$SPL_{pic-pic} (dB) = 20 \log(\max(P(t)) - \min(P(t))).$$

La différence entre ces deux indicateurs est illustrée ci-dessous :



Source Level (SL)	Le niveau d'émission, noté SL pour Source Level, représente le niveau sonore émis par une source acoustique composé d'un ensemble de fréquences contenues sur une bande fréquentielle donnée. Ce niveau est exprimé en dB ref 1µPa @1 m (dans le cas d'une source sonore dont le niveau exprimé équivaut à sa mesure à 1 mètre)
Niveau d'exposition sonore	Le niveau d'exposition sonore, noté SEL pour Source Exposure Level, est un indicateur du niveau d'exposition au bruit en fonction du temps d'exposition. Exprimé en dB ref 1µPa <sup>2</sup> .s, il est défini par la relation suivante : $SEL = 10 \log_{10} \int_T P(t)^2 dt.$
Octave	Une octave représente l'intervalle fréquentiel défini entre deux fréquences $f_1$ et $f_2$ tel que : $f_2 = 2 * f_1$ .
Tiers d'octave	Un tiers d'octave représente un intervalle fréquentiel défini selon une fréquence centrale, une fréquence basse et une fréquence haute, les fréquences basses et hautes représentant les bornes fréquentielles du tiers d'octave. La fréquence centrale $f_c$ du tiers d'octave $n$ adjacent est définie par la relation suivante : $f_c(n) = 10^{\frac{n}{10}}.$ Les fréquences basses et hautes du tiers d'octave $n$ sont définies par les relations suivantes : $f_{basse}(n) = 10^{\frac{-1}{20}} * f_c(n) \text{ et } f_{haute}(n) = 10^{\frac{1}{20}} * f_c(n).$
Spectre acoustique	Le spectre acoustique d'un son représente la distribution du niveau de bruit généré en fonction des fréquences produites.
Analyse par bande de fréquence	Analyse consistant à évaluer la puissance acoustique d'un signal contenu dans les intervalles fréquentiels définis.
Densité spectrale de puissance (DSP)	Une densité spectrale de puissance, ou DSP, est une représentation de la puissance sonore reçue en fonction de la fréquence. DSP en dB re 1µPa <sup>2</sup> /Hz pour exprimer la densité spectrale de puissance d'un niveau reçu. En dB re 1µPa <sup>2</sup> /Hz @1 m dans le cadre des spectres acoustiques dont la puissance sonore émise est exprimée à 1m de la source.
Lofargramme	Représentation fréquentielle d'un signal acoustique dans le temps. Le but de cette représentation est de mettre en évidence les évolutions en fréquence des sources sonores enregistrées.
Spectrogramme	Représentation de l'amplitude du signal dans le plan temps-fréquence.

## **PARTIE A : Analyse du bruit sous-marin généré par les opérations de réensablement des plages de Pyla-sur-mer**



## 1. Contexte et objectif de l'étude

Dans le cadre des opérations de réensablement des plages de Pyla-sur-mer, une drague aspiratrice en marche, le Côtes de Bretagne, est en charge de collecter le sable par dragage sur la face orientale du banc de Bernet pour le projeter par réensablement (ou rainbowing) sur les plages. Sous la direction du Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA), cette opération de réensablement s'étale du 18 janvier 2020 au 20 février 2020 en continu 7 jours sur 7. Dans ce contexte, le SIBA a mandaté CREOCEAN et NEREIS Environnement en sous traitance afin :

- D'établir la contribution acoustique de la drague Côtes de Bretagne au bruit ambiant sous-marin ;
- De mettre en évidence la signature acoustique de la drague en fonction de ses configurations de fonctionnement (transit chargé, réensablement ou rainbowing, transit léger et dragage) ;
- D'établir une comparaison acoustique entre le Côtes de Bretagne et la drague DRAGON

Pour répondre à ces objectifs, une série d'enregistrements acoustiques a donc été réalisée les 5 et 24 février 2020 avec et sans la présence de la drague Côtes de Bretagne en opération.

## 2. Notions d'acoustique sous-marine

### 2.1. Le son

Le son est un phénomène physique généré par des ondes acoustiques. Ces ondes acoustiques résultent d'un mouvement mécanique de compression-dilatation d'un élément du milieu. Ce mouvement se transmet ensuite de proche en proche, sans déplacement de matière, ce qui permet la propagation de l'onde acoustique. Ainsi, il est possible de caractériser l'onde acoustique par la variation de pression qu'elle génère par rapport à la pression statique moyenne environnante. Cette variation de pression est appelée « pression acoustique ». L'unité de mesure de la pression acoustique est le pascal (Pa) :

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ Newton/m}^2$$

Un son se caractérise par :

- **Sa fréquence**, qui correspond au nombre de vibrations par seconde (en Hz) et qui définit la « hauteur » du son (plus la fréquence est élevée, plus le son est



aigu). La fréquence est liée à la longueur d'onde  $\lambda$  de l'onde sonore (distance parcourue par l'onde pendant une période du signal) :

$$\text{Fréquence} = \text{célérité du son} / \lambda.$$

Donc plus  $\lambda$  est grande, plus la fréquence sera faible ;

- **Son niveau**, déterminé par la variation de pression maximum par rapport à une pression de référence, qui correspond au « volume » du son ;
- **Sa durée d'apparition**, qui correspond au temps pendant lequel le son est émis.

Compte tenu des fortes variations de pression mesurables, de quelques  $\mu\text{Pa}$  à  $10^{12} \mu\text{Pa}$  (Lurton, 1998), une échelle logarithmique est utilisée pour quantifier le niveau d'énergie acoustique mesuré et ainsi approximer la sensation d'audition. Cette unité, le déciBel (dB), est une unité relative, fonction du logarithme décimal du rapport quadratique entre la pression acoustique mesurée  $P$  et une pression de référence  $P_0$  :

$$\text{Niveau sonore en dB} = 20 \log_{10} \times (P/P_0)$$

En milieu marin la pression acoustique de référence  $P_0$  est de  $1 \mu\text{Pa}$ . **Le niveau de pression acoustique absolu en milieu marin est donc exprimé en dB par rapport à  $1 \mu\text{Pa}$  ou dB re  $1 \mu\text{Pa}$ <sup>1</sup>.**

Le déciBel étant une grandeur logarithmique, les niveaux sonores ne s'additionnent pas, et le doublement de la pression acoustique mesurée ne se traduit pas par un doublement du niveau sonore mais par une augmentation de 6 dB. Ainsi, pour une pression acoustique  $P$  mesurée de  $1 \text{ Pa}$ , le niveau sonore associé est de 120 dB re  $1 \mu\text{Pa}$  tandis que pour une pression acoustique mesurée de  $2 \text{ Pa}$  le niveau sonore associé est de 126 dB re  $1 \mu\text{Pa}$ .

Le niveau sonore peut également se calculer à partir de l'intensité sonore mesurée  $I$  comparée à une intensité de référence  $I_0$  :

$$\text{Niveau sonore en dB} = 10 \log_{10} \times (I/I_0)$$

Pour une pression acoustique de référence de  $1 \mu\text{Pa}$ ,  $I_0 = 6,5 \cdot 10^{-19} \text{ W/m}^2$ . Dans ce cas, un doublement de l'intensité sonore se traduit par une augmentation du niveau sonore de 3 dB.

---

<sup>1</sup> Dans l'air, la pression acoustique de référence est de  $20 \mu\text{Pa}$ .

## 2.2. La propagation des ondes sonores dans le milieu marin

Dans l'eau, le son se propage 4 fois plus vite que dans l'air. Cette vitesse de propagation, ou célérité, dépend de la température, de la salinité et de la pression (figure A1). La célérité peut être définie par la formule suivante (Jensen, 2011) :

$$c = 1449,2 + 4,6 T - 0,55 T^2 + 0,00029 T^3 + (1,34 - 0,01 T) (S - 35) + 0,016 z$$

Avec  $c$  la célérité (m/s),  $T$  la température (°C),  $S$  la salinité (‰) et  $z$  la profondeur (m).

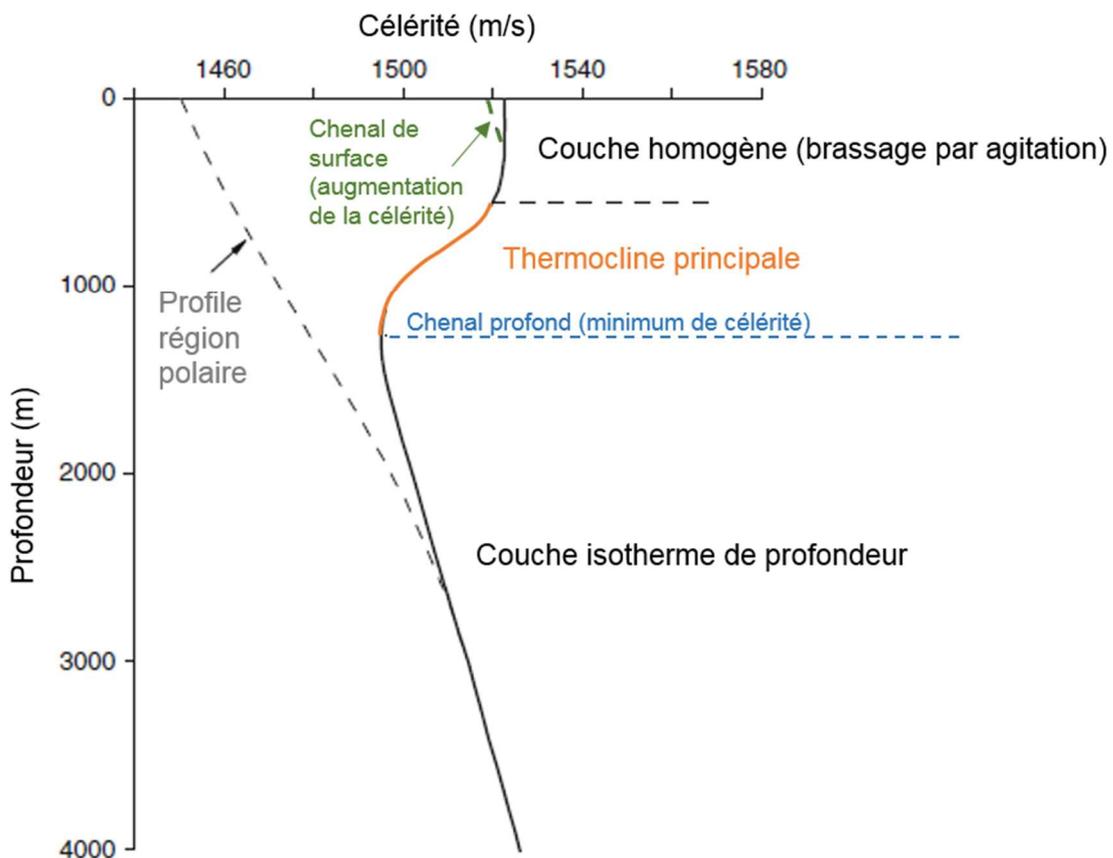


Figure A1. Profil type de célérité du son en milieu marin ouvert (Jensen et al. 2011)

Les conditions environnementales du milieu de propagation jouent un rôle important, et notamment les paramètres suivants :

- **La bathymétrie.** La propagation des ondes sonores diffère significativement entre le grand fond et le petit fond (zone côtière). Ainsi en milieu côtier, par faible hauteur d'eau, un paramètre acoustique lié à la fréquence de coupure influe sur les conditions de propagations des ondes acoustiques. En dessous d'une

fréquence dite fréquence de coupure, le milieu marin agit comme un filtre passe-haut et engendre de fortes atténuations sur les ondes sonores associées ;

- **La nature du fond.** Les propriétés absorbantes (par exemple avec un fond constitué de vase) ou réfléchissantes (par exemple avec un fond rocheux) des différents sédiments vont influencer sur la propagation des ondes sonores ;
- **Les profils de température et de salinité de la colonne d'eau.** Les variations de température sur la colonne d'eau vont directement impacter les profils de célérité. La célérité est généralement comprise entre 1450 et 1550 m/s. La célérité varie spatialement, temporellement et n'est pas homogène sur toute la colonne d'eau.

La propagation des ondes sonores peut donc être perturbée par de nombreux phénomènes dont :

- **Les variations de célérité** au sein de la colonne d'eau. Ces variations de célérité (ou gradient) vont induire une concavité des ondes sonores ;
- **Les phénomènes de réflexion**, dus à la présence des interfaces eau/air et eau/sédiment, aux obstacles présents sur le trajet de l'onde, ou à la stratification de la colonne d'eau (thermocline, intrusion d'eau douce, *etc.*), et qui modifient la direction de propagation de l'onde ;
- **Les phénomènes d'absorption et de réfraction**, qui vont induire une perte d'énergie ;
- **Les phénomènes de diffraction et diffusion**, qui provoquent un changement de direction de l'onde acoustique.

Ces phénomènes conduisent à modifier la direction et à atténuer l'intensité du signal transmis entre la source et le récepteur et à induire des interférences dues aux multiples trajets que peut prendre les ondes acoustiques générées par une source de bruit. Ces phénomènes sont d'autant plus importants et complexes en milieu côtier (par petit fond) ou la propagation des ondes sonores est soumise à de nombreuses réflexions surface/fond.

Le milieu physique de propagation, l'eau de mer, va lui aussi contribuer à atténuer l'intensité de l'onde acoustique, d'une part par divergence sphérique (l'énergie de l'onde acoustique va « s'étaler » au fur et à mesure de sa progression et donc se diluer dans le milieu) et d'autre part par amortissement (absorption de l'énergie acoustique dissipée du fait de la viscosité du milieu et des interactions chimiques).

Tous ces phénomènes contribuent à expliquer les différences de niveaux mesurés entre le son émis par une source et le son reçu par un récepteur.

La propagation des ondes acoustiques est donc un phénomène complexe, et son évaluation nécessite parfois d'avoir recours à des logiciels de modélisation spécifiques. Il existe plusieurs modèles dont la pertinence et la précision dépendent



de paramètres environnementaux et acoustiques. Parmi les paramètres environnementaux, la bathymétrie est un facteur important et il est nécessaire de distinguer les modèles adaptés aux conditions de petit fond, et ceux adaptés aux conditions de grand fond (Richardson *et al.*, 1995).

En effet, par petit fond les phénomènes de réflexion/réfraction sont particulièrement importants et la propagation des ondes basse fréquence est fortement atténuée.

Un des modèles les plus simples est le modèle de propagation sphérique, qui considère que l'onde acoustique se propage de la même façon dans toutes les directions. Les pertes se calculent alors de la façon suivante :

$$\text{Pertes (en dB)} = 20 \log_{10} X + (\alpha X/1000)$$

où X est la distance (en m) entre la source et le récepteur, et  $\alpha$  est le coefficient d'atténuation par amortissement (absorption de l'énergie par le milieu exprimé en dB/km). Le facteur  $20 \log_{10}$  est propre à la divergence sphérique, et d'autres facteurs de correction peuvent être utilisés (dans le cadre d'une divergence cylindrique, par exemple, le facteur de correction est de  $10 \log_{10}$ ). Ces modèles de propagation sont très simplifiés et ne constituent qu'une approche des phénomènes de pertes par propagation.

### 2.3. Caractérisation du bruit ambiant sous-marin

Le bruit ambiant est le bruit global mesuré en un point donné. Il est défini par la somme des contributions acoustiques d'une myriade de sources sonores que l'on ne peut pas distinguer les unes des autres. Le bruit ambiant exclut les bruits qui pourraient être liés aux conditions d'enregistrement.

Le bruit ambiant est composé de l'ensemble des sons émis par les sources sonores qui influent au point de mesure. En milieu marin ces sources sonores sont :

- Liées à la géophonie à travers les phénomènes naturels (pluie, vent, orage etc.) ;
- Liées à la biophonie avec les sources biologiques (macrofaune benthique et mammifères marins notamment) ;
- Liées à l'anthrophonie avec les sources sonores générées par les activités humaines (trafic maritime et activités industrielles offshore et côtières).

D'une manière générale, le trafic maritime en champ lointain et le vent sont les principales sources qui contribuent au bruit ambiant global (Urick, 1984).

Le modèle de Wenz, établi en 1962 (Wenz, 1962), synthétise la contribution des différentes sources sonores au bruit ambiant sous-marin en milieu ouvert par grand fond (figure A2).



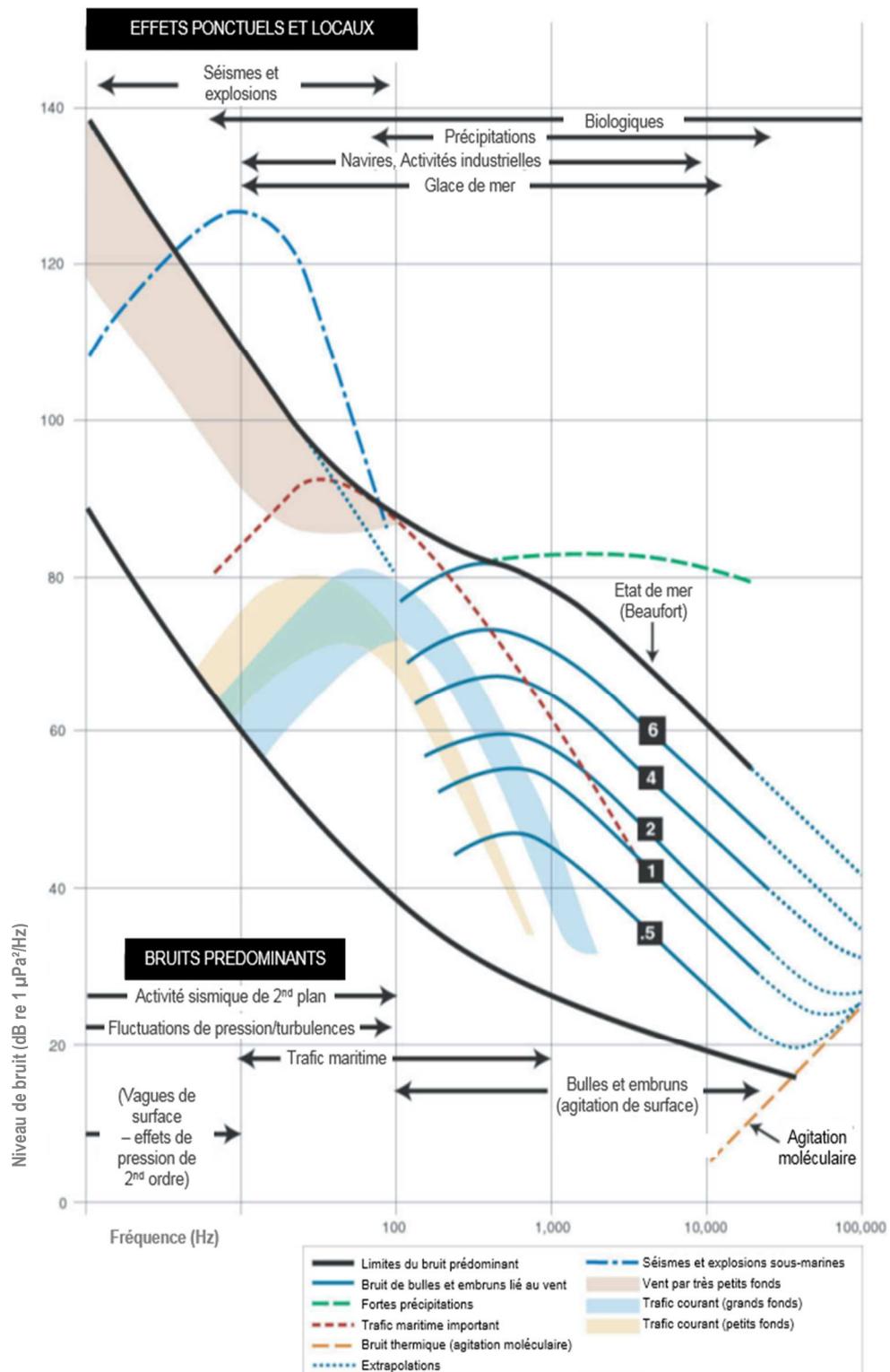


Figure A2. Caractéristiques et composantes du bruit ambiant sous-marin par grand fond (Wenz, 1962)

Le bruit ambiant sous-marin est donc très variable, en niveau et en fréquence, temporellement et spatialement. Cette variabilité est principalement liée à l'intensité du trafic maritime et à l'influence des conditions météorologiques. La variabilité des conditions de propagation des ondes sonores (liées aux propriétés physiques du milieu de propagation et à la profondeur) influe également sur le bruit ambiant (Richardson *et al.*, 1995).

En milieu côtier peu profond (inférieur à 50 m) la contribution des phénomènes météorologiques combinés du vent, de l'état de mer et des précipitations au bruit ambiant sous-marin est particulièrement importante (Wenz, 1962).

### 3. Etude acoustique : acquisition de données *in situ*

Pour cette étude, la stratégie d'acquisition des données a consisté à réaliser plusieurs radiales de mesures acoustiques en dérive. L'acquisition acoustique consiste à déployer un enregistreur acoustique depuis un navire à l'arrêt. La dérive du navire est suivie par GPS.

Une radiale est donc matérialisée par l'enregistrement du paysage sonore sous-marin sur une trajectoire donnée.

La radiale de mesures permet d'augmenter l'échantillonnage spatial de données acoustiques en se repositionnant au besoin. Cette stratégie permet de répondre à l'acquisition des données acoustiques propres à une zone d'étude et à l'établissement du spectre acoustique de la drague.

Dans notre cas d'étude ces deux objectifs ont nécessité l'adoption d'un protocole de réalisation de radiales de mesures :

- Sur les 5 points de mesure « référence » qui délimitent le périmètre opérationnel de la drague Côtes de Bretagne. Ces 5 points ont été monitorés avec et sans la présence de la drague afin de pouvoir établir la contribution des opérations de réensablement sur le paysage sonore sous-marin ;
- En dérive autour de la drague Côtes de Bretagne afin d'établir le spectre acoustique représentatif du navire en fonction de sa phase opérationnelle ;
- En dérive autour de la drague DRAGON afin d'établir le spectre acoustique représentatif du navire.



### 3.1. Calendrier de l'étude

L'étude acoustique a consisté en deux campagnes d'acquisition des données *in situ* (figure A3) :

- Le 5 février 2020 avec la présence sur la zone d'étude de la drague Côtes de Bretagne en opération de réensablement sur les plages de Pyla-sur-mer ;
- Le 24 février 2020 sans la présence de la drague Côtes de Bretagne mais avec la présence de la drague DRAGON en opération au niveau du banc de la Vigne.

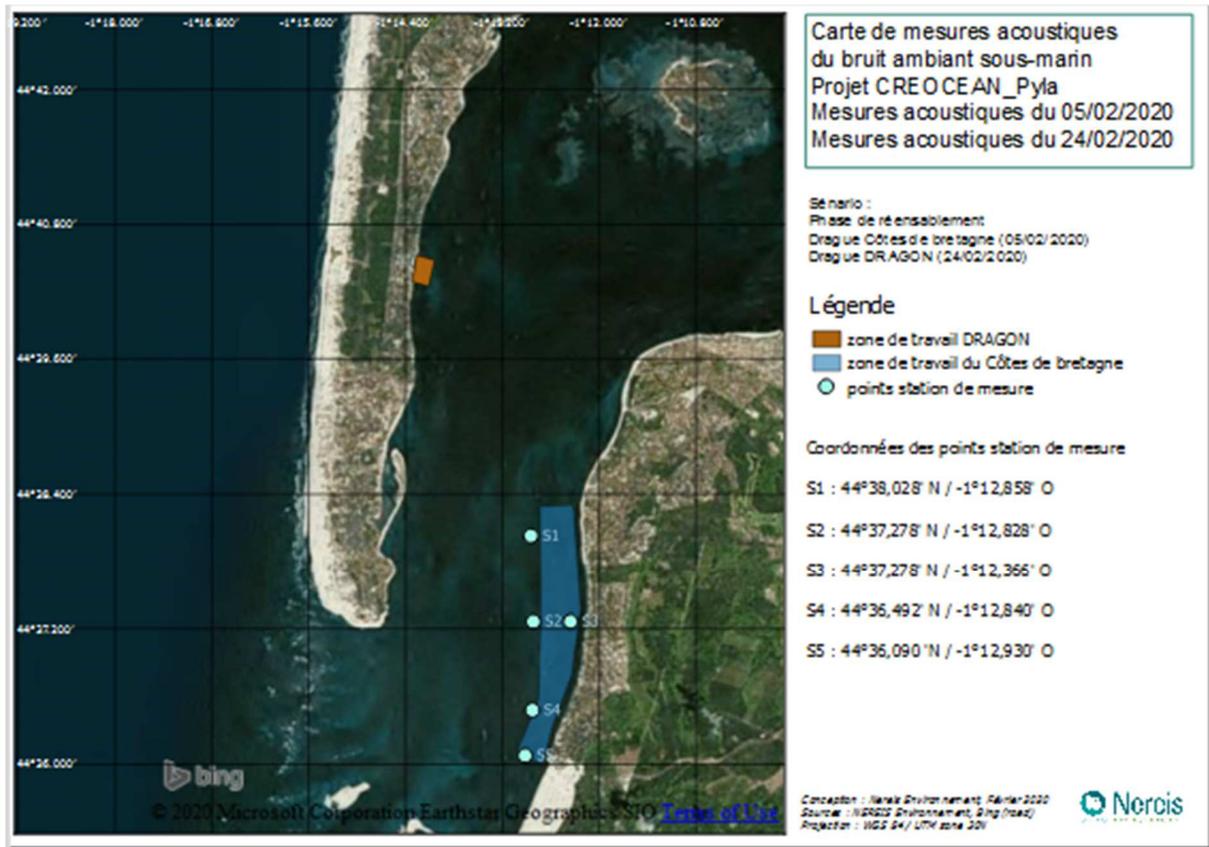


Figure A3. Localisation des points de mesures « référence ».

### 3.2. Moyens nautiques et personnel mobilisés pour l'étude

Le zodiac de la société CREOCEAN a été mobilisé pour les phases d'étude du 5 et du 24 février 2020. L'utilisation du zodiac permet de se repositionner rapidement et de s'affranchir, par un faible tirant d'eau, des contraintes de navigation au niveau du banc de Bernet.



Figure A4. Le semi-rigide « CREOCEAN » utilisé pour la mise en œuvre des capteurs acoustique et les mesures en radiale.

### 3.3. Matériel et logiciels utilisés

#### 3.3.1 Chaîne acoustique MARANTZ

Pour l'acquisition de données *in situ*, la chaîne acoustique MARANTZ a été utilisée. Les caractéristiques et paramétrages de cet enregistreur et de son hydrophone sont décrits dans les tableaux A1 et A2 ci-dessous.

Tableau A1. Caractéristiques techniques de l'enregistreur acoustique autonome MARANTZ

Caractéristiques	Chaîne acoustique MARANTZ
Bande passante d'acquisition	10 Hz à 48 kHz
Capacité de stockage	Stockage sur des cartes SD 32 Go
Enregistrement	<b>En continu</b>
Gain	réglable
Fréquence d'échantillonnage	96 kHz
Codage	24 bits



Tableau A2. Caractéristiques principales de l'hydrophone B&K 8106 utilisé pour les enregistrements *in situ*.

Caractéristiques	Hydrophone B&K 8106
Sensibilité	-174.1 dB ref 1V/ $\mu$ Pa Réponse plate à +/- 1 dB
Bande passante	<b>10 Hz à 50 kHz</b>

### 3.3.2. La sonde multiparamètre MP4 (NKE)

Une sonde CTDDO MP4 (NKE) a été utilisée afin de collecter des données physico-chimiques sur le site d'essais. Cette sonde permet d'enregistrer toutes les 5 secondes les paramètres de température, salinité, profondeur et teneur en oxygène dissous dans la colonne d'eau. Les caractéristiques de la sonde MP4 utilisée pour cette étude sont décrites dans le tableau A3 ci-dessous.

Tableau A3. Caractéristiques techniques de la sonde CTDDO MP4 (NKE) utilisée pour réaliser des profils physico-chimiques.

Paramètre (unité)	Gamme de mesure	Précision	Résolution
Profondeur (m)	0 à 30 m	0,06 m	0,006 m
Température (°C)	-5°C à 35°C	< 50 m°C dans la gamme 0-20°C	13 m°C à 10°C
Salinité (‰)	2 à 42 ‰ à 20°C	$\pm$ 0,1 ‰	0,0011 ‰
Saturation en O2 dissous (%)	0 à 120%	< 5%	0,01%

### 3.3.3. Logiciels de traitement et d'analyse des données

L'outil de traitement et d'analyse de données acoustiques SEAc (figure A5) a été utilisé dans le cadre de cette étude. Cet outil permet de traiter les données acoustiques en intégrant 4 phases :

- L'acquisition des données acoustiques *in situ*. L'adéquation entre les performances de l'enregistreur et les traitements en analyse spectrale ont été optimisés ;
- Le traitement et l'analyse qui reposent sur des algorithmes de détection semi-automatique et traitements FFT ;
- La comparaison des données collectées et traitées avec une base de données de référence ;

- La modélisation en acoustique sous-marine qui permet de déterminer l’empreinte sonore associée à chaque opération à qualifier et l’impact acoustique potentiel sur les espèces marines, dont les mammifères marins.

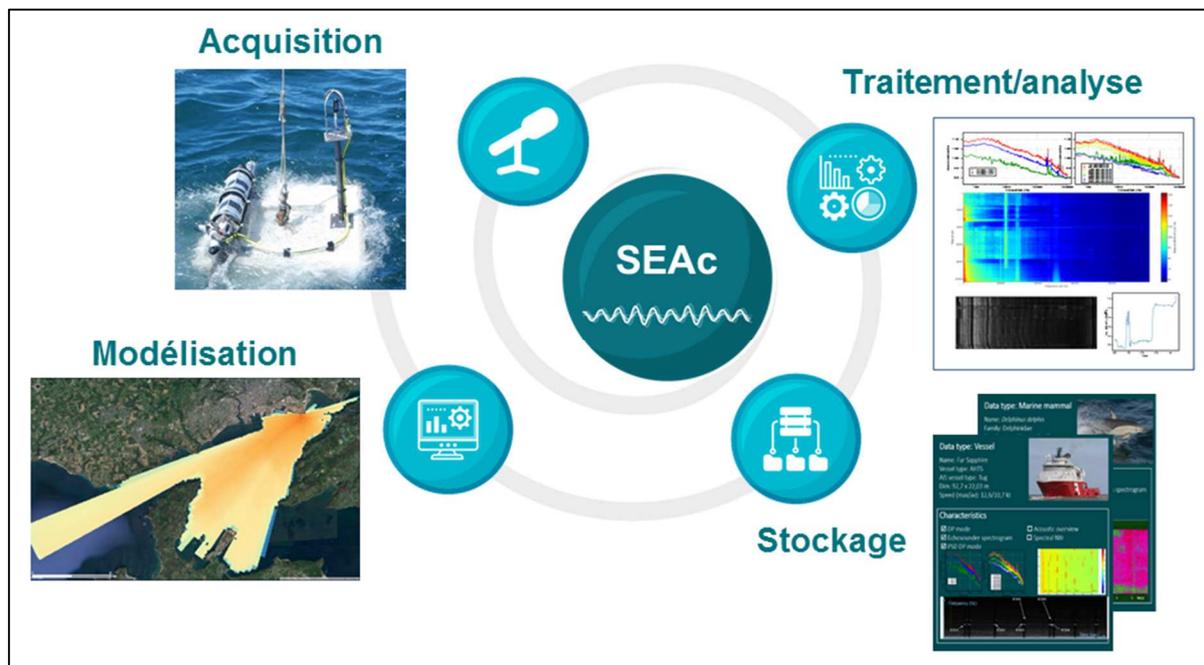


Figure A5. Outil de traitement SEAc développé par NEREIS Environnement.

**Afin de pouvoir garantir la possibilité d’effectuer des traitements en acoustique sous-marine complémentaires et de modélisation des empreintes sonore acoustiques, NEREIS Environnement a complété l’acquisition des données acoustiques *in situ* avec des métadonnées environnementales (profils béthycélérimétriques en particulier).**

### 3.4. Méthodologie de l’étude

. Ce protocole est conforme à :

- La norme AFNOR ISO 18406 d’avril 2017, relative au mesurage du son sous-marin émis lors de l’enfoncement de pieux marins ;
- La décision UE n°2017/848 de la commission du 17/05/2017 établissant des critères et des normes méthodologiques applicables au bon état écologique des eaux marines ainsi que des spécifications et des méthodes normalisées de surveillance et d’évaluation, et abrogeant la décision n° 2010/477/UE du 01/09/2010 relative aux critères et aux normes méthodologiques concernant le bon état écologique des eaux marines ;

- La directive n°2008/56/CE du 17/06/2008 établissant un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin (directive-cadre « stratégie pour le milieu marin »), transposée dans le Code de l'Environnement (articles L.219-9 à L.219-18 et R.219-2 à R.219-10).

Compte tenu des spécificités de l'étude et de la zone de monitoring (très petit fond, nécessité de mesures en dérive) une adaptation de protocole a été réalisée par rapport à la *Rule Note* NR 614 DT R01 E de février 2017 du bureau Véritas concernant le bruit sous-marin (*Underwater Radiated Noise – URN*).

Le protocole de mesure proposé tient compte des différentes situations d'exploitation de la drague (en transit léger, en transit chargé, en dragage et en réensablement).

Néanmoins il est important de souligner que contrairement aux opérations de dragage de chenaux de navigation ou de port, les phases de transit léger et chargé, dans notre cas d'étude, sont très réduites de par la proximité immédiate entre la zone de dragage et la zone de réensablement.

De ce fait ces phases de transit léger et chargé n'ont pas pu être monitorées intégralement.

### 3.4.1. Protocole de mesures acoustiques

Deux campagnes de mesures acoustiques ont été réalisées entre le 5 et le 24 février 2020. Durant ces deux campagnes, des enregistrements au niveau des 5 points dits de « référence » (figure 3) ont été réalisés afin d'estimer l'évolution du bruit ambiant avec et sans la drague Côtes de Bretagne en opération. Ces 5 points délimitent la zone de travail de la drague. La contribution acoustique de la drague au paysage sonore du banc de Bernet est ainsi évaluée au regard des évolutions de bruit ambiant estimées à ces points.

Des mesures de radiale en dérive ont également été réalisées en parallèle le 5 février pour établir la signature acoustique de la drague Côtes de Bretagne. Ainsi pour chacune des situations d'exploitation de la drague des mesures acoustiques ont été réalisées en se repositionnant à proximité de la drague. Le but étant d'enregistrer la drague sous ses différentes inclinaisons. Ces radiales ont été conduites en coopération avec l'équipage de la drague Côtes de Bretagne pour pouvoir se positionner à proximité de celle-ci (à des distances variables de 50 mètres au minimum pour garantir une qualité d'enregistrement optimale). Un calage par GPS lors des mesures *in situ* a été réalisé.

Les trajectoires de la drague et du zodiac CREOCEAN ont été cartographiées avec le logiciel QGIS grâce aux tracés du GPS, aux données AIS de la drague et des recalages en distance réalisés entre les deux navires par télémétrie laser. Cette phase de traitement est indispensable pour établir un diagramme de rayonnement du navire.



Ce diagramme de rayonnement traduit le niveau d'émission global de la drague et établit le cas échéant les spécificités acoustiques en fonction de la situation d'exploitation et du gisement du navire. Il permet de mettre en évidence le cas échéant la directivité de la source sonore que représente la drague.

Les mesures du 24 février 2020 ont permis par ailleurs de réaliser des radiales acoustiques au niveau du banc de la Vigne pour établir la signature acoustique de la drague DRAGON. Une comparaison acoustique des deux dragues est ainsi proposée.

### 3.5. Résultats de l'analyse des données collectées

#### 3.5.1. Caractérisation des composantes du bruit ambiant aux différents points de mesures S1 à S5

Cette analyse acoustique réalisée aux 5 points de mesure « référence » vise à établir la contribution au bruit ambiant par la drague Côtes de Bretagne selon ses situations d'exploitation.

##### 3.5.1.1. Contribution de la drague Côtes de Bretagne au bruit ambiant

Les mesures acoustiques aux 5 points dits de « référence » ont été réalisées les 5 et 24 février 2020.

Lors des mesures réalisées le 5 février au niveau des 5 points de référence la drague Côtes de Bretagne était en opération permanente :

- De dragage lors des mesures aux points S1, S2, S3 et S5 ;
- De réensablement lors des mesures au point S4.

Les figures en annexe 1 présentent une synthèse des mesures réalisées lors des deux campagnes à ces points de « référence ».

Plusieurs remarques permettent de mieux appréhender les ambiances sonores aux différents points de mesure :

- Aucune activité associée à la biophonie n'a été observée lors des deux campagnes de mesure ;
- De fortes variations bathymétriques sont observées sur chacun des points de mesure (avec une profondeur variable de 2 mètres à plus de 13 mètres), ce qui modifie significativement les conditions de propagation des ondes sonores et donc les signaux sonores enregistrés ;



- Les conditions météorologiques très favorables, avec une absence de vent et de houle lors des deux campagnes, limitent l'influence des phénomènes météorologiques et donc la contribution de la géophonie au bruit ambiant ;
- Le paysage sonore est très différent entre les deux campagnes de mesure, en particulier du fait de la densité de trafic de navire significativement plus importante lors des mesures réalisées le 24 février. **En effet, lors des mesures sur les points de « référence » le 5 février 2020 (mis à part lors des mesures sur S4 avec la présence de 2 navires de pêche), aucun autre navire que le Côtes de Bretagne n'a été enregistré.** Le 24 février par contre, un trafic important de navires de pêche, barges ostréicoles et autres navires de plaisance a été observée sur le plan d'eau lors des mesures acoustiques. Les fiches synthèse proposées en annexe 1 précisent les sources sonores enregistrées.

Les niveaux de bruit équivalent moyenné ( $L_{eq}$  ou  $L_{eq,T}$ ) sur toute la période d'enregistrement de chacun des points de « référence » ont été calculés (tableau A4).

Tableau A4. Niveaux de bruit équivalent moyenné mesurés aux points de « référence » les 5 et 24 février.

Points	5 février 2020	24 février 2020
S1	125,8 dB re 1 $\mu$ Pa	119,4 dB re 1 $\mu$ Pa
S2	113,9 dB re 1 $\mu$ Pa	118,2 dB re 1 $\mu$ Pa
S3	120,3 dB re 1 $\mu$ Pa	130,9 dB re 1 $\mu$ Pa
S4	125,5 dB re 1 $\mu$ Pa	125,4 dB re 1 $\mu$ Pa
S5	127,6 dB re 1 $\mu$ Pa	116,6 dB re 1 $\mu$ Pa

Les niveaux  $L_{eq}$  mesurés le 5 février étaient supérieurs aux points S1 et S5 par rapport aux mesures effectuées le 24 février. Ils sont par contre équivalents au point S4 et inférieurs au point S2 et S3.

Plusieurs éléments d'interprétation permettent de comprendre ces différences de niveaux :

- Pour les points S2 et S3, le 5 février la drague était en opération de dragage à des distances d'enregistrement de 959 et 599 mètres respectivement au minimum. Les pertes acoustiques associées à la distance entre la drague et le récepteur expliquent cet écart, de même que la densité de trafic supérieure observée le 24 février ;
- Pour le point S4, la drague était en opération de réensablement à une distance de 655 mètres au minimum de l'enregistreur. Durant cette phase, le Côtes de Bretagne était au plus près de l'estran. Les ondes acoustiques générées par la drague se propagaient dès lors plus difficilement dans le milieu marin du fait de la faible profondeur ;

- Pour les points S1 et S5, le 5 février, la drague était en opération de dragage a des distances d'enregistrement de 480 et 202 mètres respectivement au minimum (donc plus proches que pour les points S2 et S3) dans un secteur avec une bathymétrie plus importante pour S5 (donc avec des conditions environnementales plus propice à la propagation des ondes acoustiques).

Les niveaux Leq observés lors des deux campagnes de mesure aux 5 points de mesure « référence » sont conformes aux niveaux observés pour des ambiances sonores associées à des zones de petits fonds (inférieurs à 50 mètres), proches de ports et/ou dans des chenaux de navigation portuaire.

### 3.5.1.2. Géophonie : phénomènes météorologiques

Afin de prendre en compte la contribution des phénomènes météorologiques (pluie et vent notamment), un suivi des conditions météorologiques a été effectué durant toute la période d'acquisition. Le résultat de ce suivi est présenté dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau A5. Synthèse des conditions météorologiques observées durant le monitoring acoustique les 5 et 24 février 2020 (source : données météorologiques [www.data.shom.fr](http://www.data.shom.fr)).

5 février 2020	24 février 2020
Houle : 0,1 m	Houle : 0,2 m
Vent : 8 nd	Vent : 5 à 7 nd
Mer belle	Mer belle

### 3.5.2. Analyse acoustique du Côtes de Bretagne

L'analyse acoustique du Côtes de Bretagne a pour objectif de mettre en évidence les principales sources sonores contributrices en phase de dragage. Pour cela, il est important de connaître les caractéristiques techniques des navires étudiés, et notamment les caractéristiques concernant l'appareil propulsif et les techniques de dragage. Les principales caractéristiques techniques de ce navire sont présentées dans le tableau A6 ci-dessous.

Tableau A6. Caractéristiques de la drague Côtes de Bretagne.

Caractéristiques	Côtes de Bretagne
Longueur	74,96 m
Largeur	11 m
Tirant d'eau	3,833 m
Tonnage	1269 ums
Capacité	1270 m <sup>3</sup>
Puissance	1472 kW à 1800 tr/min
Vitesse	9 nds
Propulsion	Moteurs Cummins 4T-12cyl (KT-38-M), 2 propulseurs azimutaux Schottel orientables sur 360° + propulseur d'étrave
Technique de dragage	Élinde traînante située à tribord (500 mm de diamètre) ; profondeur maximum de dragage : 41 m + élinde pour chargement à point fixe par l'avant Tribord
Pompes	Pompe de dragage
Production d'électricité	2 groupes Diesel-alternateurs de 100 kW chacun

Pour chacune des phases d'exploitation de la drague, l'analyse acoustique et spectrale a donc pour objectifs :

- D'identifier les spectres acoustiques associés au navire ;
- D'analyser les contributions sonores du navire, dont le niveau de bruit large bande ;
- D'effectuer une comparaison des niveaux de bruit émis lors des opérations de dragage avec les données existantes (données bibliographiques).

### 3.5.2.1. Spectres acoustiques du Côtes de Bretagne

L'analyse spectrale de la drague Côtes de Bretagne a été réalisée sur la base des mesures acoustiques réalisées le 5 février 2020. Entre 8h36 et 17h43 (heure locale) la drague a réalisé 3 cycles complets. Un cycle correspond à 4 situations d'exploitation : dragage, transit chargé, réensablement par rainbowing et transit léger. Pour chacun de ces cycles, un spectre acoustique global puis ramené à 1 mètre (@1 m) a été calculé (Densité Spectrale de Puissance – DSP - qui présente le gabarit spectral de la drague à 1 mètre).

La figure A6 présente une synthèse des gabarits acoustiques associés à cette drague, en fonction des situations d'exploitation.

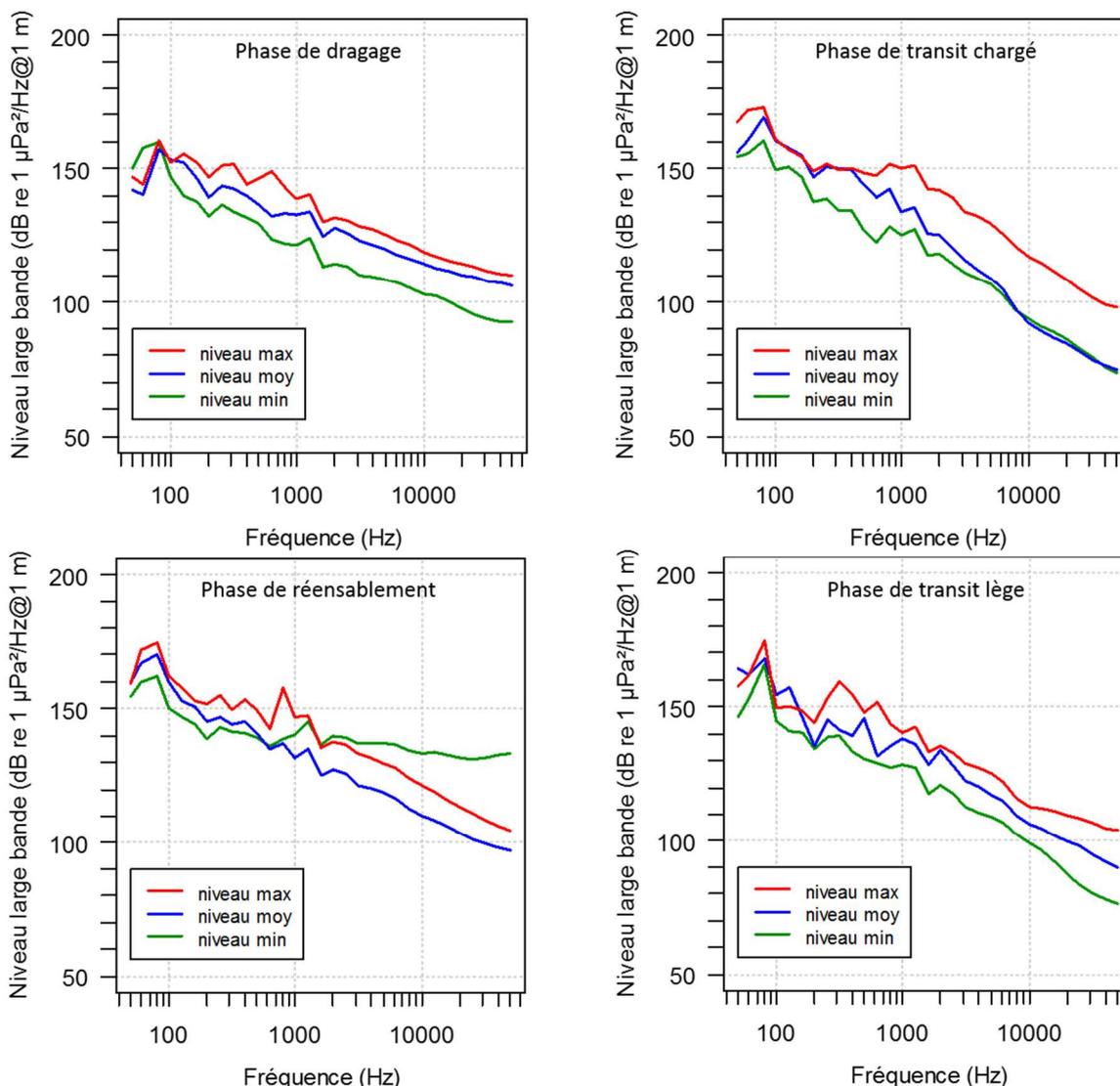


Figure A6. Densités spectrales de puissance associées aux 4 phases ou situations d'exploitation de la drague.

Les caractéristiques des rotations retenues pour l'analyse sont présentées en annexe 1.

### 3.5.3. Diagrammes de rayonnement de la drague Côtes de Bretagne

Le diagramme de rayonnement acoustique d'un navire est un outil de représentation du niveau de bruit large bande émis par le navire en fonction de son gisement. Cette représentation permet de mettre en évidence la potentielle hétérogénéité acoustique du navire.

Les figures A7 et A8 présentent les diagrammes de rayonnement du niveau large bande (entre 50 Hz et 50 kHz) maximum @1 m pour les 4 situations d'exploitation de la drague Côtes de Bretagne (dragage, transit chargé, réensablement et transit léger).

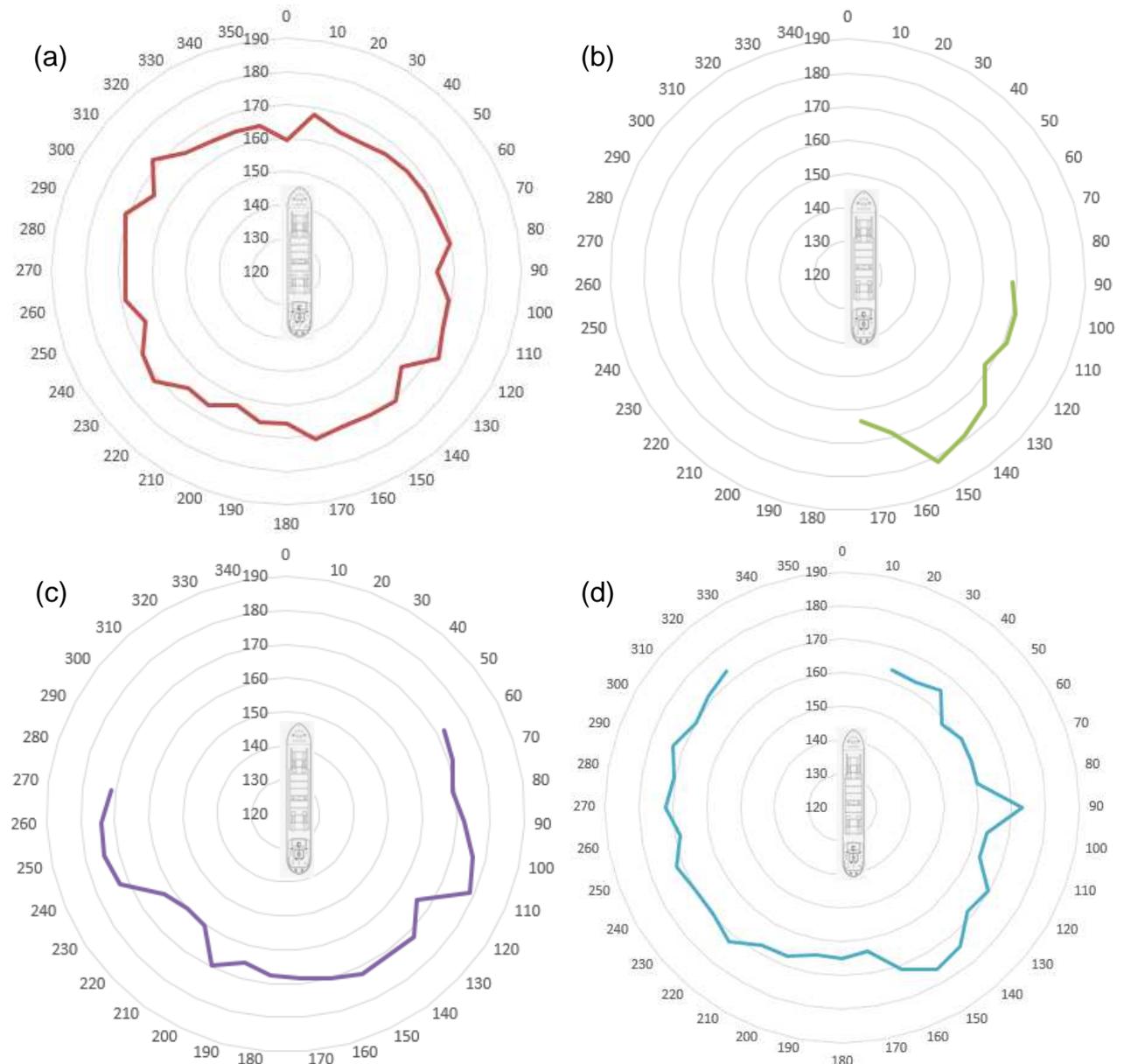


Figure A7. Diagrammes de rayonnement large bande (50 Hz à 50 kHz) du Côtes de Bretagne en phase de (a) dragage, (b) transit chargé, (c) réensablement et (d) transit léger. Les niveaux de bruit correspondent aux niveaux maximums et sont exprimés en dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m.

Les niveaux maximums sont observés :

- En situation de dragage à 172,4 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m pour le gisement 310 ;
- En situation de transit chargé à 181,4 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m pour le gisement 150 ;
- En situation de réensablement à 178,6 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m pour le gisement 110 ;
- En situation de transit léger à 175,8 dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m pour le gisement 150.

Les niveaux minimums sont observés :

- En situation de dragage à 159,5 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 0 ;
- En situation de transit chargé à 163,6 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 170 ;
- En situation de réensablement à 160 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 220 ;
- En situation de transit léger à 158,2 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 50.

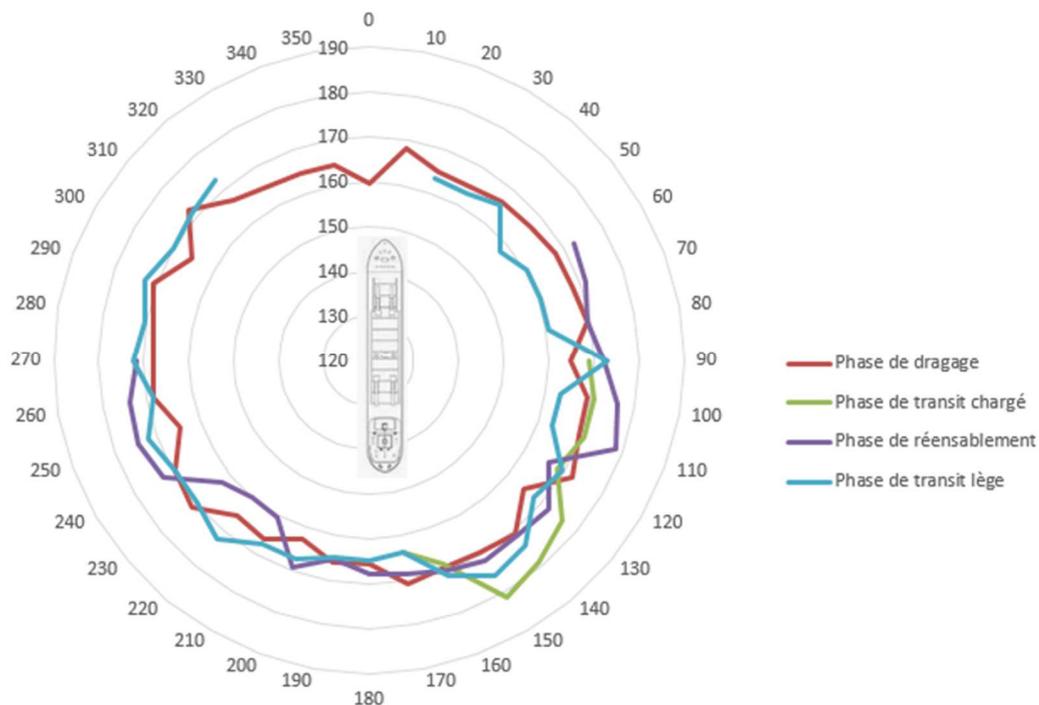


Figure A8. Diagrammes de rayonnement large bande (50 Hz à 50 kHz) du Côtes de Bretagne en phase de (a) dragage, (b) transit chargé, (c) réensablement et (d) transit léger. Les niveaux de bruit correspondent aux niveaux maximums et sont exprimés en dB re 1  $\mu$ Pa @1 m.

### 3.5.4. Analyse acoustique du DRAGON

La drague DRAGON est une drague de type CSD (Cutter Suction Dredger, voir paragraphe 3.5.9.) stationnaire car le dispositif de pompage du sable par désagregation est positionné sur un ponton équipé de deux pieux qui s'enfichent dans le substrat. A l'instar d'un ponton dipper pour le déroctage, le déplacement du ponton s'effectue par « papillonnage ».

Deux situations de fonctionnement de la drague DRAGON ont été observées : le dragage et le rinçage. Le rinçage consiste notamment en une mise en pression de la canalisation de refoulement du mélange eau de mer et sédiment. Cette canalisation est fixée à l'extrémité arrière de la drague. Cette phase de rinçage débute par une montée en régime de fonctionnement du dispositif de pompage.

Des mesures acoustiques ont été réalisées durant cette phase. **Cependant, compte tenu de la montée en régime du système de pompage, les niveaux mesurés sont fortement variables. Ceci se traduit sur le diagramme de rayonnement associé par une hétérogénéité dans les niveaux mesurés entre les côtés tribord et babord de la drague. Il est fort probable qu'à régime constant cette différence soit fortement atténuée.**

### 3.5.4.1. Spectres acoustiques du DRAGON

L'analyse spectrale de la drague DRAGON a été réalisée sur la base des mesures acoustiques réalisées le 24 février 2020 au niveau du banc de la Vigne. Pour chacune des 2 situations d'exploitation (rincage et dragage) un spectre acoustique global, puis ramené à 1 mètre a été calculé (densité spectrale de puissance – DSP - qui présente le gabarit spectral de la drague à 1 mètre). La figure A9 présente la cinématique réalisée pour effectuer les mesures acoustiques à proximité de la drague.

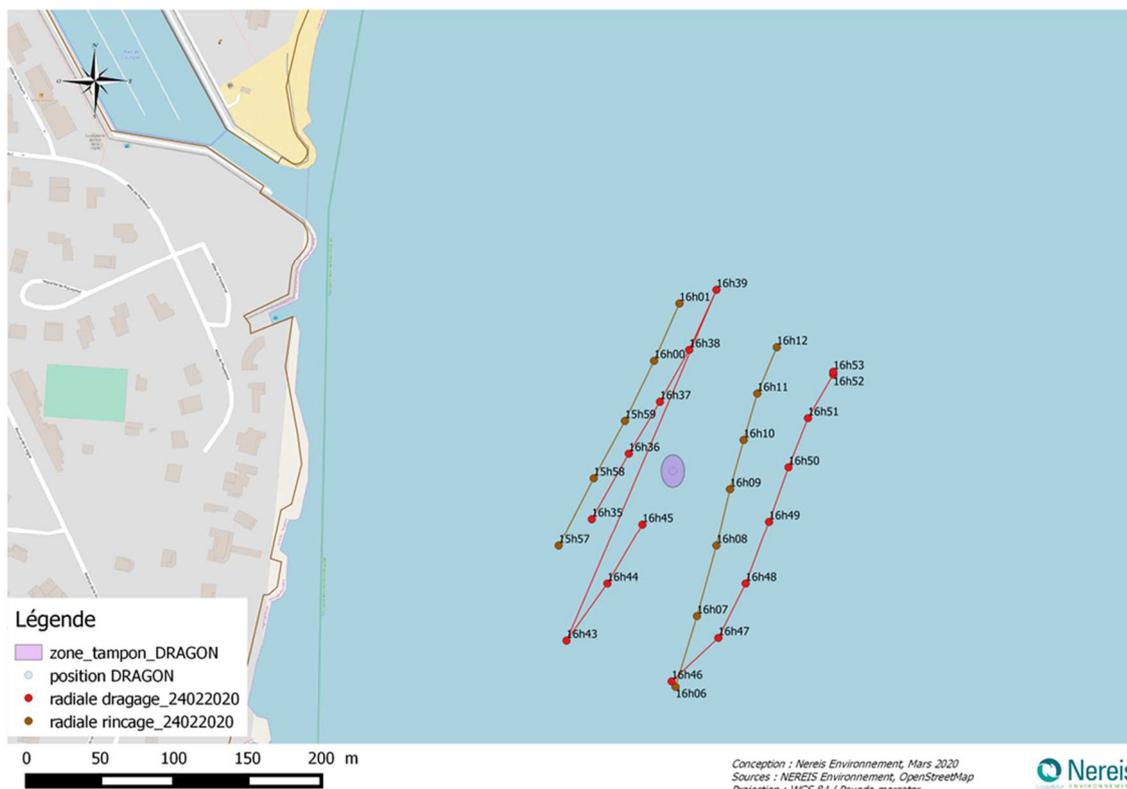


Figure A9. Cinématique des radiales acoustiques réalisées pour la drague DRAGON.

La figure A10 présente une synthèse des gabarits acoustiques associés à cette drague, en fonction des situations d'exploitation.

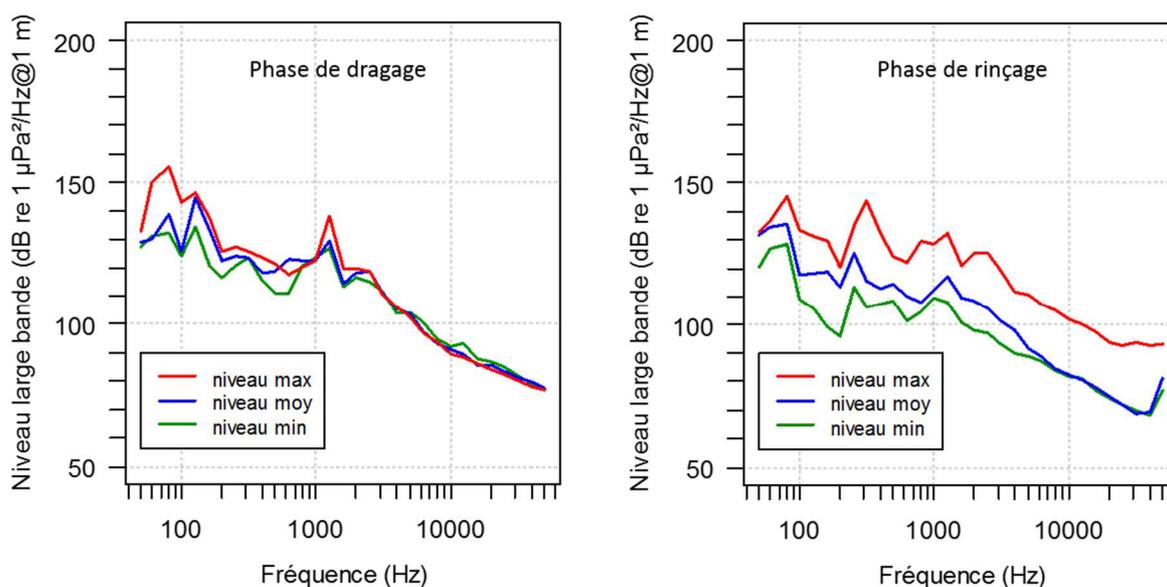


Figure A10. DSP associées aux deux phases ou situations d'exploitation de la drague.

### 3.5.5. Diagrammes de rayonnement de la drague DRAGON

La phase de dragage se caractérise par l'utilisation de la tête désagrégatrice. Un renforcement de la signature acoustique est observé sur les gisements 170 à 220 qui représentent la position de la canalisation de refoulement (figure A11).

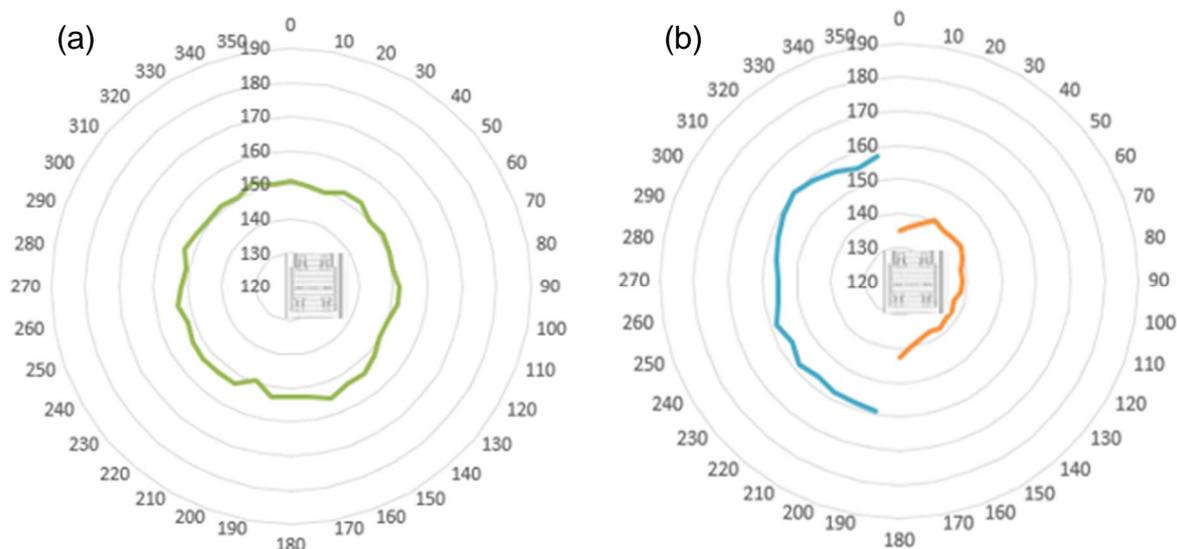


Figure A11. Diagrammes de rayonnement large bande (50 Hz à 50 kHz) de la drague DRAGON en phase de (a) dragage et (b) rinçage. Les niveaux de bruit correspondent aux niveaux maximums et sont exprimés en dB re 1 µPa @ 1 m.

Les niveaux maximums sont observés :

- En situation de dragage à 154,9 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 160 ;
- En situation de rinçage à 160,3 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 310.

Les niveaux minimums sont observés :

- En situation de dragage à 149,3 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 20 ;
- En situation de rinçage à 134,7 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 0.

La figure A12 présente la synthèse des diagrammes de rayonnement du niveau large bande (entre 50 Hz et 50 kHz) maximum @1 m pour les 2 situations d'exploitation de la drague DRAGON : le rinçage qui est une phase de préparation aux opérations de dragage et le dragage en lui-même.

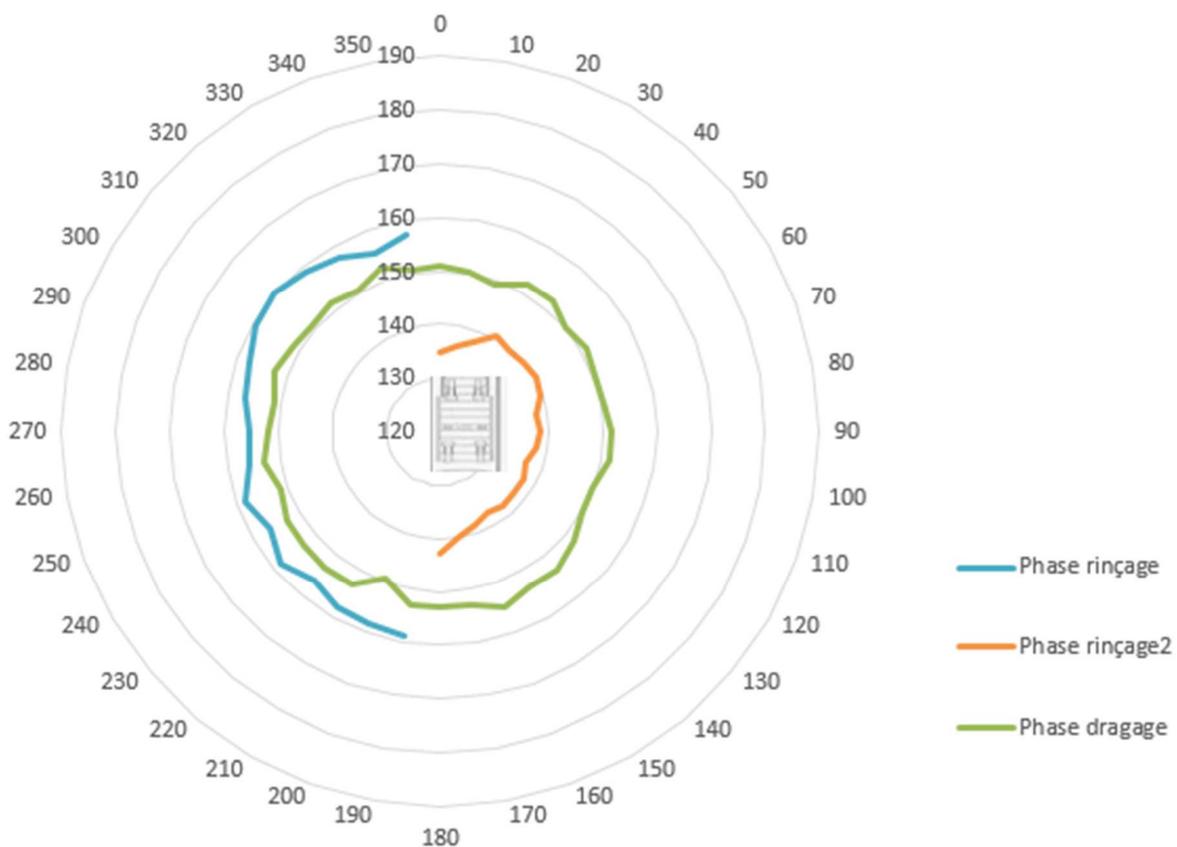


Figure A12. Diagrammes de rayonnement large bande (50 Hz à 50 kHz) du DRAGON, les niveaux maximums sont exprimés en dB re 1  $\mu$ Pa @1 m.

### 3.5.6. Comparaison des diagrammes de rayonnement de la drague DRAGON et du Côtes de Bretagne lors des opérations de dragage

La différence de signature acoustique entre les deux dragues en opération est présentée sur la figure A13. Celle-ci met en évidence les niveaux d'émission des deux navires et leurs spécificités. Le Côtes de Bretagne est celui dont le niveau d'émission est le plus important et ce quelque soit le gisement. Cette différence est au minimum de 8,5 dB (pour le gisement 0) à 22,3 dB au maximum (pour le gisement 120).

Le côté tribord du Côtes de Bretagne présente des niveaux d'émission supérieurs par rapport à babord. Ceci s'explique par la configuration des installations du navire avec son élinde trainante qui se déploie sur tribord.

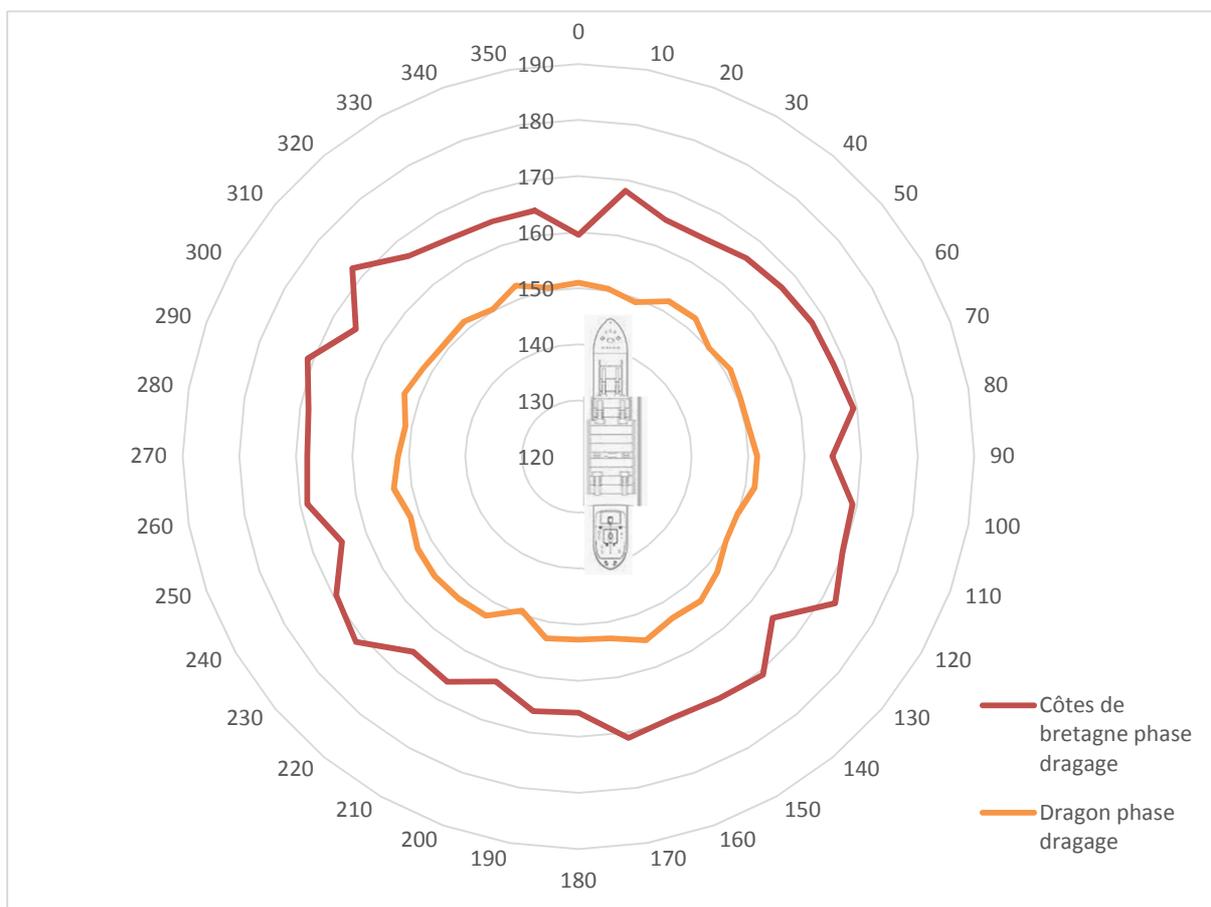


Figure A13. Diagrammes de rayonnement large bande (50 Hz à 50 kHz) du DRAGON et du Côtes de Bretagne lors de la phase de dragage. Les niveaux maximums sont exprimés en dB re 1  $\mu$ Pa @ 1 m.

### 3.5.7. Comparaison des spectres acoustiques avec les données issues de la littérature

On distingue communément 4 types de dragues différents (McQueen *et al.*, 2019 – figure A14) :

- Les dragues aspiratrices autoporteuses ou en marche à élinde trainante (TSHD pour Trailer Suction Hopper Dredger). L'aspiration des sédiments est effectuée par une élinde trainante tractée sur le fond. Celle-ci creuse des sillons en aspirant les sédiments, qui vont ensuite être rejetés sur une zone dite de clapage. **Le navire Côtes de Bretagne est de ce type ;**
- Les dragues suceuses à désagrégateur (CSD pour Cutter Suction Dredger). Celles-ci sont équipées d'une tête de désagrégation tournante qui fragmente les sols durs. Les fragments sont ensuite aspirés au moyen de pompes de dragage et refoulés sur une zone de dépôt ou déposés sur des barges spéciales. **La drague DRAGON est de ce type ;**
- Les dragues à pelle mécanique ou dragues à pelle rétrocaveuse (BD ou BDH pour Backhoe Dredger). Il s'agit d'un ponton équipé d'une grue mécanique ou hydraulique. Le positionnement du ponton est assuré par 3 pieux. Les sédiments sont excavés par la grue, un deuxième navire peut être présent pour faire office notamment de remorqueur ;
- Les dragues à pelle preneuse et dragues à godet (GD pour Grab Dredger). Le principe de fonctionnement est le même que la drague à pelle mais l'outil utilisé pour creuser peut être un godet simple, un tapis ou excavateur à godets sur chenilles ou une chaîne à godets.



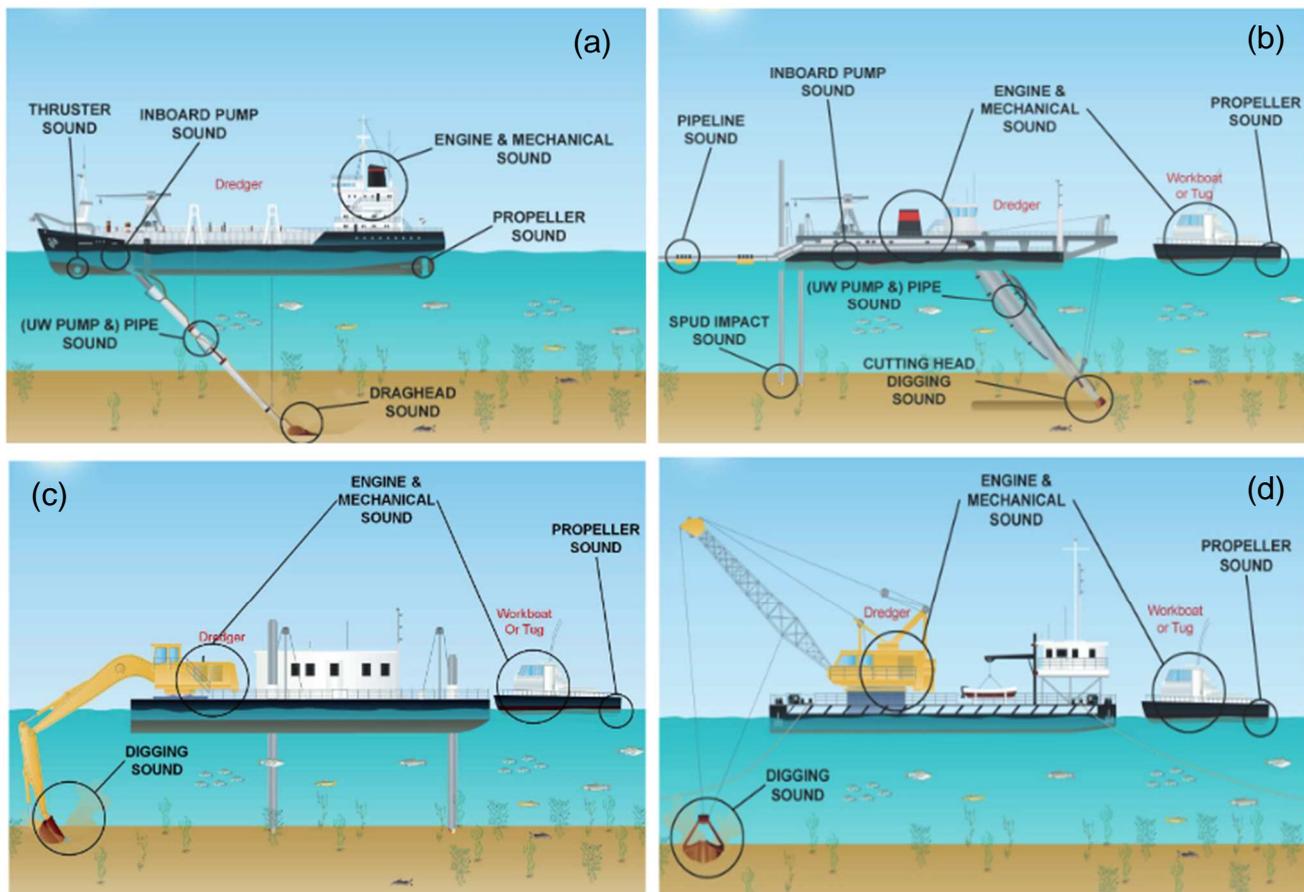


Figure A14. Fonctionnement des principaux types de dragues : drague aspiratrice autoportée (a), drague suceuse à désagrégateur (b), drague à pelle mécanique (c) et drague à godet (d) et mise en évidence des principales sources de bruit. (McQueen *et al.*, 2019).

En phase d'extraction des granulats marins par une drague de type TSHD, une élince trainante aspire un mélange de sédiments et d'eau de mer. En fonction de la densité de ce mélange, un système d'envoi d'eau sous pression peut être actionné. De ce fait en phase d'extraction de granulats marins, 2 catégories de sources de bruit liées à cette opération sont identifiées :

- Les sources sonores liées au fonctionnement du navire. Ces sources sont directement liées à l'appareil propulsif : moteur(s) de propulsion, système de réduction, ligne(s) d'arbre et hélice(s). Les auxiliaires secondaires, groupes alternateurs qui fonctionnent indépendamment des opérations d'extraction des granulats sont dans cette catégorie acoustique ;
- Les sources sonores liées aux opérations d'extraction des granulats : ensemble élince trainante et auxiliaires associés (moteur(s), pompe(s) hydrauliques, pompes jets). Les phénomènes acoustiques associés sont liés aux fonctionnements mécaniques (pompes d'aspiration) et aux interactions (chocs) élince/substrat.

En ce qui concerne les dragues de type CSD comme le DRAGON, le sédiment est collecté par une tête desagrégatrice qui associe la fragmentation du substrat avec le pompage des sédiments. Le système de pompage des sédiments conduit à travers une canalisation de refoulement le mélange eau de mer et sédiments vers la zone de réensablement. La canalisation peut faire plusieurs centaines de mètres. Le positionnement de la drague en opération est assuré par deux pieux. Le déplacement de la drague s'effectue ainsi par « papillonnage ». Un remorqueur, le SIBA II, est présent en soutien pour les opérations de déplacement, mouillage des ancres en fin d'opération et pour le transport du personnel.

Le GEODE (Groupe d'Etudes et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement) a publié en 2018 un rapport d'étude relatif aux bonnes pratiques environnementales, en particulier face aux enjeux liés au bruit généré par les opérations d'extractions de granulats (GEODE, 2018). Ce rapport mentionne l'étude de Robinson *et al.* (2011) qui ont réalisé des mesures de bruit large bande pour 6 dragues aspiratrices. Les niveaux maximums observés sont de l'ordre de 189,9 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m (sur une bande passante de 31,5 Hz à 40 kHz). La drague Côtes de Bretagne a quant à elle un niveau maximum de 172,4 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m sur la bande passante 50 Hz à 50 kHz, en phase de dragage. Ce niveau est donc inférieur à celui des dragues TSHD mentionnées dans l'étude.

Il est important de souligner que le niveau observé du Côtes de Bretagne est très proche de celui observé par NEREIS Environnement en 2019 (172,2 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m au maximum sur la bande 50 Hz à 100 kHz) sur un site d'extraction de granulats marins (différence de 0,2 dB sur la bande passante considérée).

L'analyse spectrale réalisée par Robinson *et al.* (2011) met par ailleurs en évidence une contribution acoustique des matériaux grossiers refoulés par la drague dans sa conduite de refoulement dans les bandes de tiers d'octave supérieures à 1 kHz. C'est ce qui est observé sur le spectre acoustique de la drague DRAGON. Le niveau maximum observé sur la drague DRAGON est de 154,9 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m sur la bande 50 Hz à 50 kHz (voir paragraphe 3.5.6).

La signature acoustique générée par les dragues en phase d'extraction est donc un bruit large bande (avec un maximum d'énergie observé entre 150 Hz et 900 Hz). La signature acoustique est omnidirectionnelle mais hétérogène spatialement.

Une analyse spectrale (De Jong *et al.*, 2010) portant sur la signature en bruit rayonné de 7 dragues TSHD durant les opérations d'extension du port de Rotterdam montre que la phase d'extraction des granulats marins engendre une signature acoustique très légèrement inférieure à celle observée lors des phases de transit.

Les configurations de transit léger et chargé sont très proches d'un point de vue acoustique. Ce constat se vérifie sur la drague Côtes de Bretagne avec des niveaux maximums de 181,4 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m pour le transit chargé et 175,8 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m pour le transit léger sur la bande 50 Hz à 50 kHz. Ces niveaux légèrement supérieurs à ceux observés pour le dragage s'expliquent notamment par le fait que

ces deux situations sont transitoires dans l'exploitation de la drague sur le banc de Bernet. Ainsi la drague se repositionne soit pour le dragage ou pour le réensablement. De ce fait les manœuvres et les changements de cap et de vitesse sollicitent l'appareil de propulsion, dont l'hélice qui cavite.

En phase d'extraction, la nature des sédiments extraits, entre du sable fin et du sable grossier, ne pourrait avoir qu'une très faible incidence sur la signature acoustique, en particulier sur la contribution de l'élinde trainante (variation estimée à moins de 3 dB au maximum sur la signature spectrale). En dehors des auxiliaires en fonctionnement associés à l'élinde trainante lors de l'extraction, le bruit généré par l'élinde est directement lié au contact avec des ensembles durs, de types roche, sur le fond.

Une comparaison de la signature spectrale de différentes dragues TSHD en opération de dragage avec la signature spectrale maximale des deux dragues Côtes de Bretagne et DRAGON est proposée sur la figure A15. Les signatures spectrales de ces deux dragues présentent des niveaux maximums inférieurs à ceux des navires étudiés dans la littérature. Les niveaux sont inférieurs en particulier de par les dimensions des dragues Côtes de Bretagne et Dragon inférieures aux autres dragues comparées (25 mètres pour la Dragon, 75 mètres pour le Côtes de Bretagne, 107 mètres pour la CSD Aquarius, 86,5 mètres pour la TSHD Beaver Mackenzie, 99,9 mètres pour la City of Westminster et 152,9 mètres pour la Gerardus Mercator).

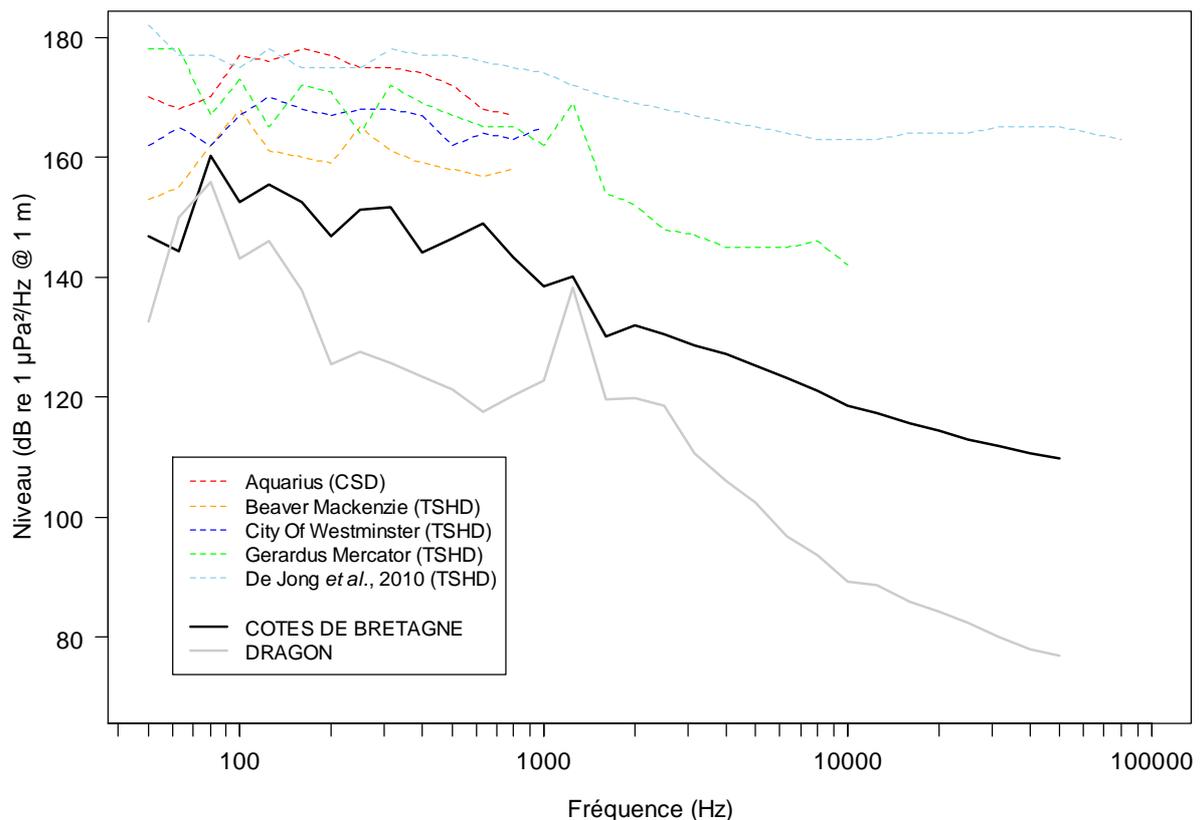


Figure A15. Comparaison des spectres acoustiques de dragues TSHD et CSD en opération d'extraction avec les deux dragues opérant sur le bassin d'Arcachon (d'après De Jong *et al.*, 2010 et Robinson *et al.*, 2011).

### 3.5.8. Comparaison des signatures acoustiques des dragues avec celles des autres navires observés lors des mesures acoustiques

Une comparaison des signatures acoustiques des deux dragues DRAGON et Côtes de Bretagne avec celles des navires observés lors des mesures est proposée dans ce paragraphe. Il s'agit de remettre dans le contexte acoustique de la zone d'étude, avec ses particularités, la contribution des deux dragues. La figure A16 présente une DSP des différents navires observés sur la zone d'étude : des barges ostréicoles qui transitent à différentes vitesses, des navires de plaisance dont des vedettes et un jetski et un navire de pêche.

Les gabarits observés sont cohérents avec ceux issus de la littérature. Compte tenu de ses dimensions et de ses spécificités techniques, le Côtes de Bretagne est le navire dont le niveau de bruit @1 m est le plus important (les spectres des deux dragues sont des spectres acoustiques de niveaux moyens). La drague DRAGON est proche des autres navires pour lesquels les niveaux maximums de bruit large bande @1 m sont :

- Pour le pêcheur à 10 nds de 161,5 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m ;
- Pour la barge ostréicole1 à 161,2 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m ;
- Pour la barge ostréicole2 à 159,1 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m ;
- Pour la barge ostréicole3 à 155 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m ;
- Pour le jetski à 15 nds de 153,6 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m ;
- Pour le bateau de pêche promenade à 15 nds de 152,6 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m.



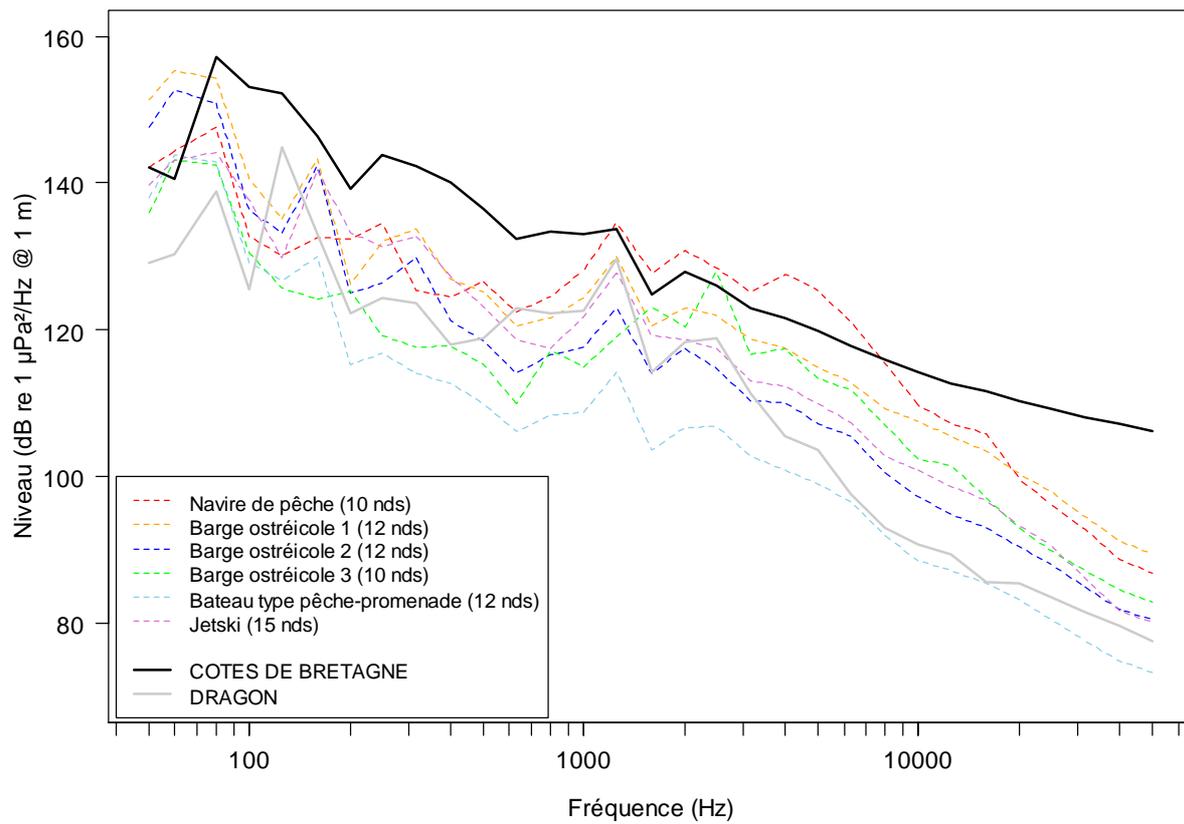


Figure A16. Densités spectrales de puissance associées aux navires observés sur la zone d'étude comparées aux dragues Côtes de Bretagne et DRAGON.

## 4. CONCLUSION

Les opérations de réensablement des plages de Pyla-sur-mer, supervisées par le Syndicat intercommunal du bassin d'Arcachon (SIBA), mettent en œuvre une drague aspiratrice en marche, le Côtes de Bretagne. Celle-ci est chargée de collecter le sable par dragage sur la face orientale du banc de Bernet pour le projeter par réensablement, ou rainbowing, sur les plages. C'est dans ce contexte que des mesures acoustiques ont été réalisées entre le 5 et le 24 février 2020 afin :

- D'établir la contribution acoustique de la drague Côtes de Bretagne au bruit ambiant sous-marin ;
- De mettre en évidence la signature acoustique de la drague en fonction de ses configurations de fonctionnement (dragage transit chargé, réensablement ou rainbowing, et transit léger) ;
- D'établir une comparaison acoustique entre le Côtes de Bretagne et la drague DRAGON.

### *Evolution du bruit ambiant sur le banc de Bernet*

Le niveau de bruit ambiant a été évalué sur la zone de travail de la drague Côtes de Bretagne. 5 points de mesure « référence » ont ainsi été monitorés avec et sans la présence de la drague. Les résultats montrent que les paramètres géo-acoustiques (dont la bathymétrie et ses variations) influent sur la propagation des ondes sonores et donc l'ambiance sonore mesurée. Lors des phases de réensablement, la drague est moins impactante sur le niveau de bruit ambiant que lors des phases de dragage ou de transit dans des zones ayant une bathymétrie plus importante. Par ailleurs le paysage sonore est fortement soumis à la densité du trafic des navires qui transitent à proximité du banc de Bernet. Ainsi le niveau de bruit mesuré aux points « référence » est cohérent avec ceux déjà observés à proximité des zones portuaires notamment.

### *Contribution acoustique des opérations de dragage*

Deux dragues opèrent à proximité du banc de Bernet : la drague TSHD Côtes de Bretagne et la drague CSD DRAGON. Un suivi spécifique des différentes situations d'exploitation a été effectué. Les enregistrements acoustiques, associés au suivi de la cinématique des navires ont permis, grâce à des traitements en analyse spectrale, d'établir les diagrammes de rayonnement acoustique de chaque navire. Cette analyse a mis en évidence des niveaux d'émission maximums estimés à 1 mètre (sur la bande passante 50 Hz à 50 kHz).



Les niveaux maximums sont observés pour la drague Côtes de Bretagne :

- En situation de dragage à 172,4 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 310 ;
- En situation de transit chargé à 181,4 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 150 ;
- En situation de réensablement à 178,6 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 110 ;
- En situation de transit lège à 175,8 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 150.

Les niveaux maximums sont observés pour la drague DRAGON :

- En situation de dragage à 154,9 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 160 ;
- En situation de rinçage à 160,3 dB re 1  $\mu$ Pa @1 m pour le gisement 310.

Ces niveaux d'émission sont cohérents avec ceux établis dans la littérature scientifique. Par ailleurs cette analyse a permis de mettre en évidence la directivité acoustique du bruit rayonné par ces navires en phase d'extraction.

Ces éléments d'analyse permettent de préparer, les phases de modélisation des empreintes sonores des dragues dans leur zone de travail et l'évaluation de l'effet sonore de ces opérations sur la faune marine.



## PARTIE B : Modélisation de l’empreinte sonore sous-marine des opérations de réensablement des plages de Pyla-sur-mer



## 1. Rappel du contexte

Cette phase de modélisation de l’empreinte sonore de la drague Côtes de Bretagne, lors des travaux de réensablement (ou rainbowing) des plages de Pyla-sur-mer, fait suite à la phase d’acquisition de données acoustiques *in situ* effectuées par NEREIS Environnement en février 2020. En complément des mesures réalisées sur cette drague, des enregistrements sonores ont aussi été effectués sur une autre drague, le DRAGON, en opération au niveau du banc de la Vigne.

Pour rappel, la phase d’acquisition des données en février 2020 s’est déroulée en deux temps (figure B1) :

- Le 5 février 2020 avec la présence sur la zone d’étude de la drague Côtes de Bretagne en opération de réensablement sur les plages de Pyla-sur-mer ;
- Le 24 février 2020 sans la présence de la drague Côtes de Bretagne mais avec la présence de la drague DRAGON en opération au niveau du banc de la Vigne.

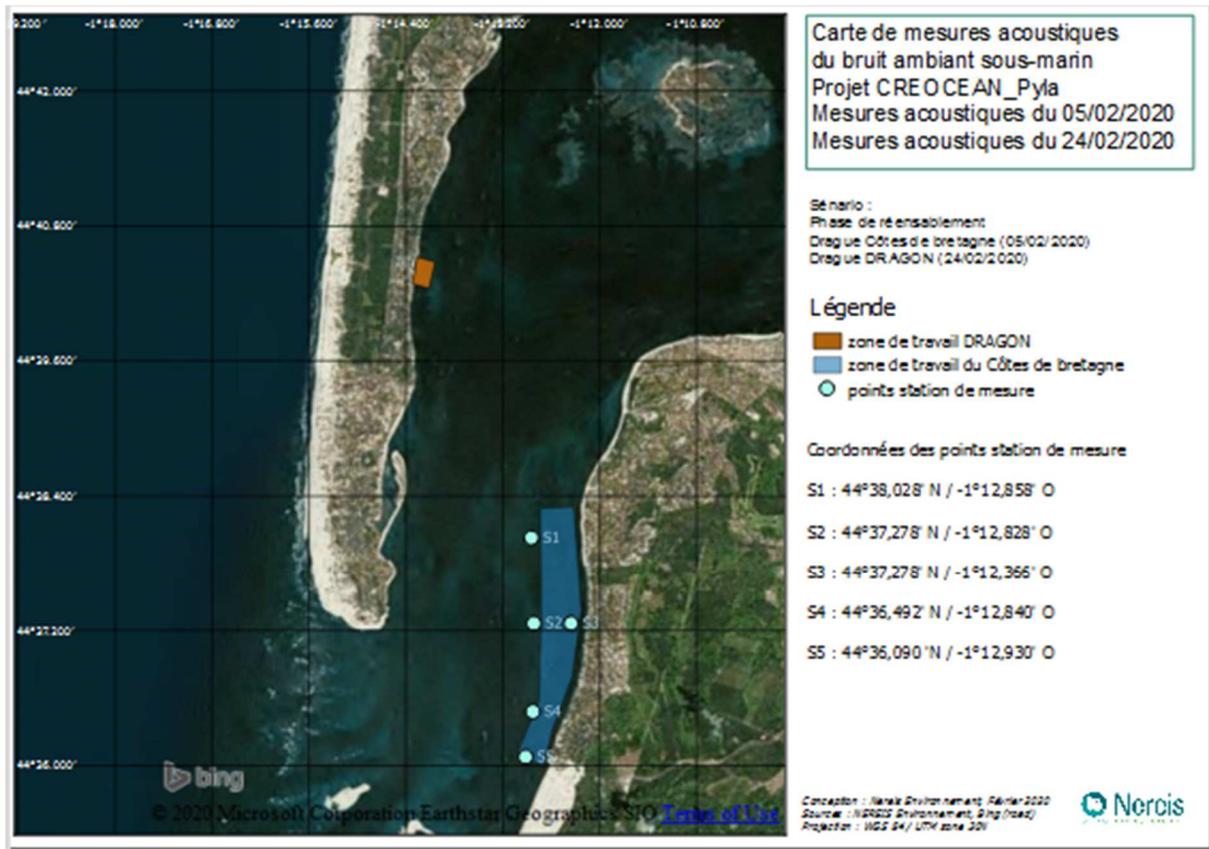


Figure B1. Localisation des points de mesures « référence » lors des phases d’acquisition de données *in situ* en février 2020.

Les objectifs de la modélisation en acoustique sous-marine, objet de cette étude, sont de :

- Présenter l’empreinte sonore sous-marine associée aux opérations de réensablement des plages de Pyla-sur-mer et de dragage au niveau du banc de la Vigne ;
- Etablir l’effet acoustique potentiel sur les espèces marines, en particulier les mammifères marins et les espèces halieutiques (céphalopodes et poissons).

Pour cette étude nous établirons l’effet acoustique potentiel sur une liste d’espèces marines proposée par le SIBA (Syndicat Intercommunal du Bassin d’Arcachon). Cette liste regroupe les espèces halieutiques présentes dans le bassin d’Arcachon ainsi que les mammifères marins observés du canyon de Cap Ferret au bassin d’Arachon.

Le risque d’impact ne sera donc pas établi. En effet ce risque d’impact acoustique s’évalue par le croisement entre la sensibilité d’une espèce considérée avec l’effet acoustique engendré par les travaux. Ici seul l’effet du bruit lié à l’activité des dragues a été évalué.

## 2. Méthodologie de l’étude

### 2.1. Logiciels de traitement des données et de modélisation acoustique

L’outil de traitement et d’analyse de données acoustiques SEAc (figure B2) a été utilisé dans le cadre de cette étude. Cet outil permet une analyse en 4 phases :

- L’acquisition des données acoustiques *in situ*. L’adéquation entre les performances de l’enregistreur et les traitements en analyse spectrale ont été optimisés ;
- Le traitement et l’analyse qui reposent sur des algorithmes de détection semi-automatique et traitements FFT ;
- La comparaison des données collectées et traitées avec une base de données de référence ;
- La modélisation en acoustique sous-marine qui permet de déterminer l’empreinte sonore associée à chaque opération à qualifier et d’évaluer l’effet acoustique potentiel sur les espèces marines ciblées.



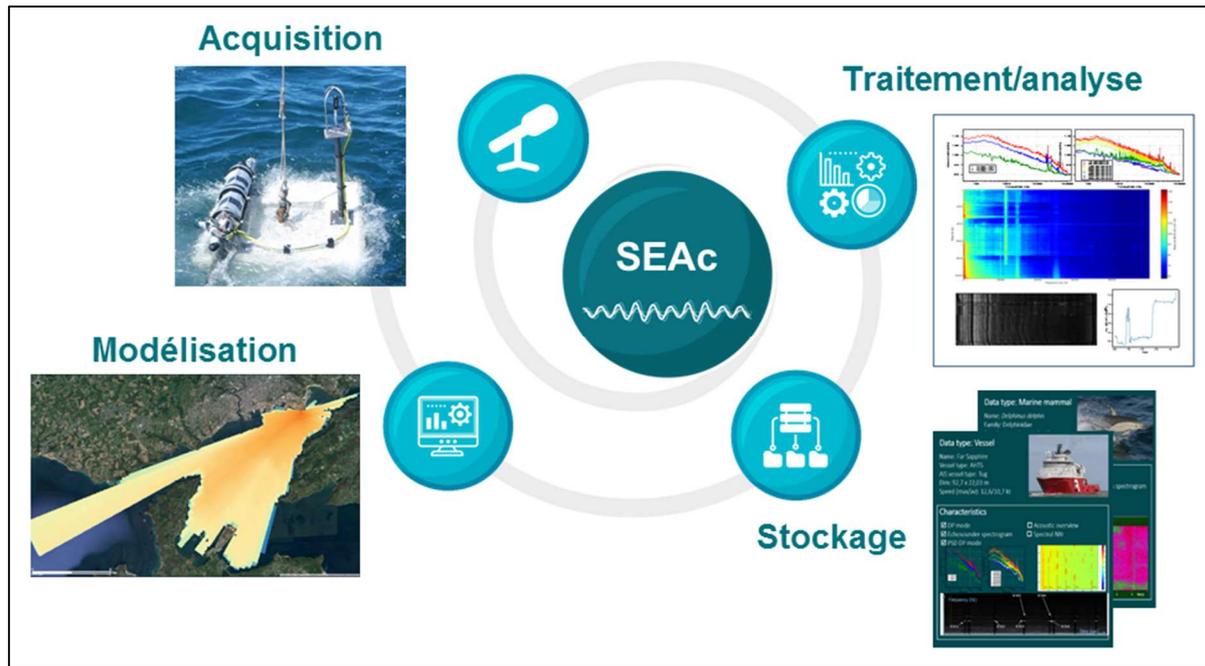


Figure B2. Outil de traitement SEAc développé par NEREIS Environnement.

Un logiciel de modélisation de la propagation des ondes sonores a été utilisé pour analyser et quantifier les impacts du bruit lié aux opérations de réensablement. Afin d'obtenir une représentation cohérente et adaptée à la zone d'étude, plusieurs paramètres d'entrée ont été intégrés au modèle, en complément des spectres acoustiques correspondant aux différentes dragues dans leur différentes phases. Ces paramètres sont :

- La bathymétrie de la zone d'étude ;
- La nature du fond et ses propriétés géo-acoustiques ;
- La bathycélérimétrie ;
- L'estimation des pertes acoustiques par propagation des ondes sonores dans le milieu marin.

La figure B3 présente le synoptique de la modélisation en acoustique sous-marine réalisé pour cette étude, ainsi que les données en entrée du modèle (inputs) et les résultats en sortie de modèle (outputs).

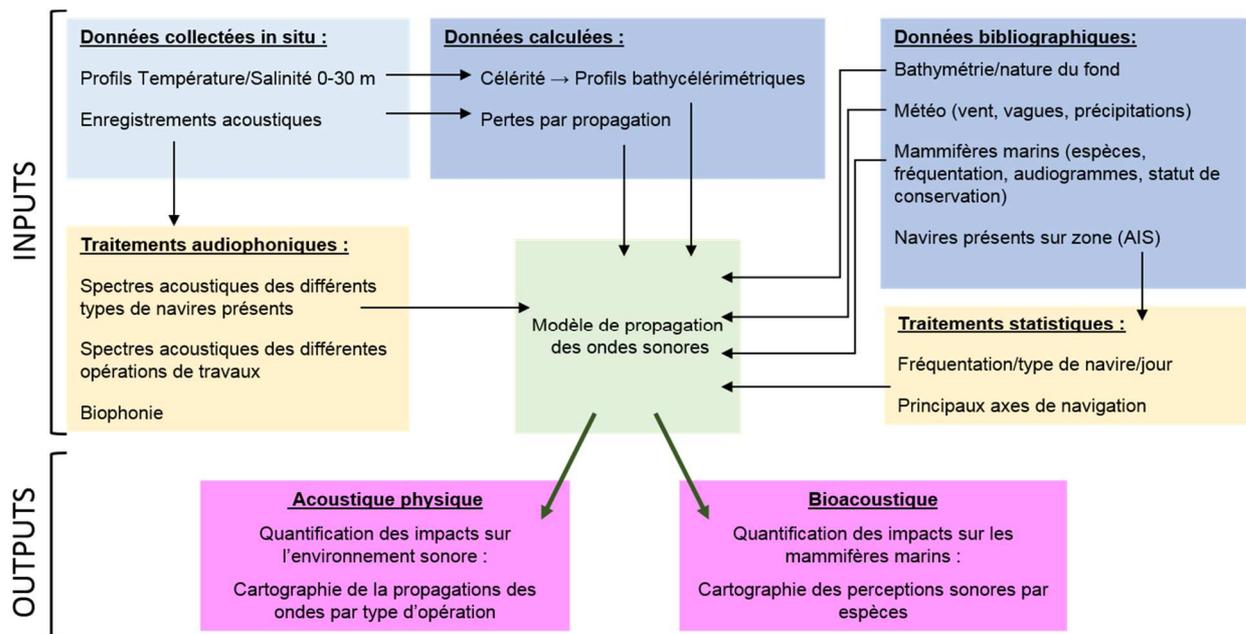


Figure B3. Synoptique de la modélisation en acoustique sous-marine appliquée pour cette étude.

## 2.2. Métadonnées environnementales collectées durant les campagnes de mesure acoustique

### 2.2.1. Bathymétrie

La bathymétrie utilisée dans notre modèle de prévision de l’empreinte sonore des activités de réensablement est issue :

- Des données CREOCEAN et du SHOM sur les zones du banc de Bernet et du banc d’Arguin (passes intérieures et extérieures). La résolution de la bathymétrie est de 100 mètres pour les passes intérieures et extérieures du bassin d’Arachon ;
- Des relevés bathymétriques réalisés pour le SIBA avec une précision de 10 mètres sur des transects espacés de 200 mètres au niveau du bassin d’Arachon sur la partie intérieure.

### 2.2.2. Bathycélérimétrie

Des points de sonde et des relevés bathycélérimétriques ont été réalisés durant les mesures *in situ* afin de remettre dans leur contexte géo-acoustique les niveaux de bruit mesurés. Ces données acquises ont permis d’augmenter la robustesse du modèle de propagation des ondes sonores. Des profils de température et salinité ont ainsi été réalisés sur le site lors des sorties du 5 et du 24 février 2020. Ces profils ont permis de calculer la célérité du son sur la colonne d’eau associée à la période de mesures.

Les profils bathythermiques réalisés montrent une colonne d'eau homogène avec une température de 12°C sur une quinzaine de mètres (profondeur maximale observée lors des points de sonde).

### 2.2.3. Influence de la fréquence de coupure sur la propagation des ondes sonores

Les canaux acoustiques de faible profondeur propagent mal les ondes sonores en basse fréquence. Le milieu marin fonctionne alors comme un filtre passe-haut, ce qui signifie que les fréquences inférieures à une fréquence appelée « fréquence de coupure » subissent des pertes très importantes. Cette fréquence de coupure ( $f_c$ ) est définie par la formule suivante (Jensen *et al.*, 2011) :

$$f_c \text{ (en Hz)} = c_w / (4h\sqrt{1-(c_w/c_b)^2})$$

Avec  $h$  : la hauteur d'eau en m ;

$c_w$  : célérité du son dans l'eau en  $m.s^{-1}$  ;

$c_b$  : célérité du son dans le substrat en  $m.s^{-1}$ .

**Sur la zone d'étude, cette fréquence de coupure est extrêmement variable, en particulier du fait des fortes variations bathymétriques (liées au relief et aux cycles de marées). De ce fait, la fréquence de coupure varie de 519 Hz au maximum (à l'étale de basse mer et à proximité des bancs de sable) à 79 Hz au minimum (durant l'étale de pleine mer et dans les chenaux usuels de navigation avec une dizaine de mètres de fond au minimum).**

**Cette spécificité engendre une grande variation du spectre acoustique enregistré lors des radiales de mesure. Une des premières conséquences probables est une atténuation du spectre acoustique en basse fréquence (inférieur à 519 Hz) des navires enregistrés. Cette atténuation a été compensée dans les traitements en analyse spectrale. Cependant cette évolution de la fréquence de coupure, liée aux variations bathymétriques, a des conséquences importantes sur la propagation des ondes sonores.**

## 2.3. Pertes par propagation

Les pertes par propagation qui caractérisent, d'un point de vue acoustique, la zone d'étude ont été estimées :

- Par comparaison de la signature acoustique du Côtes de Bretagne enregistrée par NEREIS Environnement lors de phases d'extraction de granulats en mer (plus de 13 heures de données compilées par NEREIS Environnement) avec les phases de dragage réalisées au niveau de Pyla-sur-mer ;



- Par comparaison de la signature acoustique du Côtes de Bretagne dans une même configuration, à différentes distances.

Cette approche a permis d'établir un premier modèle simplifié de pertes acoustiques, en l'absence de mesures calibrées. L'utilisation d'une source sonore calibrée n'a pas été retenue compte tenu des spécificités initiales exprimées lors de la demande de réalisation de l'étude.

Ce modèle a été renforcé par l'utilisation d'un logiciel de modélisation des pertes acoustiques. Le modèle renforcé utilisé répond aux critères définis par le Laboratoire CMTS (Centre for Marine Science and Technology) de l'Université de Curtin et décrit par Jensen *et al.* (2011). En effet, les algorithmes utilisés par NEREIS Environnement sont définis en fonction des caractéristiques géo-acoustiques du milieu océanique et des caractéristiques acoustiques des sources sonores :

- Théorie des rayons sonores classique basée sur les algorithmes du modèle de propagation KRAKEN, utilisés pour les environnements marins par petit fond et/ou pour les basses fréquences des spectres acoustiques à modéliser ;
- Méthode par approximation parabolique basée sur les algorithmes RAM/RAMS, utilisés dans le cadre d'un environnement marin à petit fond ;
- Méthode de tracé des rayons sonores basée sur les algorithmes BELLHOP, utilisés pour modéliser la propagation acoustique de sources sonores en milieu océanique par grand fond.

**Le modèle choisi dans notre étude donne la possibilité d'effectuer un mode combiné par approximation parabolique et tracé de rayons sonores en fonction de l'évolution de la bathymétrie et/ou des fréquences du spectre acoustique de la source émettrice.**

La figure B4 montre l'adéquation entre les modèles théoriques KRAKEN et RAM et les algorithmes utilisés pour cette étude (combinés basse fréquence et petit fond).



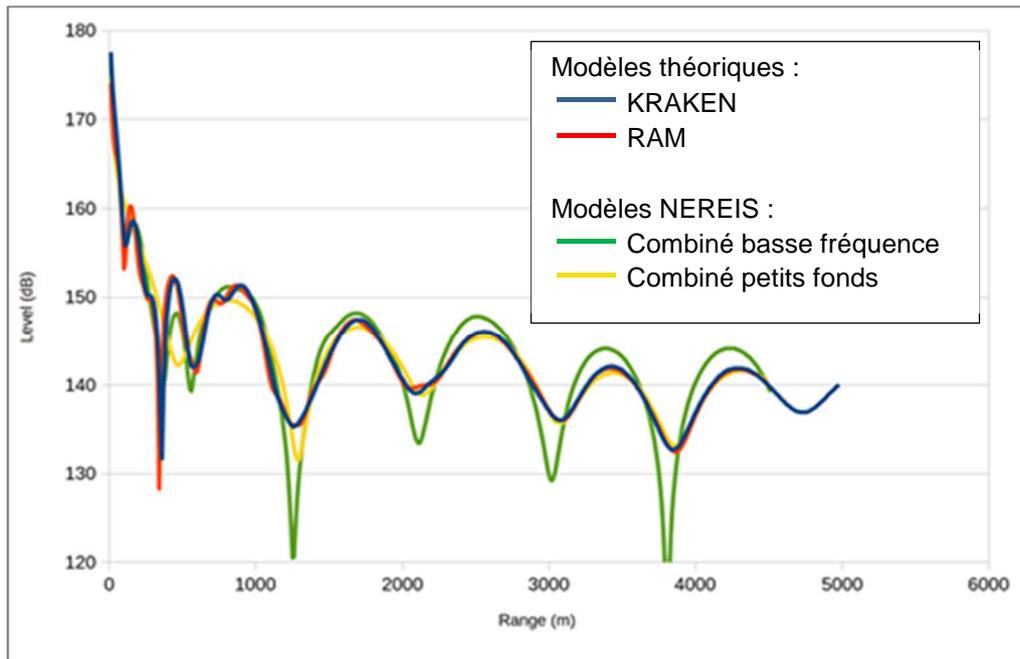


Figure B4. Comparaison des modèles de propagation des ondes sonores utilisés par NEREIS Environnement avec les algorithmes théoriques KRAKEN et RAM.

L'ajustement du modèle acoustique finalisé par rapport à la zone d'étude a été réalisé par comparaison des résultats de la modélisation avec les données acoustiques acquises *in situ*, en particulier sur les couples fréquence / niveau de bruit reçu en fonction de la distance entre les sources sonores et l'enregistreur.

### 2.3.1. Propriétés géo-acoustiques associées à la nature du fond

Les propriétés géo-acoustiques associées à la nature du fond sableux et retenues pour le modèle de propagation sont les suivantes (tableau B1) :

Tableau B1. Propriétés géo-acoustiques du substrat sur la zone d'étude.

Densité	Vitesse de compression	Atténuation de compression
1900 kg/m <sup>3</sup>	1650 m/s	0,8 dB/λ

## 2.4. Spectres acoustiques de la drague Côtes de Bretagne associés aux opérations de réensablement

Pour rappel, l'analyse spectrale de la drague Côtes de Bretagne a été réalisée sur la base des mesures acoustiques réalisées le 5 février 2020. Entre 8h36 et 17h43 (heure locale), la drague a réalisé 3 cycles complets. Un cycle correspond à 4 phases d'exploitation : dragage, transit chargé, réensablement et transit léger. Pour chacun de ces cycles, un spectre acoustique global puis ramené à 1 mètre (@1 m) a été calculé (Densité Spectrale de Puissance, ou DSP, qui présente le gabarit spectral de la drague à 1 mètre).

La figure B5 présente une synthèse des gabarits acoustiques associés à cette drague, en fonction des phases d'exploitation, retenus pour la modélisation acoustique.

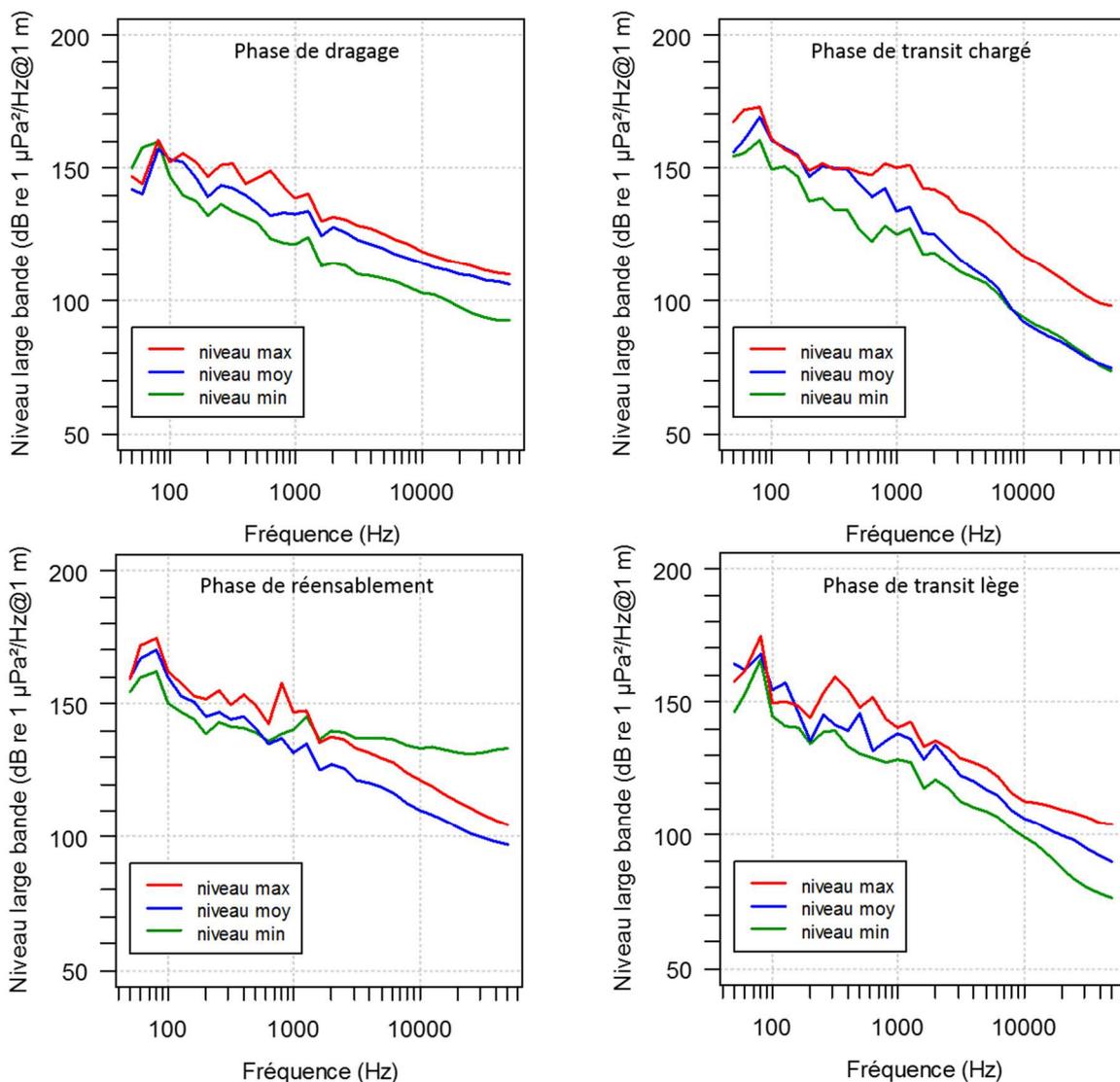


Figure B5. DSP associées aux différentes phases d'exploitation de la drague Côtes de Bretagne.

## 2.5. Spectres acoustiques de la drague DRAGON associés aux opérations de dragage

Pour rappel, l'analyse spectrale de la drague DRAGON a été réalisée sur la base des mesures acoustiques réalisées le 24 février 2020 au niveau du banc de la Vigne. Pour chacune des 2 phases d'exploitation (rinçage et dragage) un spectre acoustique global, puis ramené à 1 mètre a été calculé (densité spectrale de puissance, ou DSP, qui présente le gabarit spectral de la drague à 1 mètre).

La figure B6 présente une synthèse des gabarits acoustiques associés à cette drague, en fonction des phases d'exploitation, retenus pour la modélisation acoustique.

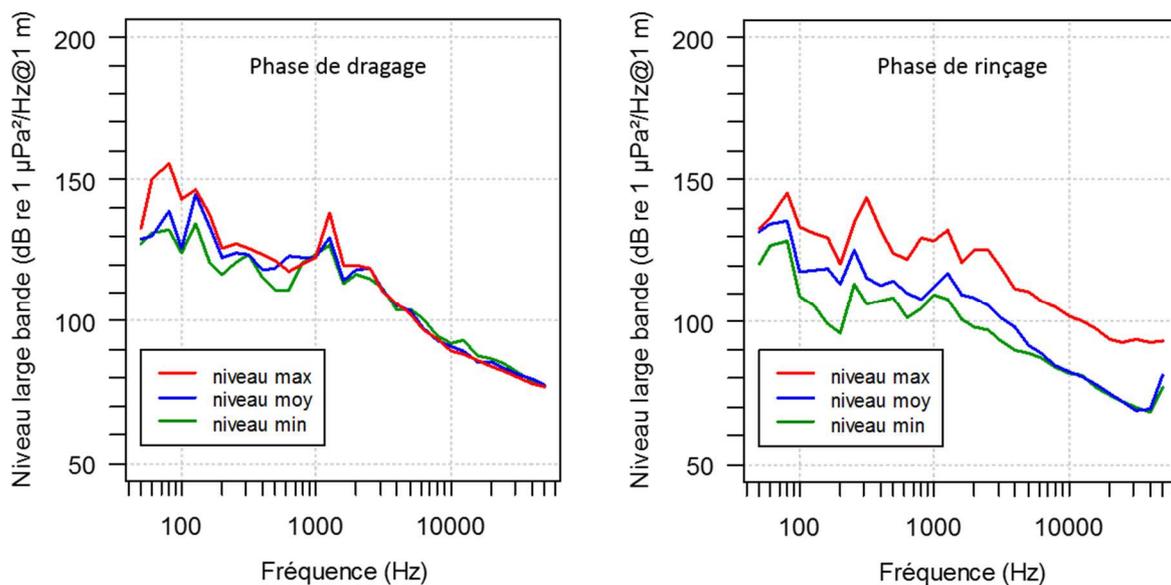


Figure B6. Densités spectrales de puissance associées aux deux phases d'exploitation de la drague DRAGON.

## 3. Effet du bruit des dragues sur les espèces marines

### 3.1. L'audition des espèces marines

En milieu marin, la lumière est peu présente alors que le son se propage quatre fois plus vite que dans l'air. Les espèces marines se sont donc adaptées à ce milieu où la visibilité est souvent limitée à quelques dizaines de mètres, notamment en développant leurs capacités auditives.

#### 3.1.1. L'audition chez les mammifères marins

Les mammifères marins utilisent le son pour chasser, s'alimenter, se reproduire, éviter les prédateurs, communiquer ou s'orienter. Chez certains mammifères marins, l'émission et la réception de signaux sonores permettent de caractériser l'environnement et de communiquer sur plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres (Tyack, 2008).

Le système auditif des mammifères marins est constitué d'une oreille moyenne, contenant le tympan et les osselets, qui dirige le son vers l'oreille interne, comprenant la cochlée et la membrane basilaire. A l'exception de certains pinnipèdes (otaries, lions de mer), les mammifères marins sont dépourvus d'oreille externe. Chez les Cétacés, les tissus graisseux, notamment ceux de la mâchoire inférieure, jouent un rôle dans l'audition en assurant la transmission des sons vers l'oreille moyenne (Mooney *et al.*, 2012).

Dans l'eau, les mammifères marins perçoivent les sons compris entre 10 Hz et 200 kHz, avec des seuils de sensibilité minimum avoisinant les 50 dB re 1  $\mu$ Pa pour les espèces les plus sensibles. En fonction de leurs capacités auditives, il est possible de distinguer plusieurs groupes (Southall *et al.*, 2019). Parmi les mammifères marins présents au large de Pyla-sur-mer, on distingue donc :

**Les Cétacés « basse fréquence » (LF) :** ce groupe inclut l'ensemble des mysticètes (baleines à fanons). Les connaissances concernant ce groupe sont sujettes à caution car les espèces de ce groupe n'ont jamais fait l'objet d'évaluation directe de leur capacité auditive. Cependant, l'étude de leurs vocalises, de leurs réactions comportementales aux stimuli sonores et de leurs appareils auditifs tendent à montrer que les Cétacés « basse fréquence » seraient capables de percevoir des sons de 10 Hz à 30 kHz, avec une sensibilité maximale entre 1 et 8 kHz. Dans cette plage de fréquence, leur seuil d'audition est estimé à environ 60 dB re 1  $\mu$ Pa ;

**Les Cétacés « haute fréquence » (HF) :** ce groupe contient la plupart des Delphinidés (dauphins, orques et globicéphales), les baleines à bec (Ziphiidés), le béluga et le narval (Monodontidés) et le cachalot. Des évaluations directes de la capacité auditive (mesures comportementales ou neurophysiologiques) ont été réalisées sur environ 1/3 des espèces de ce groupe. Celles-ci sont capables de



percevoir les sons entre 100 Hz et 180 kHz, avec une sensibilité maximale entre 10 et 100 kHz. Dans cette plage de fréquence leur seuil d'audition est inférieur à 60 dB re 1  $\mu$ Pa ;

**Les Cétacés « très haute fréquence » (VHF) :** ce groupe inclut les marsouins, quelques petits Delphinidés, la plupart des dauphins d'eau douce et les cachalots nain et pygmée (Kogiidés). Chez les espèces de ce groupe, la gamme de fréquences audibles est équivalente à celle des cétacés haute fréquence, mais la sensibilité maximale se situe autour de 100 kHz, avec des seuils d'audition inférieurs à 50 dB re 1  $\mu$ Pa. Chez ces espèces, les signaux émis (et notamment les clics d'écholocation) sont également plus hauts en fréquence que chez les autres cétacés ;

**Les Phocidés (PCW) :** ce groupe comprend les phoques et les éléphants de mer. Leur appareil auditif est amphibie, puisqu'ils peuvent entendre dans l'air comme dans l'eau. Dans l'eau, les Phocidés sont capable de percevoir les sons entre 100 Hz et 100 kHz, avec une sensibilité maximale entre 2 et 30 kHz. A ces fréquences le seuil d'audition est inférieur à 60 dB re 1  $\mu$ Pa.

### 3.1.2. L'audition chez les poissons

Tous les poissons sont *a priori* capables de percevoir les sons. Cependant, la détection des ondes sonores chez les poissons diffère fortement d'une espèce à l'autre. La détection se fait *via* différents « récepteurs » (Hawkins & Popper, 2018 ; Popper *et al.*, 2014) :

- **Les organes otolithiques :** au niveau de l'oreille interne, les poissons osseux (par opposition aux poissons cartilagineux comme les raies et les requins) possèdent des cavités tapissées de cellules sensorielles, remplies d'un fluide et dans lesquelles se trouve une petite pièce calcaire appelée otolithe. Une onde sonore va générer un mouvement des particules du milieu. Lorsque ce mouvement arrive au niveau du poisson, l'inertie de l'otolithe, très dense par rapport au fluide qui l'entoure, est perçue par les cellules sensorielles qui transmettent l'information au cerveau sous la forme d'impulsions électriques, via les nerfs. Les organes otolithiques détectent donc les mouvements de particules induits par une onde sonore, à la manière d'un accéléromètre. Chez les poissons cartilagineux et les lamproies, les otolithes sont remplacés par des cristaux calcaires, appelés otoconies. Les poissons cartilagineux possèdent également un quatrième récepteur au niveau de l'oreille interne, la *macula neglecta*, qui ne contient pas de pièces calcaires mais seulement des cellules sensorielles. Ce récepteur jouerait également un rôle dans la perception du son.
- **La ligne latérale :** chez les poissons osseux et cartilagineux, la ligne latérale est composée de centaines de cellules sensorielles (neuromastes) réparties sur toute la longueur du corps. Ces cellules sont sensibles aux mouvements de particules et vont donc pouvoir percevoir les ondes sonores. Cependant, les



récepteurs sensoriels de la ligne latérale ne détectent que les mouvements en champ proche et ne fonctionnent qu'à proximité de la source sonore.

- **La vessie natatoire et les autres cavités gazeuses :** certains poissons osseux possèdent un organe rempli de gaz appelé vessie natatoire. Cet organe joue un rôle dans le contrôle de la flottabilité des poissons. Il est de fait sensible aux variations de pression. Au contact d'une onde sonore, le volume du gaz contenu dans la vessie natatoire va varier, entraînant un mouvement de particules qui pourra être transmis aux organes otolithiques. La proximité entre la vessie natatoire, lorsqu'elle est présente, et l'oreille interne a donc une forte influence sur la capacité à percevoir les sons. Chez certaines espèces la vessie natatoire est reliée à l'oreille interne via des connexions osseuses ou via d'autres cavités gazeuses (bulles d'air situées derrière l'oreille interne). Pour l'ensemble de ces espèces, les capacités auditives sont d'autant plus importantes : la plage de fréquences audibles est plus étendue et/ou le seuil de perception est plus bas.

Ainsi, si tous les poissons ont la capacité de percevoir les sons, les capacités auditives varient grandement d'une espèce à l'autre, en fonction des particularités physiologiques de chaque espèce (sensibilité de la ligne latérale, présence ou non d'une vessie natatoire, proximité de celle-ci et connexion avec l'oreille interne, etc.) D'une façon générale, on considère trois catégories de poissons :

- **Les poissons dépourvus de cavité gazeuse.** Ces poissons détectent uniquement la composante « mouvement de particules » de l'onde sonore, et pas la composante « variation de pression ». Il s'agit par exemple des poissons cartilagineux et des poissons plats ;
- **Les poissons possédant une vessie natatoire non connectée à l'oreille interne.** Ces poissons sont capables de percevoir les variations de pression mais leur perception du son repose uniquement sur la détection des mouvements de particules. Ces poissons sont susceptibles de subir néanmoins des barotraumatismes s'ils sont exposés à des sons de forte intensité ;
- **Les poissons possédant une vessie natatoire connectée, via des connexions osseuses ou des cavités gazeuses, à l'oreille interne.** Chez ces poissons les capacités auditives sont davantage liées à la perception des variations de pression, même s'ils sont également capables de détecter les mouvements de particules. Ils risquent également des barotraumatismes en cas d'exposition à des sons de forte intensité. Cette catégorie comprend par exemple la morue de l'Atlantique (*Gadus morhua*), certains Clupéidés (hareng, sprat, aloses, etc.) ou les carpes.

D'une manière générale, il est admis que la grande majorité des poissons perçoit les sons entre 50 et 300 Hz à des niveaux inférieurs à 100 dB re 1  $\mu$ Pa. Chez les poissons possédant une vessie natatoire connectée à l'oreille interne la perception des sons



s'étend jusqu'à plusieurs milliers de Hz (Hawking & Popper, 2018 ; Popper *et al.*, 2014).

### 3.1.3. L'audition chez les mollusques céphalopodes

Comme les poissons cartilagineux, les mollusques céphalopodes sont dépourvus de cavités gazeuses et sont donc incapables de détecter les variations de pression induites par les ondes sonores. Toutefois, certains d'entre eux sont pourvus, comme les poissons, d'organes et cellules sensorielles qui leur permettent de détecter les mouvements des particules. Ils possèdent en effet des statocystes, un ensemble de cellules ciliées sur lesquelles reposent une ou plusieurs pièces minérales (statolithes) agissant, à l'instar de l'otolithe chez les poissons osseux, comme un accéléromètre. Les statocystes chez les mollusques céphalopodes (seiches, calmars et poulpes) sont d'ailleurs très semblables aux organes otolithiques des poissons osseux.

Chez les céphalopodes, des études ont démontré la capacité à détecter les émissions sonores basse fréquence (50 Hz à 1500 Hz) grâce à leurs statocystes (Hu *et al.*, 2009 ; Kaifu *et al.*, 2008 ; Mooney *et al.*, 2012). Ces mollusques sont également capables de ressentir les mouvements de particules en champ proche à l'aide de récepteurs sensoriels épidermiques, comparables aux lignes latérales chez les poissons. La sensibilité acoustique des céphalopodes serait liée principalement aux interactions proies-prédateurs (mécanisme de défense), mais pourrait également avoir un lien avec les mouvements migratoires. A l'instar de certains poissons, les céphalopodes pourraient en effet utiliser les infrasons pour se repérer dans l'espace (Kaifu *et al.*, 2008).

## 3.2. L'audition des espèces présentes sur la zone d'étude

### 3.2.1. Les mammifères marins

Parmi les espèces de mammifères marins présents sur la zone d'étude, il est possible de distinguer plusieurs groupes d'audition : les Cétacés « basse fréquence », les Cétacés « haute fréquence », les Cétacés « très haute fréquence » et les Phocidés.

#### 3.2.1.1. Cétacés « basse fréquence »

Sur la zone d'étude le groupe des Cétacés « basse fréquence » est représenté par les rorquals, dont le petit rorqual *Balaenoptera acutorostrata*, ou baleine de Minke, et le rorqual commun *Balaenoptera physalus*.

Il existe très peu d'informations concernant les mécanismes d'audition chez ces mammifères. Il est en effet difficile de réaliser des tests en bassin sur des individus atteignant 30 m de long. Une étude a cependant démontré que les sons se

propageaient dans le crâne du rorqual commun sous forme de vibrations via les os et par variation de pression dans les tissus mous (Cranford & Krysl, 2015). L'étude des vocalises et du squelette des rorquals tendent à montrer que les fréquences de meilleure audition du petit rorqual et du rorqual commun se situent autour de 1 kHz (Tubelli *et al.*, 2012 ; Cranford & Krysl, 2015). Ces espèces sont donc particulièrement sensibles au bruit d'origine anthropique.

Aucune étude n'a pu, à ce jour, observer directement une perte d'audition liée à une exposition au bruit chez les Cétacés « basse fréquence ». Des seuils pondérés de perte d'audition temporaire (TTS) et permanente ont donc été définis par extrapolation sur la base des observations réalisées sur les autres groupes de Cétacés (Southall *et al.*, 2019). Ces seuils sont respectivement de 179 dB SEL re 1  $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$  et de 199 dB SEL re 1  $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$  dans le cas d'une exposition à un bruit continu.

### 3.2.1.2. Cétacés « haute fréquence »

Le groupe des Cétacés « haute fréquence » est de loin celui qui contient le plus d'espèces présentes sur la zone d'étude. On y retrouve le globicéphale noir *Globicephala melas*, le dauphin de Risso *Grampus griseus*, le dauphin bleu et blanc *Stenella coeruleoalba*, le grand dauphin *Tursiops truncatus*, le dauphin commun *Delphinus delphis*, le cachalot *Physeter macrocephalus*, ainsi que les baleines à bec (famille des Ziphiidés) dont la baleine à bec de Cuvier *Ziphius cavirostris* et les espèces du genre *Mesoplodon*.

Les connaissances concernant l'audition des espèces de ce groupe sont plus étoffées, bien que limitées aux espèces les plus abondantes. Chez ces Cétacés, la sensibilité auditive maximale se situe entre 10 et 100 kHz. Cependant, certains Cétacés « haute fréquence » sont relativement plus sensibles aux fréquences plus basses. C'est le cas notamment du cachalot et des baleines à bec dont la plage de meilleure audition s'étend jusqu'à 5 kHz (Southall *et al.*, 2019). Chez les autres espèces présentes sur la zone d'étude, la sensibilité maximale est observée autour de 50-60 kHz pour les Delphininés (dauphin commun, dauphin bleu et blanc et grand dauphin) et autour de 30-40 kHz pour les Globicéphalinés (glocicéphale noir et dauphin de Risso). Aux fréquences correspondant à leur sensibilité maximale, tous ces Cétacés sont capables de percevoir les sons de l'ordre de 50 dB (voire 40 dB pour le grand dauphin – Brill *et al.*, 2001).

Pour les Cétacés « haute fréquence » des pertes d'audition temporaires sont susceptibles d'être observées à partir du seuil pondéré de 178 dB SEL re 1  $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$  dans le cadre d'une exposition à du bruit continu, et à partir de 198 dB SEL re 1  $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$  des pertes d'audition permanentes sont possibles.

### 3.2.1.3. Cétacés « très haute fréquence »

Ce groupe est principalement représenté sur la zone d'étude par le marsouin commun *Phocoena phocoena* et, dans une moindre mesure, par le cachalot pygmée *Kogia breviceps*.

Si aucune information n'est disponible à ce jour concernant l'audition du cachalot pygmée, l'audition du marsouin commun, une des espèces de Cétacés les plus abondantes en Atlantique Nord, a été relativement bien étudiée ces dernières années. Cette espèce présente une sensibilité auditive maximale centrée autour de 100 kHz. A ces fréquences élevées, le marsouin serait capable de percevoir des sons de l'ordre de 30 dB. A 10 kHz son seuil d'audition se situerait autour de 60 dB (Kastelein *et al.*, 2002). Cette espèce est donc particulièrement sensible aux émissions sonores.

Les Cétacés « très haute fréquence » semblent donc être capables de percevoir des sons à un niveau relativement faible. Leurs seuils pondérés TTS et PTS sont donc plus bas que pour les autres Cétacés, respectivement à 153 et 173 dB SEL re 1  $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ .

### 3.2.1.4. Phocidés dans l'eau

Ce groupe est représenté sur la zone d'étude par le phoque gris *Halichoerus grypus* et par le phoque veau marin *Phoca vitulina*.

Les Phocidés, comme les autres pinnipèdes (otaries, lions de mer et morse), ont la capacité de bien percevoir les sons sous l'eau comme dans l'air. Dans cette étude, seules les capacités auditives des Phocidés dans l'eau seront abordées.

Dans l'eau, le phoque veau marin présente une sensibilité auditive maximale sur une très large bande de fréquences. Cette espèce serait en effet capable de percevoir des sons de l'ordre de 50 à 60 dB entre 200 Hz et 40 kHz (Kastelein *et al.*, 2009). L'audition du phoque gris est moins documentée. Il semble toutefois que cette espèce présente une plage de meilleure audition plus restreinte. Sa sensibilité auditive maximum se situe autour de 30 kHz. A cette fréquence il serait capable de percevoir des sons de l'ordre de 50 dB (Marmo *et al.*, 2013).

Considérant ces capacités auditives, les seuils pondérés de pertes d'audition temporaires et permanentes pour les Phocidés dans l'eau sont respectivement de 181 et 201 dB SEL re 1  $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ .

La figure B7 présente, pour chacun des groupes de mammifères marins présents sur la zone d'étude, un audiogramme médian (représentation du niveau de bruit perceptible en fonction de la fréquence).

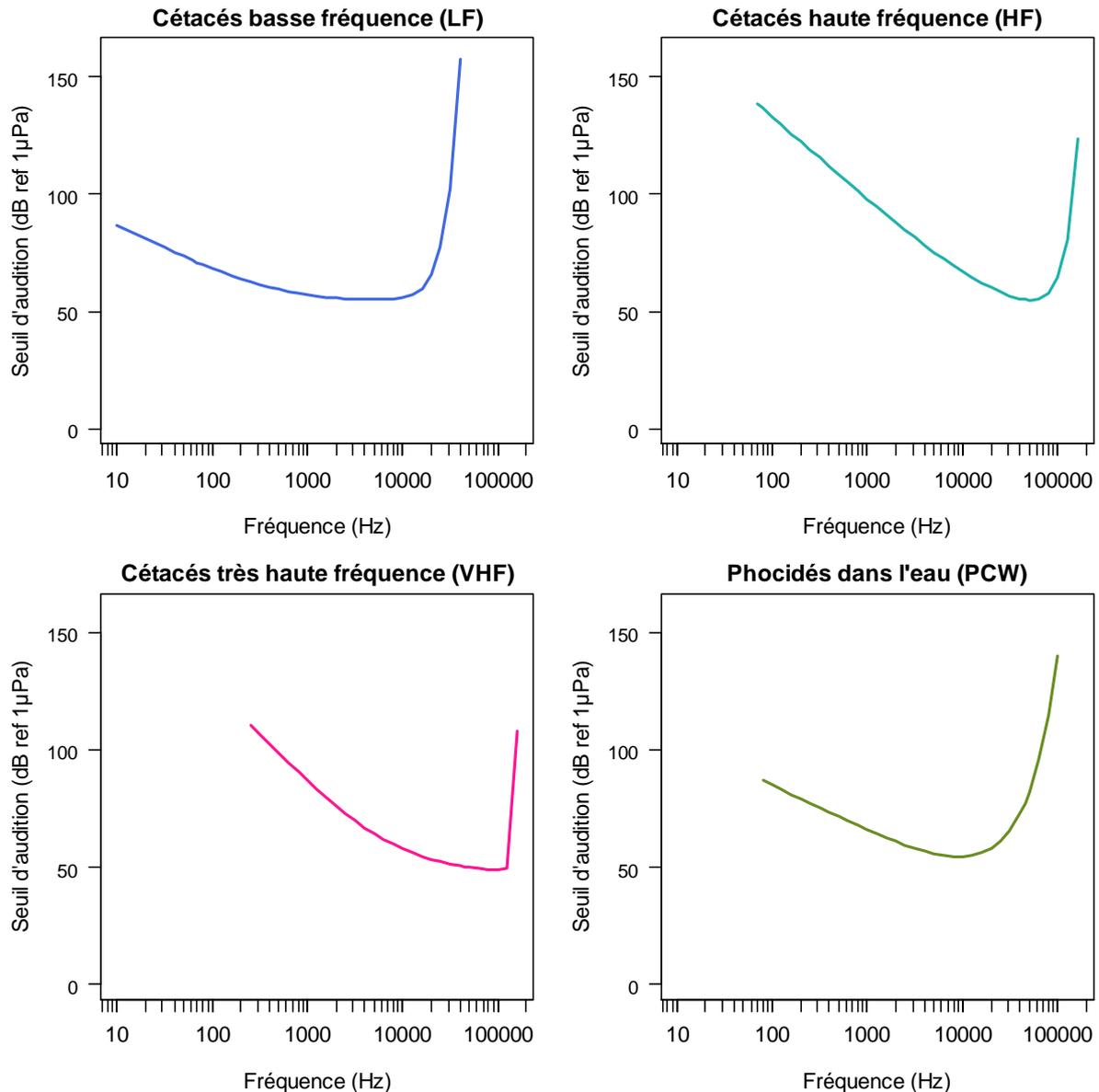


Figure B7. Audiogrammes médians définis pour les Cétacés basse fréquence, les Cétacés haute fréquence, les Cétacés très haute fréquence et les Phocidés dans l'eau (d'après NMFS, 2018 et Southall *et al.*, 2019).

Le tableau B2 page suivante classe les espèces de mammifères marins présentes sur la zone d'étude par groupe d'audition et synthétise les seuils à partir desquels ces espèces sont susceptibles de subir une perte d'audition temporaire ou permanente.

Tableau B2. Synthèse des éléments concernant la capacité auditive des mammifères marins présents sur la zone d'étude : plage d'audition et seuils de perte d'audition temporaire ou permanente en cas d'exposition à un bruit continu (d'après Southall *et al.*, 2019).

Groupe d'audition	Espèces présentes sur la zone d'étude	Plage d'audition	Seuil TTS pondéré* (en dB SEL re 1 µPa²s)	Seuil PTS pondéré* (en dB SEL re 1 µPa²s)
Cétacés « basse fréquence » (LF)	Petit rorqual <i>Balaenoptera acutorostrata</i> (baleine de Minke) Rorqual commun <i>Balaenoptera physalus</i>	10 Hz – 30 kHz	179	199
Cétacés « haute fréquence » (HF)	Globicéphale noir <i>Globicephala melas</i> Dauphin de Risso <i>Grampus griseus</i> Dauphin bleu et blanc <i>Stenella coeruleoalba</i> Grand dauphin <i>Tursiops truncatus</i> Dauphin commun <i>Delphinus delphis</i> Cachalot <i>Physeter macrocephalus</i> Ziphiidés (baleines à bec) dont baleine à bec de Cuvier <i>Ziphius cavirostris</i> et <i>Mesoplodon</i> spp	100 Hz – 180 kHz	178	198
Cétacés « très haute fréquence » (VHF)	Marsouin commun <i>Phocoena phocoena</i> Cachalot pygmée <i>Kogia breviceps</i>	100 Hz – 180 kHz	153	173
Phocidés dans l'eau (PCW)	Phoque gris <i>Halichoerus grypus</i> Phoque veau marin <i>Phoca vitulina</i>	100 Hz – 100 kHz	181	201

Les seuils TTS et PTS cités ci-dessus sont pondérés par la capacité auditive de l'animal. Il s'agit donc du niveau de bruit effectivement perçu par l'animal, et non du niveau mesuré dans le milieu marin par un enregistreur.

A l'heure actuelle, il n'existe pas de seuils permettant d'anticiper une réaction d'évitement ou un dérangement chez les différents groupes de mammifères marins. Quelques valeurs issues d'expériences en bassin ou découlant d'extrapolation existent et sont parfois utilisées. Mais seules les valeurs de TTS et PTS font l'objet d'un relatif consensus au sein de la communauté scientifique.

### 3.2.2. Les poissons

De nombreuses espèces de poissons sont présentes sur la zone d'étude. Parmi ces espèces, certaines présentent un intérêt économique et écologique majeur. Nous nous sommes focalisés sur les espèces listées par le SIBA, à savoir :

#### 3.2.2.1. La raie bouclée *Raja clavata*

La raie bouclée est un poisson cartilagineux de la famille des Rajidés. Comme tous les poissons cartilagineux, elle ne possède pas d'otolithe ni de vessie natatoire.

A ce jour, aucun audiogramme n'a été réalisé sur la raie bouclée. Cependant, une étude réalisée sur une autre espèce de la famille des Rajidés, la raie hérisson *Leucoraja erinacea*, montre que pour cette espèce la sensibilité auditive maximale se situe autour de 200 Hz et qu'à cette fréquence le niveau perçu est d'environ 125 dB re 1  $\mu$ Pa (figure B8).

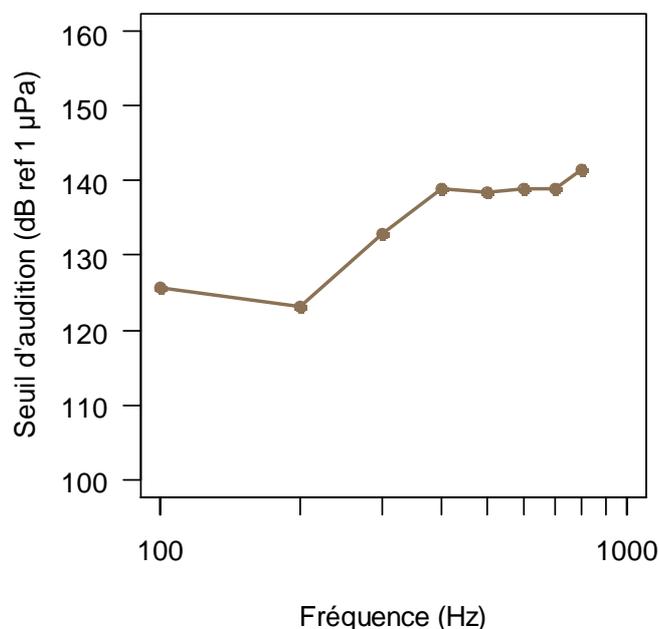


Figure B8. Audiogramme composite de la raie hérisson *Leucoraja erinacea* (d'après Casper *et al.*, 2003).

### 3.2.2.2. Le bar commun *Dicentrarchus labrax*

Le bar est un poisson de la famille des Moronidés. Les espèces de cette famille sont pourvues d'une vessie natatoire. Le bar est donc capable de percevoir les variations de pression liées aux ondes sonores. Chez les Moronidés, la vessie natatoire présente de plus une extension qui pourrait potentiellement avoir un effet sur la perception du son (Braun & Grande, 2008). Cependant, cette vessie natatoire ne semble pas directement connectée à l'oreille interne, ce qui fait que le bar ne fait pas partie des poissons les plus sensibles au bruit.

Un audiogramme a été établi pour le bar commun (figure B9). D'après cet audiogramme, le bar aurait une sensibilité au bruit maximal à 100 Hz (98 dB re 1  $\mu$ Pa) et serait capable de percevoir les sons de l'ordre de 100 dB re 1  $\mu$ Pa entre 100 et 400 Hz.

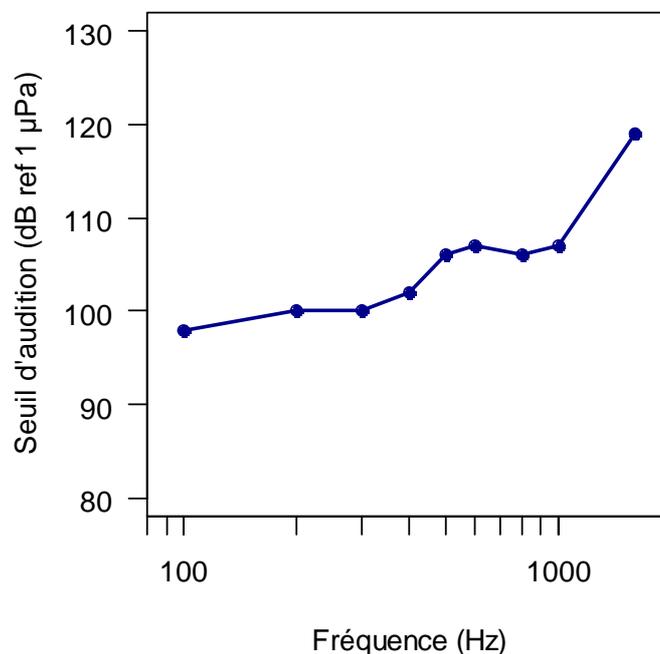


Figure B9. Audiogramme du bar commun *Dicentrarchus labrax* (d'après Lovell, 2003 cité par Nedwell *et al.*, 2004).

### 3.2.2.3. La daurade royale *Sparus aurata* et le sar commun *Diplodus sargus*

La daurade royale et le sar sont des poissons de la famille des Sparidés. Ces espèces sont dotées d'une vessie natatoire mais celle-ci n'est pas connectée à l'oreille interne. Aucun audiogramme n'a été réalisé sur ces espèces à ce jour. Une étude a cependant été réalisée sur une autre espèce de Sparidé, la dorade japonaise *Pagrus major* (Ishioka *et al.*, 1988). Cette étude montre que la dorade japonaise est capable de percevoir des sons de l'ordre de 85 dB re 1  $\mu$ Pa à 200 Hz.

### 3.2.2.4. La sole sénégalaise *Solea senegalensis*

La sole sénégalaise est un Pleuronectiforme, ou poisson plat, de la famille des Soleidés. Comme tous les poissons plats, elle ne possède pas de vessie natatoire et ne peut donc pas percevoir les variations de pression liées aux ondes sonores.

Aucun audiogramme n'a été publié concernant la sole sénégalaise. Une étude sur la sole commune *Solea solea* (Lagardère & Villotte, 1990) suggère toutefois que cette espèce est capable de détecter les infrasons (< 20 Hz). Une autre étude réalisée sur La limande *Limanda limanda*, un autre poisson Pleuronectiforme, stipule que cette espèce est capable de percevoir des sons de l'ordre de 90 dB re 1 µPa autour de 100 Hz. Cette étude tendrait donc à montrer que les poissons plats auraient des capacités auditives proches de celles des poissons possédant une vessie natatoire non connectée à l'oreille interne.

Sur la base des études réalisées ces dernières années sur les capacités auditives des poissons et les risques engendrés par le bruit sous-marin, des seuils de bruit ont été définis au-delà desquels les poissons sont susceptibles de subir des dommages physiologiques (blessure guérissable et TTS). Ces seuils n'ont à l'heure actuelle été définis que pour les poissons possédant une vessie natatoire connectée à l'oreille interne ; pour les autres poissons, seuls des niveaux de risque ont été définis (Popper *et al.*, 2014). Ces seuils sont présentés dans le tableau B3 ci-dessous.

Tableau B3. Seuils et niveaux de risques définis pour les poissons exposés à un bruit continu (d'après Popper *et al.*, 2014).

Type de poisson	Type de dommage		
	TTS	Blessure guérissable	Blessure mortelle
Poisson sans vessie natatoire	Risque faible à modéré	Risque faible	Risque faible
Poisson avec vessie natatoire non connectée à l'oreille interne	Risque faible à modéré	Risque faible	Risque faible
Poisson avec vessie natatoire connectée à l'oreille interne	158 dB rms pour 12 h	170 dB rms pour 48 h	Risque faible

Contrairement aux seuils définis pour les mammifères marins, les seuils définis pour les poissons ne sont pas pondérés. Il s'agit donc du niveau de bruit reçu par l'animal (tel que l'on pourrait le mesurer avec un hydrophone au niveau du poisson) et non du bruit effectivement perçu (qui lui passe par le « filtre » auditif du poisson).

En l'absence de données plus complètes, nous avons utilisés les seuils définis pour les poissons possédant une vessie natatoire connectée à l'oreille interne pour évaluer l'effet du bruit généré par les drague sur les poissons, et ce même si les poissons listés par le SIBA n'appartiennent pas à cette catégorie. Dans la mesure où les poissons

possédant une vessie natatoire connectée à l'oreille interne sont supposés être plus sensibles au bruit, cette stratégie revient à légèrement surévaluer l'effet de la drague sur les espèces de poissons ciblées.

### 3.2.3. Les mollusques céphalopodes

Parmi les espèces de mollusque céphalopode présents sur la zone d'étude, la seiche commune *Sepia officinalis* présente un intérêt particulier. Comme tous les mollusques céphalopodes, la seiche détecte les sons basse voire très basse fréquence (Packard *et al.*, 1990). Etant dépourvue de cavité gazeuse, la seiche ne détecte par les variations de pression induites par les ondes sonores mais elle est capable de détecter les mouvements de particules liés à ces ondes grâce à ces statocystes.

Il n'existe pas à l'heure actuelle d'audiogramme permettant de décrire les capacités auditives de la seiche. Cependant, des audiogrammes réalisés sur des calamars et des poulpes confirment que les céphalopodes ont une sensibilité maximale entre 100 et 1000 Hz. Les niveaux perçus sont toutefois relativement élevés, de l'ordre de 120-130 dB re 1  $\mu$ Pa (Hu *et al.*, 2009 ; Mooney *et al.*, 2010).

D'autre part, une étude réalisée sur cette espèce a récemment montré qu'une exposition à un son impulsionnel d'une seconde de l'ordre de 140 dB re 1  $\mu$ Pa<sup>2</sup>/Hz sur les bandes de 1/3 d'octave centrées sur 315 et 400 Hz (soit environ 165 dB re 1  $\mu$ Pa sur l'ensemble du spectre d'émission) émis en continu pendant 2 heures cause des dommages aux cellules ciliées des statocystes (Solé *et al.*, 2017).

Il n'existe pas de seuil TTS défini pour les mollusques céphalopodes. Le fait qu'ils soient dépourvus de cavité gazeuse permet d'envisager que de tels seuils seraient inférieurs à ceux définis par Popper *et al.* (2014) pour les poissons dont la vessie natatoire est connectée à l'oreille interne (tableau B3). En l'absence de données plus précises, ce sont donc ces seuils qui ont été retenus pour évaluer les effets du bruit généré par les dragues sur la seiche. Ces niveaux sont de plus cohérents avec les résultats de l'étude réalisée par Solé *et al.* en 2017 (165 dB re 1  $\mu$ Pa pendant 2 heures est quasiment équivalent à 158 dB rms re 1  $\mu$ Pa pendant 12 heures en termes de niveau d'exposition sonore cumulé).



### 3.3. Evaluation des effets

#### 3.3.1. Définition et seuils

L'effet se définit comme la conséquence objective d'un projet sur son environnement (MEEDM, 2010). Cet effet peut être positif ou négatif, direct ou indirect, unique ou récurrent, à court, moyen ou long terme. **Dans le cadre de cette étude, les effets attendus seront systématiquement négatifs, directs, récurrents et à court terme.** Par contre, le degré d'effet va varier selon l'espèce et sa capacité auditive : il pourra être nul, négligeable, faible, moyen ou fort.

Pour quantifier ce niveau d'effet, les seuils cités précédemment (seuils pondérés TTS et PTS pour les mammifères marins et seuils non pondérés TTS et de blessure guérissable pour les poissons et céphalopodes) ont été utilisés.

Les cartes de bruit réalisées représentent l'étendue des périmètres associés aux risques TTS et PTS pour les mammifères marins et aux risques de TTS et de blessure guérissable pour les poissons et céphalopodes.

Dans le cas des mammifères marins, l'estimation des périmètres est basée sur la simulation d'un récepteur acoustique ayant les propriétés auditives d'un animal appartenant à chacun des groupes d'audition considérés, positionné à proximité immédiate de la drague en opération.

Ces cartes traduisent les niveaux de bruit perçus par l'espèce en fonction de son groupe d'audition. Les niveaux de bruit associés sont dits « pondérés » car ils intègrent les fonctions de pondération associées à ces groupes d'audition. Ces cartes de bruit traduisent le niveau sonore que l'animal perçoit en fonction de ses capacités auditives qui lui sont propres.

Dans le cas des poissons et céphalopodes, l'estimation des périmètres est basée sur la simulation d'un récepteur acoustique, positionné à proximité immédiate de la drague en opération.

Ces cartes traduisent donc les niveaux de bruit reçu en un point par l'espèce en fonction de son groupe d'audition. Les niveaux de bruit associés sont dits « non pondérés » car ils n'intègrent pas une fonction de pondération associée à un groupe d'audition. Ces cartes de bruit traduisent le niveau sonore que l'animal reçoit.

Sur les cartes pondérées présentées en annexe 2, une échelle des risques a été établie pour chacun des groupes d'audition considérés, dans le cas des mammifères marins. Cette échelle matérialise, selon le code couleur présenté sur la figure B10 ci-dessous, les périmètres à l'intérieur desquels les niveaux sonores perçus (liés aux



opérations de dragage et de réensablement) sont susceptibles de provoquer une réaction comportementale ou physiologique sur les espèces considérées.

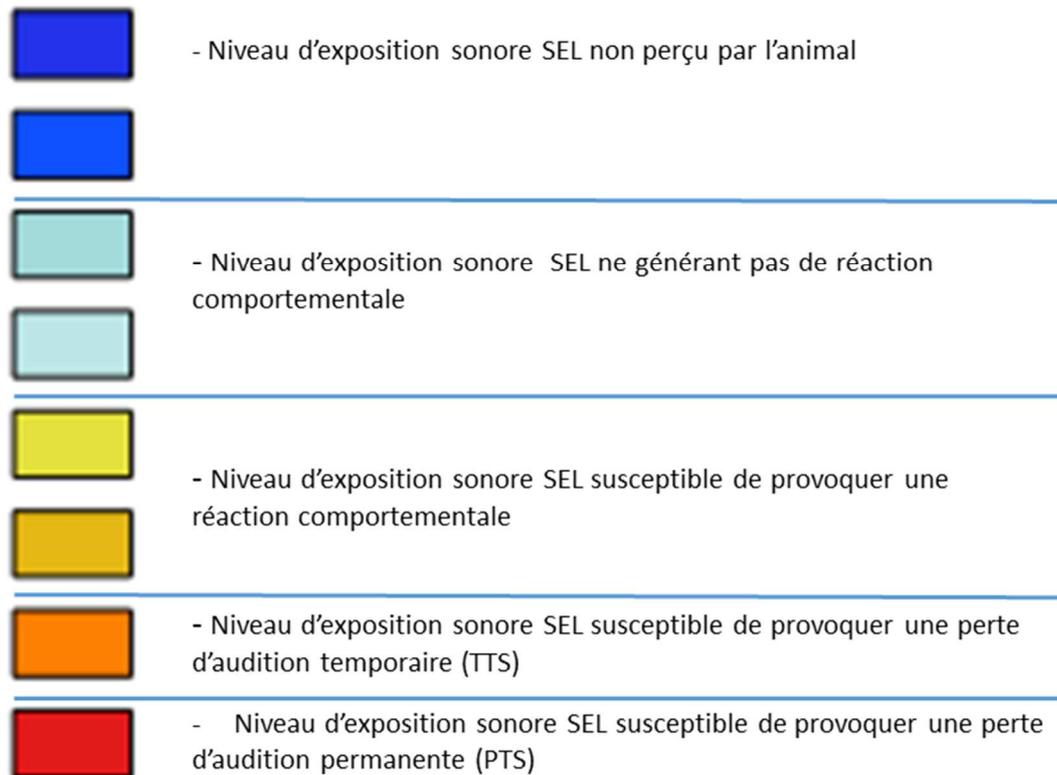


Figure B10. Echelle des niveaux de risque auditif utilisée pour les cartes de modélisation acoustique présentées en annexe 2.

Cette échelle reprend les seuils physiologiques basés sur les recommandations issues des études les plus récentes (Southall *et al.*, 2019 pour les mammifères marins et Popper *et al.*, 2014 pour les poissons et céphalopodes) pour chaque groupe d'audition considéré et propose des périmètres complémentaires associés aux risques de perturbation sonore sur les individus (seuil de réaction comportementale).

**Les effets potentiels sont axés dans cette étude sur les risques physiologiques.** Si les effets comportementaux existent, ceux-ci sont difficiles à déterminer précisément en l'état actuel des connaissances et doivent encore être adaptés (Southall *et al.*, 2019).

### 3.3.2. Modélisation du bruit perçu par les espèces et évaluation des effets liés aux opérations de réensablement des plages de Pyla-sur-Mer

#### 3.3.2.1. Définition des scénarios acoustiques associés aux opérations de réensablement

Les scénarios acoustiques associés aux opérations de réensablement ont été définis suite aux mesures acoustiques réalisées les 5 février et 24 février 2020.

Concernant les dragues Côtes de Bretagne et DRAGON, ces mesures réalisées ont permis de mettre en évidence :

- Les gabarits acoustiques de la drague Côtes de Bretagne associés aux différentes phases d'exploitation liées aux opérations de réensablement : phases de dragage, de transit chargé, de réensablement et de transit léger ;
- La prédominance temporelle des phases de dragage et de réensablement par rapport aux phases de transit chargé et léger pour la drague Côtes de Bretagne ;
- Les gabarits acoustiques de la drague DRAGON associés aux opérations de rinçage et de dragage au niveau du banc de la Vigne.

Une analyse des différentes opérations de réensablement des plages de Pyla-sur-mer par la drague Côtes de Bretagne a été réalisée. Les phases de transit léger et de transit chargé ont été écartées de la modélisation car ces deux phases sont considérées comme étant de transition et de très courte durée (entre une minute et 23 minutes au maximum).

De même, la phase de rinçage observée pour le DRAGON, en opération au niveau du banc de la Vigne, a été écartée car elle ne constitue qu'une brève phase de transition dans le processus de dragage de cette installation.

Les scénarios modélisés se veulent représentatifs des phases de travaux observées les 5 et 24 février 2020, et prennent donc en considération la durée effective observée des phases de dragage et de réensablement.

D'autre part, les mesures réalisées ont permis de mettre en évidence l'influence de la bathymétrie dans la propagation des ondes sonores sous-marines sur la zone d'étude. En effet l'évolution de la hauteur d'eau, associée au phénomène de marnage, a permis de mettre en évidence des scénarios acoustiques pour lesquels l'empreinte sonore des opérations de réensablement et de dragage est maximale : il s'agit des opérations de dragage (y compris pour la drague DRAGON) et de réensablement effectuées à proximité ou durant l'étale de pleine mer (c'est-à-dire durant une phase de hauteur d'eau maximale). Seules ces opérations ont donc été considérées.

Contrairement à des opérations de dragage ou d'extraction de granulats marins sur des sites avec une bathymétrie plus importante (supérieure à 30 mètres), les opérations de dragage et de réensablement sont réalisées au large de la plage de



Pyla-sur-mer ou niveau du banc de la Vigne par très petit fond (une dizaine de mètres au maximum à l'étalement de pleine mer). Associée au marnage, l'évolution de la bathymétrie par très petit fond engendre ainsi de très fortes perturbations dans la propagation des ondes acoustiques. Cette propagation est fortement atténuée durant les étales de basse mer et l'empreinte sonore associée à la drague est donc diminuée durant cette période.

Compte tenu des phénomènes de marées, la prise en compte d'opérations cumulées sur 24 heures présenterait un fort biais et viendrait minimiser l'effet sonore engendré par les opérations réalisées à l'étalement de pleine mer. Seuls les phases de dragage<sup>3</sup> et de réensablement<sup>3</sup> (voir partie A), réalisées à marée haute, ont été prises en compte. Enfin, les phases de réensablement sont très spécifiques, du fait des positions géographiques sur l'estran qui varient d'une phase à une autre.

Ainsi les scénarios acoustiques associés aux phases de dragage et de réensablement pour les deux dragues Côtes de Bretagne et DRAGON ont été déterminés sur les observations *in situ* et présentés dans le tableau B4.

Tableau B4. Synthèse des temps d'extraction journalier (en minutes) des navires sabliers durant la phase de mesure.

Drague	Phase de dragage	Phase de réensablement
Drague Côtes de Bretagne	Phase de dragage <sup>3</sup> observée le 5/02/2020 entre 13h01 et 14h06	Phase de réensablement <sup>3</sup> observée le 5/02/2020 entre 14h34 et 15h39
Drague DRAGON	Phase de dragage observée le 24/02/2020 à partir de 16h35	

**Ces scénarios sont conservateurs dans l'évaluation de l'effet du bruit sur les mammifères marins, poissons et céphalopodes car :**

- **Les spectres acoustiques associés aux situations de dragage<sup>3</sup> et de réensablement<sup>3</sup> sont les spectres maximums observés ;**
- **Les scénarios modélisés prennent en compte des conditions et paramètres géo-acoustiques favorables à la propagation des ondes sonores (cas de figure pour lequel l'empreinte sonore des opérations est maximale). Cette stratégie vise donc à établir des cartes acoustiques présentant une empreinte maximale des travaux ;**
- **Ces scénarios supposent qu'un animal reste à proximité directe de la source sonore que représente la drague en opération, y compris pour le Côtes de Bretagne en phase de dragage, et ceci durant la totalité de l'opération.**

### 3.3.3. Scénario acoustique de la drague Côtes de Bretagne en phase de dragage

#### 3.3.3.1. Effets sur les mammifères marins

Le scénario acoustique du Côtes de Bretagne en phase de dragage met en évidence (tableau B5) :

- L'absence de périmètre TTS et PTS pour les Cétacés HF ;
- L'absence de périmètre PTS pour les Cétacés VHF et les Phocidés (groupe PCW) mais des périmètres TTS respectivement de 30 mètres et 25 mètres ;
- Des périmètres TTS de 90 mètres et PTS de 10 mètres pour les Cétacés LF.

Tableau B5. Rayons (en mètres) des périmètres de sécurité établis en fonction des seuils TTS et PTS pour chaque groupe d'audition de mammifères marins lors d'une phase de dragage du Côtes de Bretagne.

	Cétacés LF		Cétacés HF		Cétacés VHF		Phocidés (PCW)	
	TTS	PTS	TTS	PTS	TTS	PTS	TTS	PTS
Côtes de Bretagne (en phase de dragage durant 65 minutes)	90	10	/	/	30	/	25	/

Les cartes acoustiques associées sont présentées en annexe 2.

#### 3.3.3.2. Effets sur les poissons et céphalopodes

La modélisation de l'empreinte sonore du Côtes de Bretagne en phase de dragage met en évidence un spectre acoustique associé au navire dont le niveau sonore ramené à 1 mètre dépasse les seuils acoustiques de 158 dB rms et 170 dB rms associés aux risques TTS et de blessure guérissable. Cependant ces seuils correspondent aux poissons pourvus de vessie natatoire connectée à l'oreille interne, et la durée d'exposition minimale au bruit doit être respectivement de 12 heures et de 48 heures pour engendrer un TTS ou une blessure guérissable.

Ainsi, bien que la modélisation mette en évidence des périmètres associés à ces seuils de 30 mètres (TTS) et de 5 mètres (blessure guérissable), **il est peu probable que les bruits générés par la drague engendrent des dommages physiologiques car :**

- Les espèces halieutiques et céphalopodes listés par le SIBA n'ont pas de vessie natatoire connectée à l'oreille interne et de ce fait présentent une tolérance au bruit supérieure à cette catégorie spécifique de poissons (Popper *et al.*, 2014) ;
- Cela suppose qu'un poisson ou un céphalopode reste à proximité immédiate de la drague durant 12 heures au minimum, ce qui semble fortement improbable

compte tenu de la cinématique du navire et des différentes phases de travaux et de leur localisation.

### 3.3.4. Scénarios acoustique de la drague Côtes de Bretagne en phase de réensablement

#### 3.3.4.1. Effets sur les mammifères marins

Le scénario acoustique du Côtes de Bretagne en phase de réensablement met en évidence (tableau B6) :

- L'absence de périmètre TTS et PTS pour les Cétacés HF ;
- L'absence de périmètre PTS pour les Cétacés VHF et les Phocidés (groupe PCW) mais des périmètres TTS respectivement de 70 mètres et 50 mètres ;
- Des périmètres TTS de 180 mètres et PTS de 20 mètres pour les Cétacés LF.

Tableau B6. Rayons (en mètres) des périmètres de sécurité établis en fonction des seuils TTS et PTS pour chaque groupe d'audition de mammifères marins lors d'une phase de réensablement du Côtes de Bretagne.

	Cétacés LF		Cétacés HF		Cétacés VHF		Phocidés (PCW)	
	TTS	PTS	TTS	PTS	TTS	PTS	TTS	PTS
Côtes de Bretagne (en phase de réensablement durant 65 minutes)	180	20	/	/	70	/	50	/

Ces périmètres sont supérieurs à ceux observés pour les mêmes groupes d'audition dans le scénario de la drague Côtes de Bretagne en phase de dragage. Dans ce scénario (phase de réensablement3), les conditions de propagation des ondes sonores sont plus favorables et le niveau d'émission de la drague est supérieur à celui émis en phase de dragage, ce qui explique l'augmentation des périmètres observés.

Les cartes acoustiques associées sont présentées en annexe 2.

#### 3.3.4.2. Effets sur les poissons et céphalopodes

De même que pour la phase de dragage, la modélisation de l'empreinte sonore du Côtes de Bretagne en phase de réensablement met en évidence un spectre acoustique dont le niveau sonore ramené à 1 mètre dépasse les seuils de 158 dB rms et 170 dB rms. Cependant, comme pour le scénario précédant (phase de dragage3), ces seuils acoustiques sont liés à un risque de dommage physiologique pour les

poissons à vessie natatoire connectée à l'oreille interne et doivent être associés à une durée d'exposition minimale de 12 heures pour engendrer un dommage physiologique. Ainsi, bien que la modélisation mette en évidence des périmètres associés à ces seuils de 70 m (TTS) et de 15 m (blessure guérissable), **aucun risque physiologique ne peut être considéré car :**

- Les espèces halieutiques et céphalopodes listés par le SIBA n'ont pas de vessie natatoire connectée à l'oreille interne et de ce fait présentent une tolérance au bruit supérieure à cette catégorie spécifique de poissons ;
- Cela suppose qu'un poisson ou céphalopode reste à proximité immédiate de la drague durant 12 heures minimum, ce qui semble fortement improbable compte tenu de la cinématique du navire et des différentes phases de travaux et de leur localisation.

Les cartes acoustiques associées sont présentées en annexe 2.

### 3.3.5. Scénario acoustique de la drague DRAGON en phase de dragage

Le scénario acoustique de la drague DRAGON en phase de dragage met en évidence (tableau B7) :

- L'absence de périmètre TTS et PTS pour les Cétacés HF, VHF et les Phocidés (groupe PCW) ;
- Pour les Cétacés LF un périmètre TTS de 30 mètres et l'absence de périmètre PTS.

Bien que la durée de la phase de dragage du DRAGON soit supérieure à celle du Côtes de Bretagne (480 minutes pour le DRAGON contre 65 minutes pour le Côtes de Bretagne), le niveau large bande émis par le DRAGON (154,9 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m contre 172,4 dB re 1 $\mu$ Pa @1 m pour le Côtes de Bretagne) ne compense pas cette différence de durée dans l'évaluation du niveau d'exposition sonore associé à cette phase de travaux. De ce fait, les périmètres associés sont plus faibles. La drague DRAGON opère dans une zone ayant des conditions de propagation des ondes sonores proches de celles modélisées pour la phase de dragage avec le Côtes de Bretagne.

Tableau B7. Rayons (en mètres) des périmètres de sécurité établis en fonction des seuils TTS et PTS pour chaque groupe d'audition de mammifères marins lors d'une phase de dragage du DRAGON.

	Cétacés LF		Cétacés HF		Cétacés VHF		Phocidés (PCW)	
	TTS	PTS	TTS	PTS	TTS	PTS	TTS	PTS
Drague DRAGON (en phase de dragage durant 480 minutes)	30	/	/	/	/	/	/	/

Les cartes acoustiques associées sont présentées en annexe 2.

### 3.3.5.1. Effets sur les poissons et céphalopodes

La modélisation de l'empreinte sonore de la drague DRAGON en phase de dragage met en évidence un spectre acoustique dont le niveau sonore ramené à 1 mètre est inférieur au premier seuil de 158 dB rms associé aux risques de perte d'audition temporaire.

**De ce fait, ce scénario ne conduit pas à établir un périmètre associé à un risque de dommage physiologique.**

## 3.4. Synthèse des effets et évaluation des niveaux d'effet

Les niveaux d'effet associés aux résultats obtenus par modélisation sont définis en fonction de la grille d'évaluation proposée dans le tableau B8 ci-dessous. Cette grille se base sur les recommandations disponibles à l'heure actuelle dans la littérature, et notamment sur les protocoles de mitigation des activités anthropiques génératrices de bruit sous-marin (Ducatel *et al.*, 2019 ; JNCC, 2010a ; JNCC, 2010b ; JNCC, 2017). La catégorisation d'un effet fort à partir d'un périmètre PTS de 500 m est cohérente avec le choix de scénarios conservateurs, qui intègrent un temps d'exposition cumulé relativement long au regard du temps d'exposition qu'un animal est réellement susceptible de subir.

Tableau B8. Grille d'évaluation des effets liés aux bruits sous-marins.

Effet	Absence de TTS	TTS uniquement	PTS ≤ 500m	PTS > 500m
Niveau d'effet	Négligeable	Faible	Moyen	Fort

Les tableaux B9 et B10 ci-dessous synthétisent les effets des phases d'exploitation des deux dragues, selon les scénarios acoustiques définis, sur les espèces marines en fonction de leur groupe d'audition.

Tableau B9. Synthèse des effets des travaux sur les mammifères marins en fonction du groupe d'audition et du type d'opération.

Type d'opération	Cétacés			Phocidés (PCW)
	Cétacés LF	Cétacés HF	Cétacés VHF	
Drague Côtes de Bretagne en opération de dragage	Moyen	Négligeable	Faible	Faible
Drague Côtes de Bretagne en opération de réensablement	Moyen	Négligeable	Faible	Faible
Drague DRAGON en opération de dragage	Faible	Négligeable	Négligeable	Négligeable

Pour les Cétacés « basse fréquence » (LF), l'effet est faible dans le cas du scénario lié à la drague DRAGON et moyen dans le cas des scénarios liés à la drague Côtes de Bretagne. Ceci est dû à la présence de périmètre PTS dans le cas des scénarios liés à la drague Côtes de Bretagne. Les niveaux d'émission large bande de la drague Côtes de Bretagne supérieurs à ceux de la drague DRAGON expliquent cette différence. La présence de ces périmètres PTS s'explique par la fonction auditive de pondération utilisée pour établir les seuils TTS et PTS des Cétacés LF qui privilégie les basses fréquences. Ces périmètres sont cependant très faibles (20 mètres au maximum dans le cas du scénario de réensablement).

Pour les Cétacés « haute fréquence » (HF), l'effet est négligeable dans tous les scénarios acoustiques compte tenu des seuils TTS et PTS pondérés de ce groupe d'audition, associés à une fonction auditive de pondération qui privilégie la sensibilité aux hautes fréquences.

Pour les Cétacés « très haute fréquence » (VHF), l'effet est négligeable dans le cas du scénario avec la drague DRAGON à faible pour les scénarios impliquant le Côtes de Bretagne. Les niveaux d'émission large bande de la drague Côtes de Bretagne supérieurs à ceux de la drague DRAGON expliquent cette différence.

Enfin pour les Phocidés, l'effet est négligeable dans le cas du scénario de dragage avec la drague DRAGON et faible dans le cas des 2 scénarios liés à la drague Côtes de Bretagne. Ceci est dû à la présence de périmètres TTS faibles (50 mètres au maximum dans le cas du scénario de réensablement) engendrés par le bruit généré par le Côtes de Bretagne.

Pour ce qui est des poissons et des céphalopodes, même si le niveau de bruit généré par la drague Côtes de Bretagne est supérieur aux seuils établis pour les dommages physiologiques tels que des TTS ou des blessures guérissables, le fait que les espèces ciblées pour cette étude ne possèdent pas de vessie natatoire connectée avec l'oreille interne et la durée limitée d'exposition au bruit lié aux phases de dragage et de réensablement (inférieure à 12 heures dans tous les cas) permettent de conclure sur

l'absence de risque de dommage physiologique, et donc d'évaluer l'effet des dragues sur ces espèces comme étant négligeable (tableau B9).

Tableau B10. Synthèse des effets des travaux sur les poissons et céphalopodes et du type d'opération.

Type d'opération	Poissons	Céphalopodes
Drague Côtes de Bretagne en opération de dragage	Négligeable	Négligeable
Drague Côtes de Bretagne en opération de réensablement	Négligeable	Négligeable
Drague DRAGON en opération de dragage	Négligeable	Négligeable

## 4. CONCLUSION

Cette étude, axée sur la modélisation de l'effet acoustique des opérations de réensablement des plages de Pyla-sur-mer, fait suite aux mesures acoustiques réalisées par NEREIS Environnement les 5 et 24 février 2020.

En effet, de nombreuses espèces halieutiques ainsi que des mammifères marins sont potentiellement présents dans et autour du bassin d'Arachon (liste fournie par le SIBA). Citons parmi les espèces halieutiques présentes dans le bassin d'Arcachon :

- La seiche ;
- La raie bouclée ;
- Le bar commun ;
- La daurade royale ;
- Le sar commun ;
- La sole sénégalaise.

Et parmi les mammifères marins observés du canyon du Cap Ferret au bassin d'Arcachon :

- Le phoque gris ;
- Le phoque gris ;
- Le phoque veau marin ;
- Le globicéphale noir ;
- Le dauphin de Risso ;
- Le marsouin commun ;
- Le dauphin banc et bleu ;
- Le grand dauphin ;
- Le dauphin commun ;
- Le cachalot ;
- Le petit rorqual ;
- Le rorqual commun ;
- La baleine à bec de Cuvier ;
- Les rorquals indéterminés ;
- Les mésoplodon indéterminés ;
- Les ziphiidés indéterminé.

### *Modélisation de l'empreinte sonore des opérations de réensablement et évaluation des risques d'impact acoustique sur la faune marine*

Une modélisation des opérations de réensablement a été réalisée en mettant en évidence des scénarios représentatifs :



- Des phases de dragage et de réensablement réalisées par la drague Côtes de Bretagne sur les plages de Pyla-sur-Mer et au large du banc de Bernet ;
- De la phase de dragage réalisée par la drague DRAGON au niveau du banc de la Vigne.

Ces 3 scénarios ont été modélisés à partir de données *in situ* afin d'établir des situations acoustiques réalistes car déjà observées. **Ces scénarios sont conservateurs, d'une part car les niveaux d'émission large bande associés à ces opérations sont maximums, et d'autre part car les paramètres géo-acoustiques associés à ces scénarios sont plus favorables à la propagation des ondes sonores. Ces facteurs engendrent donc des cartes de bruit ambiant sous-marin pour lesquelles les empreintes sonores associées aux dragues sont maximales**

Les mammifères marins ont été regroupés par groupes d'audition définis en fonction de leur sensibilité auditive. Les seuils acoustiques de Southall *et al.*, (2019) ont ainsi été utilisés pour déterminer les périmètres acoustiques associés aux risques physiologiques de perte d'audition temporaire (TTS) et permanent (PTS) sur chacun des groupes considérés.

Pour les poissons et les céphalopodes, de tels seuils acoustiques ne sont pas clairement établis. Une étude de Popper *et al.* (2014) propose des niveaux associés aux risques de perte d'audition temporaire et de blessures guérissables, mais seulement pour les poissons à vessie natatoire connectée à l'oreille interne. Ces poissons, pour lesquels des seuils acoustiques sont proposés, seraient ceux dont la sensibilité au bruit est la plus élevée. De ce fait ces seuils acoustiques, retenus pour l'étude, sont conservateurs car aucune des espèces halieutiques présentes dans la liste des espèces ciblées n'appartient à ce groupe.

### Résultat de la modélisation

Les effets sont négligeables à faibles pour les Phocidés (phoque gris et phoque veau marin) : négligeables pour le scénario de dragage avec la drague DRAGON et faibles pour les deux scénarios (dragage et réensablement) avec la drague Côtes de Bretagne.

Concernant les Cétacés « basse fréquence » (rorquals), l'effet est faible pour le scénario de dragage avec la drague DRAGON à moyen dans le cas des scénarios avec la drague Côtes de Bretagne.

Pour les Cétacés « haute fréquence » (grand cachalot, globicéphale noir, dauphin de Risso, dauphin bleu et blanc, grand dauphin, dauphin commun, baleine à bec de Cuvier, Mésoplodon indéterminé et Zyphiidé indéterminé), le niveau d'effet varie de négligeable dans le cas du dragage avec la drague DRAGON à moyen pour les scénarios avec la drague Côtes de Bretagne.

Enfin pour les Cétacés « très haute fréquence » (marsouin commun et cachalot pygmée) les effets sont négligeables avec la drague DRAGON à faibles avec la drague Côtes de Bretagne.

Aucun périmètre acoustique lié à des risques PTS n'est observé dans le cas des Cétacés « très haute fréquence », seuls des périmètres TTS liés aux scénarios avec la drague Côtes de Bretagne sont observés (70 mètres durant la phase de réensablement et 30 mètres pour la phase de dragage).

Aucun périmètre PTS et TTS n'est observé pour les Cétacés « haute fréquence » dans les cadre des 3 scénarios acoustiques modélisés.

Concernant les périmètres PTS et TTS associés aux Cétacés « basse fréquence », seul le scénario de dragage avec la drague DRAGON n'engendre qu'un périmètre TTS de 30 mètres. Dans le cadre des deux scénarios avec la drague Côtes de Bretagne, des périmètres PTS et TTS sont observés : périmètre PTS de 10 m et périmètre TTS de 90 m pour la phase de dragage, et périmètre PTS de 20 m et périmètre TTS de 180 m pour la phase réensablement.

Enfin, pour les Phocidés, si aucun périmètre PTS et TTS n'est observé dans le cas du scénario avec la drague DRAGON, des périmètres TTS sont modélisés (de 25 m en phase de dragage à 50 m en phase de réensablement) dans le cas des scénarios avec la drague Côtes de Bretagne.

**Ces périmètres TTS et PTS sont très conservateurs car issus d'une modélisation acoustique qui suppose que le mammifère marin reste à proximité immédiate de la source sonore durant l'ensemble du déroulement des scénarios de dragage ou de réensablement.**

La modélisation met en évidence l'influence directe de la drague dans les scénarios acoustiques. Le niveau d'émission large bande de la drague Côtes de Bretagne, supérieur à celui de la drague DRAGON, explique les nuances dans les effets sonores modélisés. Bien que les scénarios soient très conservateurs, les résultats de la modélisation acoustique mettent en évidence des périmètres TTS réduits (180 mètres au maximum) et des périmètres PTS encore plus restreints (20 mètres). Des périmètres PTS sont observés uniquement pour rorquals, plus sensibles aux basses fréquences. Il convient de relativiser cet effet en considérant le faible risque de présence d'un rorqual à proximité directe de la drague en opération dans cette zone d'étude.

Dans le cas de l'évaluation des effets sonores des opérations de réensablement sur les poissons et céphalopodes, la modélisation montre que le niveau de bruit généré par la drague Côtes de Bretagne est supérieur aux seuils de dommages physiologiques tels que des TTS ou des blessures guérissables. Cependant, ces seuils ont été établis pour les espèces possédant une vessie natatoire connectée avec l'oreille interne, ce qui n'est pas le cas des espèces ciblées ici. De plus, ces seuils



s'entendent pour une durée d'exposition au bruit de 12 et 48 heures (voir tableau B3), or les phases de dragage et de réensablement ont une durée inférieure à 12 heures dans tous les cas. De ce fait, les résultats obtenus ici permettent de conclure sur l'absence de risque de dommage physiologique, et donc d'évaluer l'effet des dragues sur les espèces de poissons et céphalopodes comme étant négligeable.

Il convient de considérer dans cette étude que seuls les aspects physiologiques liés aux blessures guérissables ou aux risques de pertes d'audition ont été considérés, aussi bien pour les mammifères marins que pour les poissons et céphalopodes.

Dans le cadre de cette étude les sources sonores d'origine anthropique (dragues Côtes de Bretagne et DRAGON) génèrent un bruit dont les niveaux d'émission ont un effet négligeable à moyen au regard de ces risques physiologiques. Cette étude ne prend cependant pas en compte les risques liés aux réactions comportementales induites par le bruit (dérangement, fuite, arrêt des activités, etc.). Les émissions sonores peuvent en effet également générer un stress qu'il convient de ne pas négliger car il peut avoir des conséquences sur le métabolisme, la reproduction et sur les phénomènes de déprédation. Toute initiative liée à la réduction des émissions sonores dans le milieu marin est donc à prendre en considération dans le cadre des enjeux de préservation de la faune marine.



## Bibliographie

Braun, C. B. & Grande, T., 2008. Evolution of Peripheral Mechanisms for the Enhancement of Sound Reception. *In: Fish Bioacoustics*. J. F. Webb, R. R. Fay & A. N. Popper (Eds). Springer, New York, pp 99-144.

Brill, R. L., Moore, P. & Dankiewicz, L. A., 2001. Assessment of dolphin (*Tursiops truncatus*) auditory sensitivity and hearing loss using jawphones. *The Journal of the Acoustical Society of America* **109** (4), 1717-1722.

Cranford, T. W. & Krysl, P., 2015. Fin whale sound reception mechanisms: skull vibration enables low-frequency hearing. *PLoS ONE* **10** (1), e0116222-e0116222.

De Jong, C., Ainslie, M., Dreschler, J., Jansen, E., Heemskerk, E. & Groen, W., 2010. Underwater noise of Trailing Suction Hopper Dredgers at Maasvlakte 2: Analysis of source levels and background noise. TNO Defence, Security and Safety, TN0DV 2010 C335, 89 p.

Ducatel, C., Le Gall, Y. & Lurton, X., 2019. Protocole de protection de la faune marine et campagnes sismiques. IFREMER, ASTI-2019-148, 49 p.

GEODE, 2018. Dragages et immersions en mer et en estuaire Revue des bonnes pratiques environnementales. Groupe d'Etudes et d'Observation sur les Dragages et l'Environnement, 286 p.

Hawkins, A. D. & Popper, A. N., 2018. Directional hearing and sound source localization by fishes. *The Journal of the Acoustical Society of America* **144** (6), 3329-3350.

Hu, M. Y., Yan, H. Y., Chung, W.-S., Shiao, J.-C. & Hwang, P.-P., 2009. Acoustically evoked potentials in two cephalopods inferred using the auditory brainstem response (ABR) approach. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **153** (3), 278-283.

Ishioka, H., Hatakeyama, Y. & Sakaguchi, S., 1988. The Hearing Ability of the Red Sea Bream *Pagrus major*. *Nippon Suisan Gakkaishi* **54** (6), 947-951.

Jensen, F. B., Kuperman, W. A., Porter, M. B. & Schmidt, H., 2011. *Computational Ocean Acoustics*. Springer, New York, 794 p.

JNCC, 2010a. Statutory nature conservation agency protocol for minimising the risk of injury to marine mammals from piling noise. Joint Nature Conservation Committee, 14 p.

JNCC, 2010b. JNCC guidelines for minimising the risk of injury to marine mammals from using explosives. Joint Nature Conservation Committee, 10 p.



JNCC, 2017. JNCC guidelines for minimising the risk of injury to marine mammals from geophysical surveys. Joint Nature Conservation Committee, 28 p.

Kaifu, K., Akamatsu, T. & Segawa, S., 2008. Underwater sound detection by cephalopod statocyst. *Fisheries Science* **74** (4), 781-786.

Kastelein, R. A., Bunscoek, P., Hagedoorn, M., Au, W. W. L. & de Haan, D., 2002. Audiogram of a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) measured with narrow-band frequency-modulated signals. *The Journal of the Acoustical Society of America* **112** (1), 334-344.

Kastelein, R. A., Wensveen, P., Hoek, L. & Terhune, J. M., 2009. Underwater hearing sensitivity of harbor seals (*Phoca vitulina*) for narrow noise bands between 0.2 and 80 kHz. *The Journal of the Acoustical Society of America* **126** (1), 476-483.

Lagardère, J. & Villotte, J., 1990. Performance particulière d'un poisson plat (*Solea solea* L.) en écoute basse fréquence. *Journal de Physique Colloques* **51** (C2), C2-631-C2-634.

Lurton, X., 1998. Acoustique sousmarine – Présentation et application. Ifremer, Plouzané, 110 p.

Marmo, B., Roberts, I., Buckingham, M. P., King, S. & Booth, C., 2013. Modelling of Noise Effects of Operational Offshore Wind Turbines including noise transmission through various foundation types. Edinburgh: Scottish Government, Document No: MS-101-REP-F, 100 p.

McQueen, A. D., Suedel, B. C. & Wilkens, J. L., 2019. Review of the Adverse Biological Effects of Dredging-Induced Underwater Sounds. *WEDA Journal of Dredging* **17** (1), 122.

Mooney, T. A., Hanlon, R. T., Christensen-Dalsgaard, J., Madsen, P. T., Ketten, D. R. & Nachtigall, P. E., 2010. Sound detection by the longfin squid (*Loligo pealeii*) studied with auditory evoked potentials: sensitivity to low-frequency particle motion and not pressure. *The Journal of Experimental Biology* **213** (21), 3748-3759.

Mooney, T. A., Hanlon, R. T., Madsen, P. T., Christensen-Dalsgaard, J., Ketten, D. R. & Nachtigall, P. E., 2012. Potential for Sound Sensitivity in Cephalopods. *In: The Effects of Noise on Aquatic Life*. A. N. Popper & A. Hawkins (Eds). Springer, New York, pp 125-128.

Mooney, T. A., Yamato, M. & Branstetter, B. K., 2012. Hearing in Cetaceans: From Natural History to Experimental Biology. *In: Advances in Marine Biology* (vol. 63). M. Lesser (Ed.). Academic Press, Cambridge, MA, pp 197-246.



Nedwell, J. R., Edwards, B., Turnpenny, A. W. H. & Gordon, J., 2004. Fish and Marine Mammal Audiograms: A summary of available information. Subacoustech Ltd., Subacoustech Report ref: 534R0214, 278 p.

NMFS, 2018. 2018 Revisions to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Department of Commerce, NOAA, NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59, 167 p.

Packard, A., Karlsen, H. E. & Sand, O., 1990. Low frequency hearing in cephalopods. *Journal of Comparative Physiology A* **166** (4), 501-505.

Popper, A. N., Hawkins, A. D., Fay, R. R., Mann, D. A., Bartol, S., Carlson, T. J., Coombs, S., Ellison, W. T., Gentry, R. L., Halvorsen, M. B., Løkkeborg, S., Rogers, P. H., Southall, B. L., Zeddies, D. G. & Tavalga, W. N., 2014. Sound Exposure Guidelines for Fishes and Sea Turtles: A Technical Report prepared by ANSI-Accredited Standards Committee S3/SC1 and registered with ANSI. Springer International Publishing, 73 p.

Richardson, W. J., Greene, C. R. J., Malme, C. I. & Thomson, D. H., 1995. *Marine Mammals and Noise*. Academic Press, San Diego, 576 p.

Robinson, S. P., Theobald, P. D., Hayman, G., Wang, L. S., Lepper, P. A., Humphrey, V. & Mumford, S., 2011. Measurement of noise arising from marine aggregate dredging operations. Marine Aggregate Levy Sustainability Fund (MALSF), MEPF Ref no. 09/P108, 144 p.

Southall, B. L., Finneran, J. J., Reichmuth, C., Nachtigall, P. E., Ketten, D. R., Bowles, A. E., Ellison, W. T., Nowacek, D. P. & Tyack, P. L., 2019. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. *Aquatic Mammals* **45** (2), 125-232.

Tubelli, A. A., Zosuls, A., Ketten, D. R., Yamato, M. & Mountain, D. C., 2012. A prediction of the minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) middle-ear transfer function. *The Journal of the Acoustical Society of America* **132** (5), 3263-3272.

Tyack, P. L., 2008. Implications for Marine Mammals of Large-Scale Changes in the Marine Acoustic Environment. *Journal of Mammalogy* **89** (3), 549-558.

Urick, R. J., 1984. *Ambient noise in the sea*. Naval Sea Systems Command, Department of the Navy, Washington, D.C., 20362, 194 p.

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.



## ANNEXES

### ANNEXE 1

Fiches synthèse des 5 points de mesure « référence »

Fiches synthèse des radiales de mesures acoustiques

### ANNEXE 2

Cartes de bruit ambiant sous-marin pour les scénarios acoustiques



## ANNEXE 1

Fiches synthèse des 5 points de mesure « référence »

Fiches synthèse des radiales de mesures acoustiques



(a) S1 du 5 et du 24 février 2020					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Heure	Entre 17h15 et 17h44 (marée montante)	La drague Côtes de Bretagne est en opération de dragage à une distance de 480 mètres au minimum		Leq moyen	125,8
Date	24/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Heure	Entre 09h49 et 10h21 (marée montante)	Perception de 4 barges ostréicoles et d'un navire de plaisance avec HB en transit (CPA à 100 mètres au minimum)		Leq moyen	119,4

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1µPa

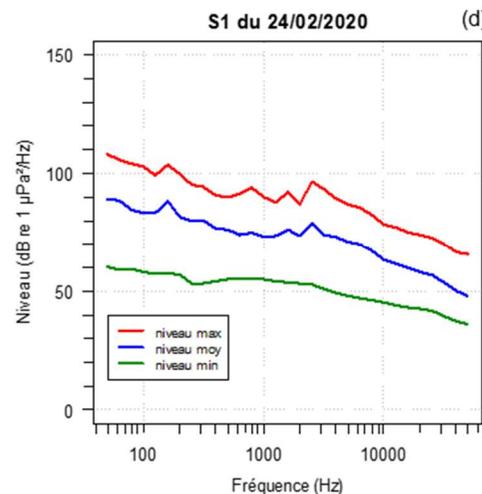
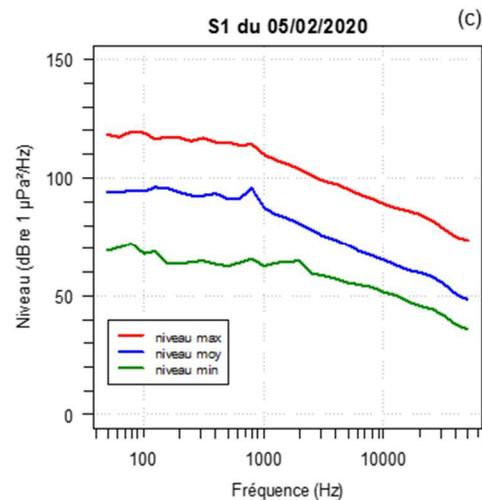
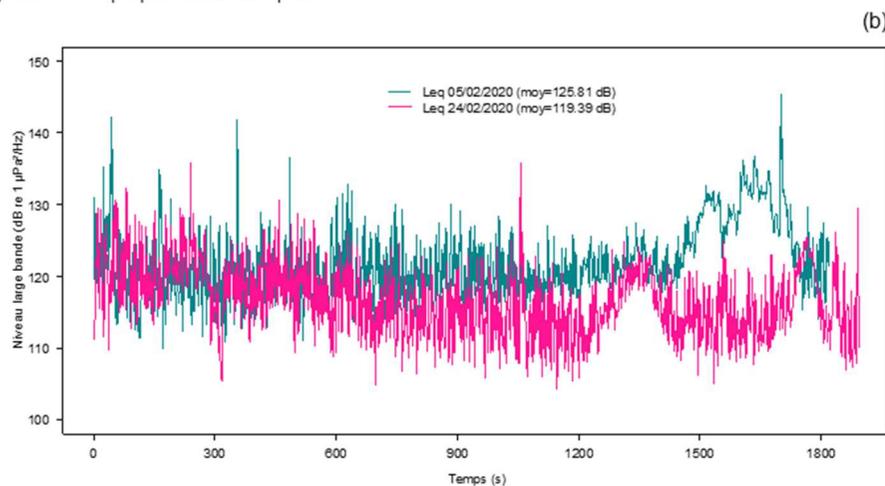


Figure A-A1. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Evolution du Leq lors des mesures. c et d) DSP observées lors des mesures



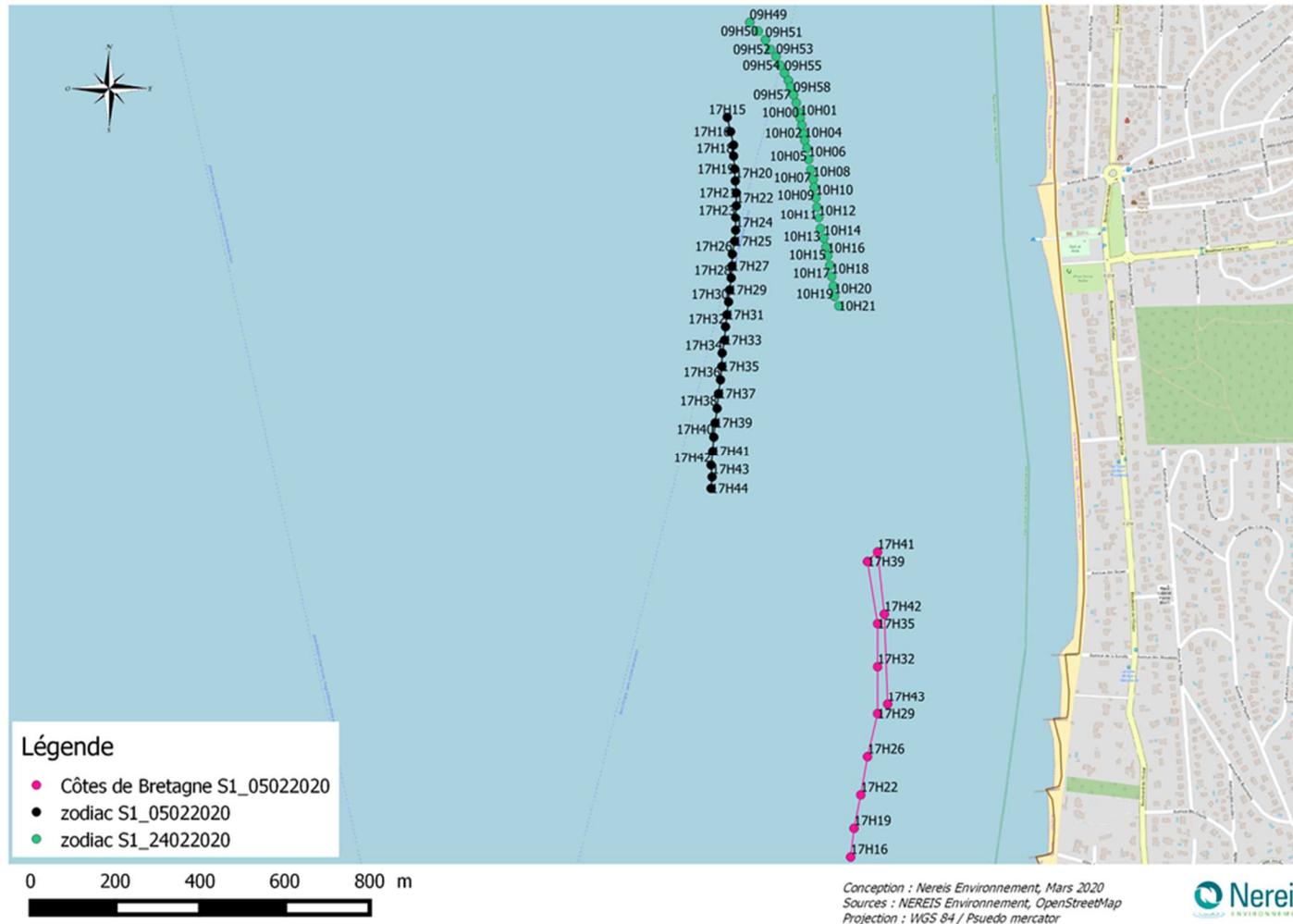


Figure A-A2. Cinématique lors de la mesure acoustique.



S2 du 5 et du 24 février 2020					
Date	05/02/2020	Zone	<b>Pyla-sur-mer</b>	Indicateurs	Niveaux (1)
Heure	Entre 16h37 et 17h09 (marée montante)	La drague Côtes de Bretagne est en opération de dragage à une distance de 959 mètres au minimum		Leq moyen	113,9
Date	24/02/2020	Zone	<b>Pyla-sur-mer</b>	Indicateurs	Niveaux (1)
Heure	Entre 10h30 et 11h00 (marée montante)	Perception de 8 barges ostréicoles en transit, 3 vedettes de plaisance, 1 vedette de gendarmerie, (CPA 200 mètres min)		Leq moyen	118,2

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1 $\mu$ Pa

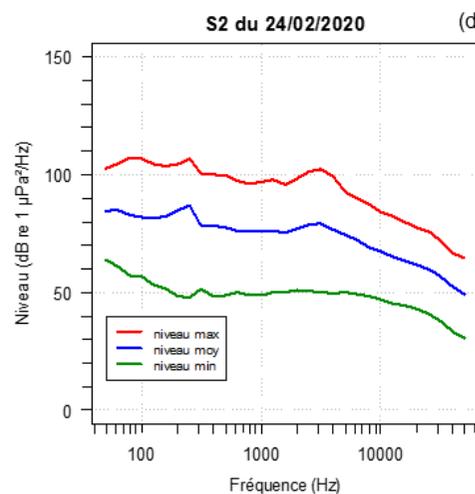
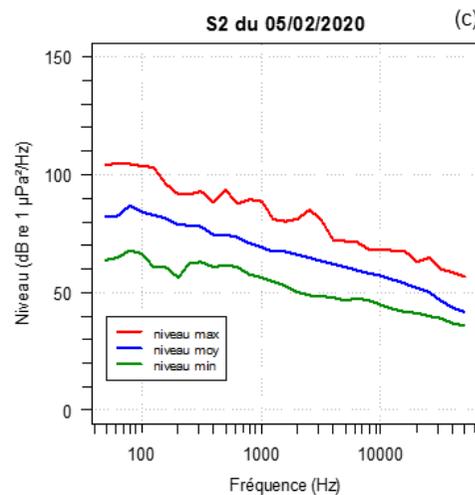
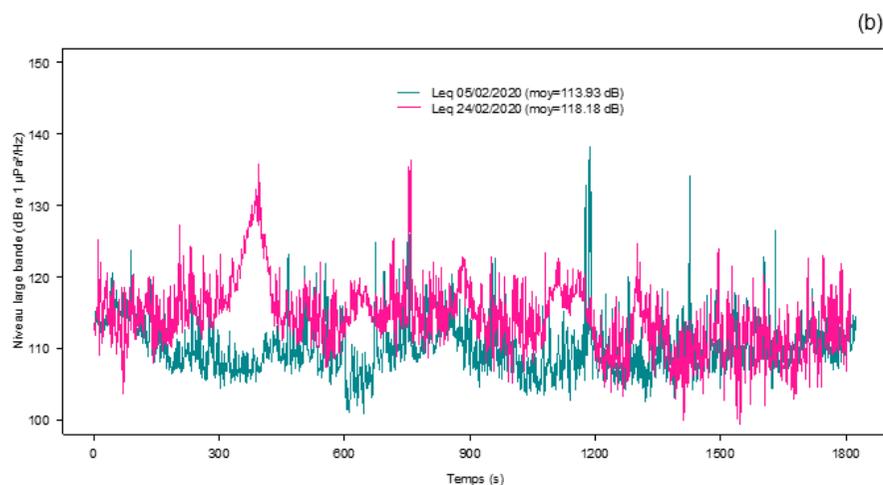


Figure A-A3. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Evolution du Leq lors des mesures. c et d) DSP observées lors des mesures



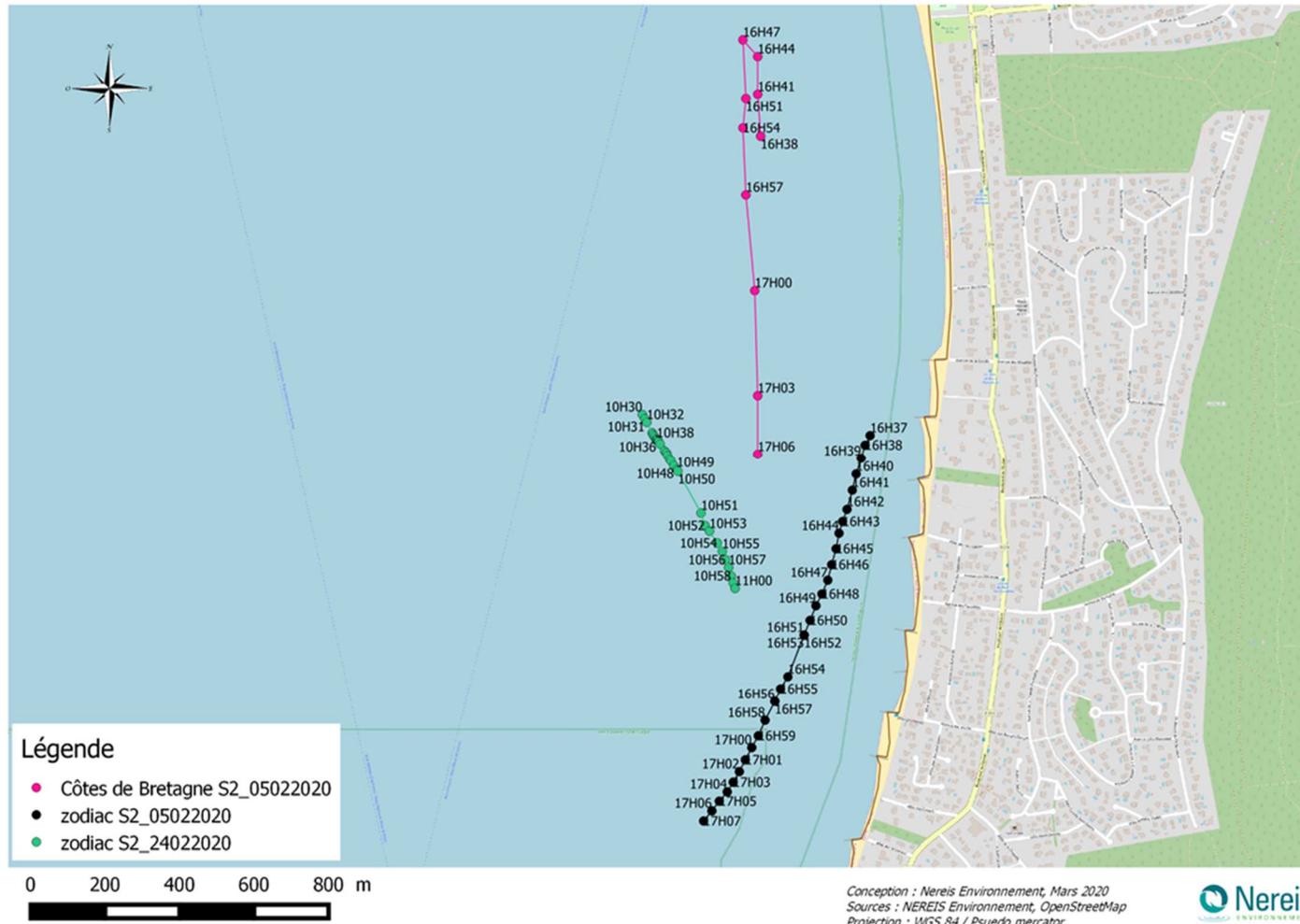


Figure A-A4. Cinématique lors de la mesure acoustique.



(a) **S3 du 5 et du 24 février 2020**

Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Heure	Entre 15h55 et 16h27 (marée montante)	La drague Côtes de Bretagne est en opération de dragage à une distance de 599 mètres au minimum		Leq moyen	120,3
Date	24/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Heure	Entre 11h08 et 11h38 (marée montante)	Perception de 2 barges ostréicoles et 1 navire de pêche, CPA à 200 mètres au minimum		Leq moyen	130,9

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1µPa

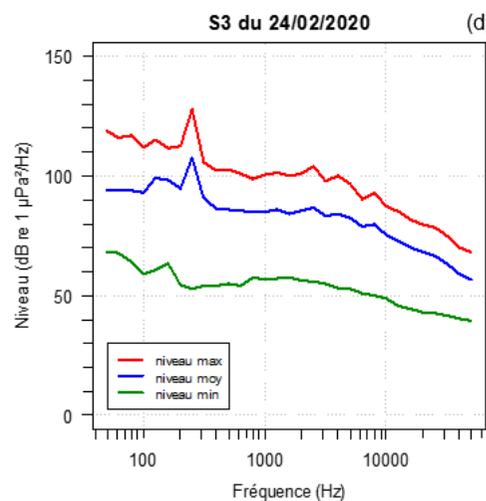
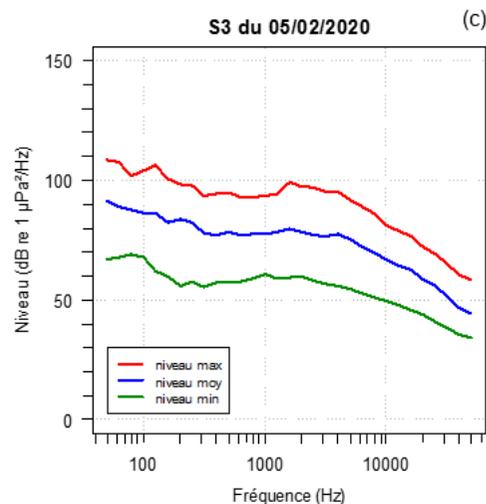
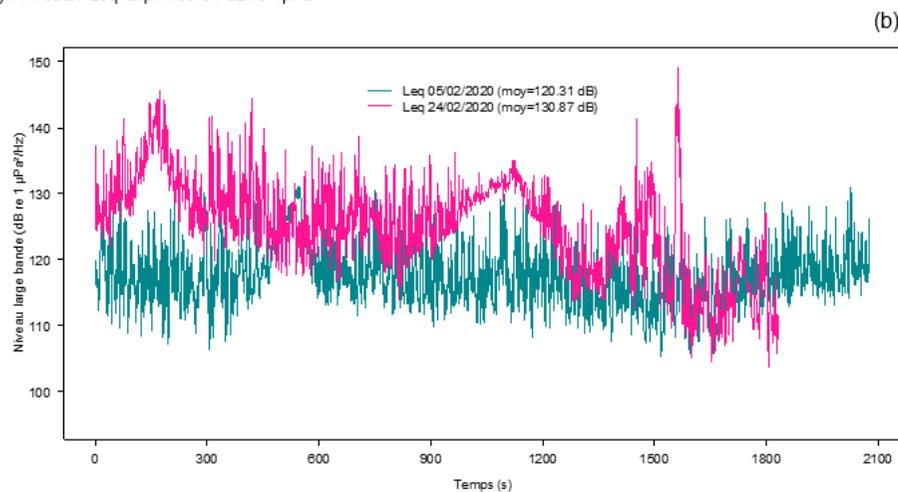


Figure A-A5. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Evolution du Leq lors des mesures. c et d) DSP observées lors des mesures



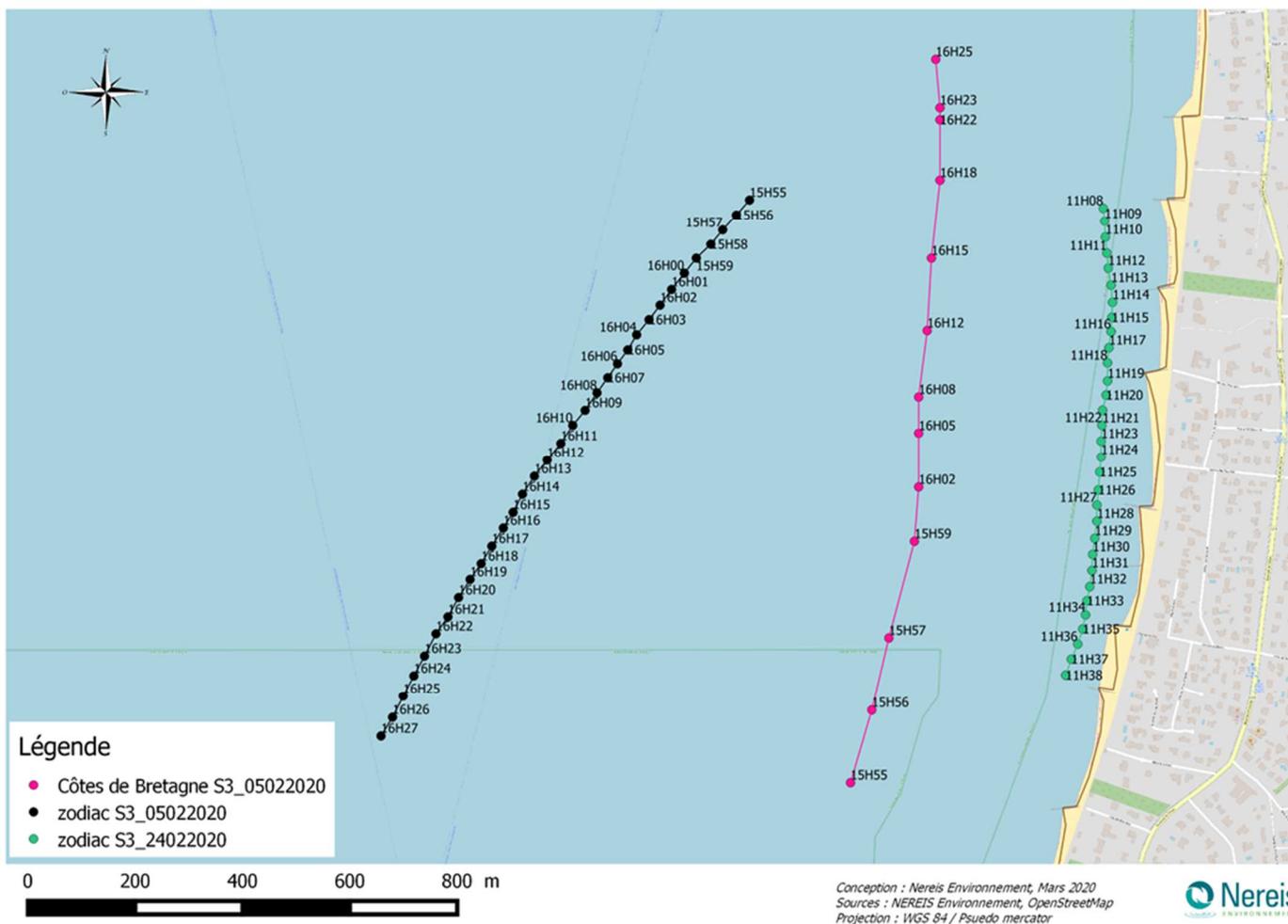


Figure A-A6. Cinématique lors de la mesure acoustique.



(a) S4 du 5 et du 24 février 2020					
Date	05/02/2020	Zone	<b>Pyla-sur-mer</b>	Indicateurs	Niveaux (1)
Heure	Entre 15h16 et 15h47 (marée montante)	La drague Côtes de Bretagne est en opération de réensablement à une distance de 655 mètres au minimum. 2 navires de pêche avec un CPA à 200 mètres		Leq moyen	125,5
Date	24/02/2020	Zone	<b>Pyla-sur-mer</b>	Indicateurs	Niveaux (1)
Heure	Entre 11h46 et 12h16 (étales de pleine mer)	Perception d'un jetski, d'une barge ostréicole et d'un navire de pêche, CPA à 200 mètres au minimum		Leq moyen	125,4

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1 $\mu$ Pa

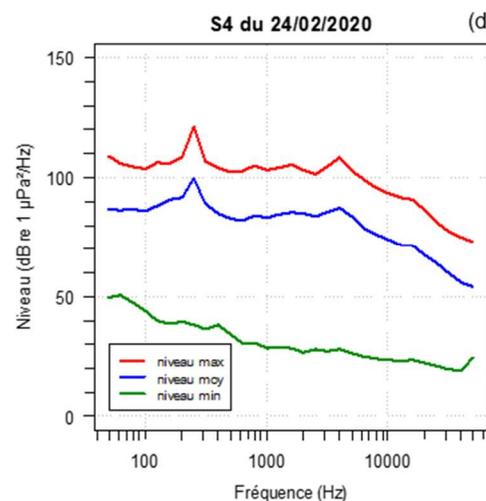
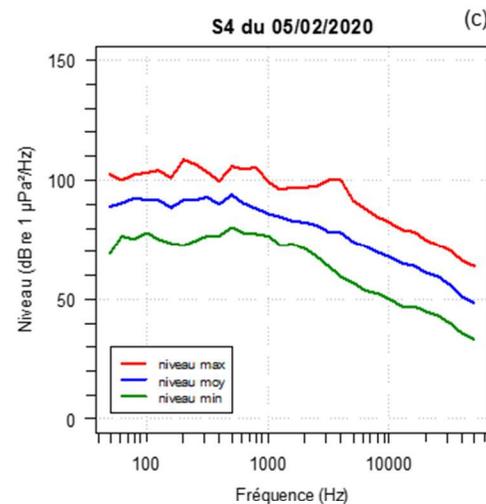
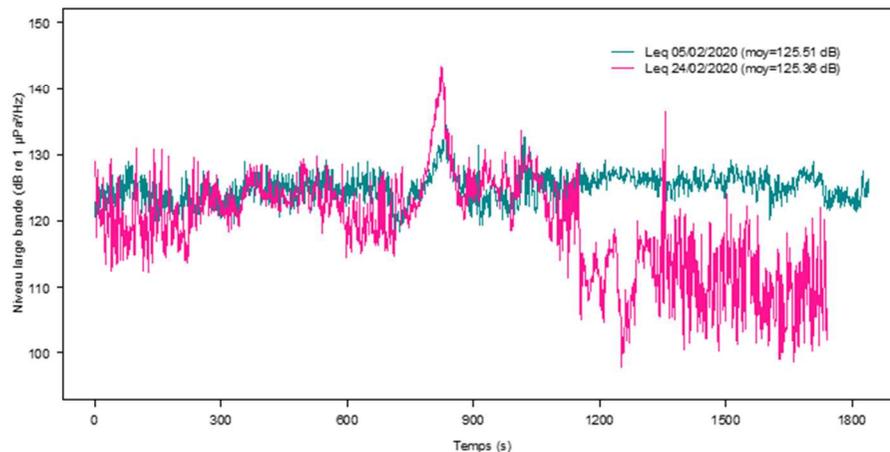


Figure A-A7. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Evolution du Leq lors des mesures. c et d) DSP observées lors des mesures



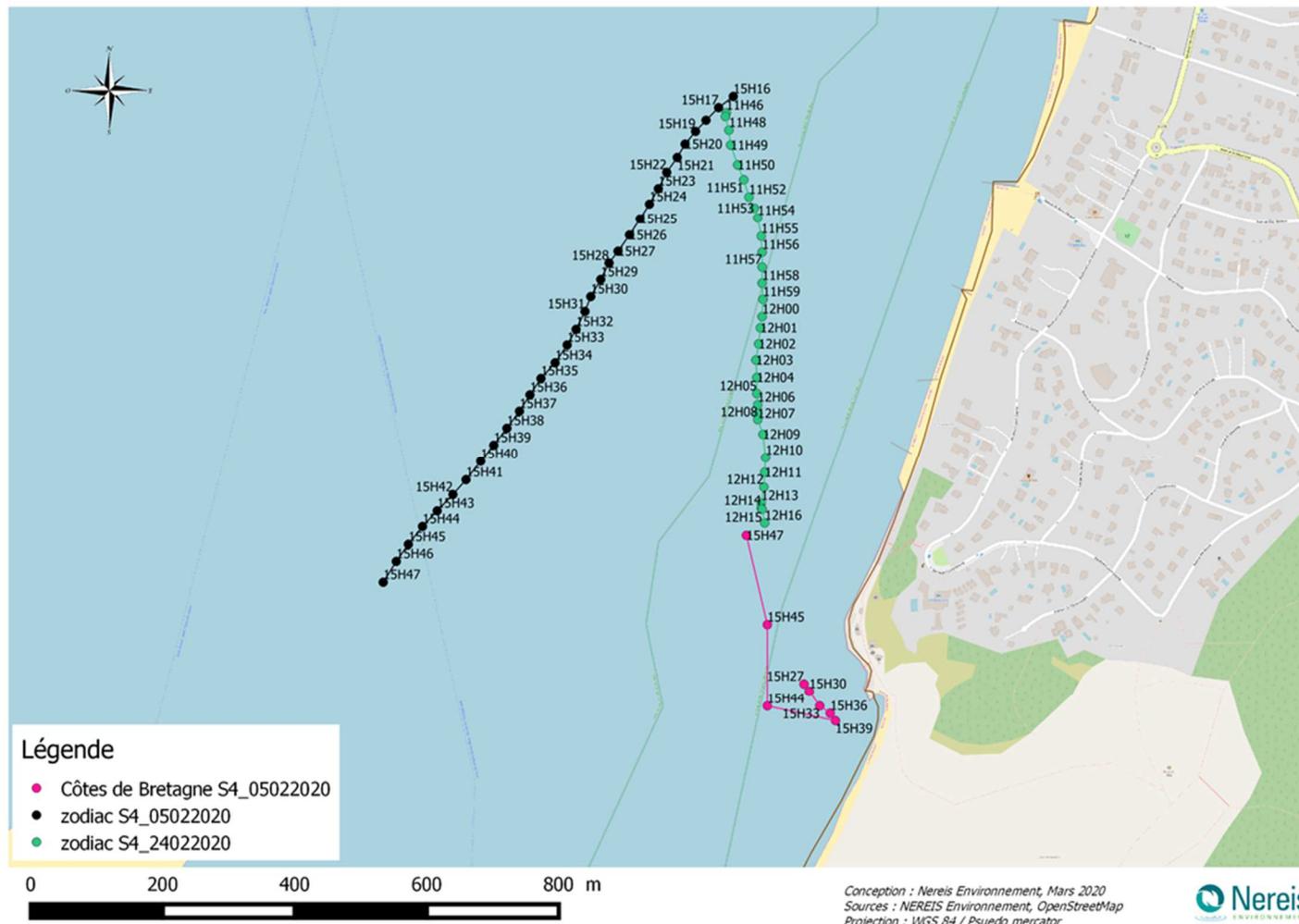


Figure A-A8. Cinématique lors de la mesure acoustique.



(a) **S5 du 5 et du 24 février 2020**

Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Heure	Entre 14h33 et 15h10 (après l'étalement de basse mer)	La drague Côtes de Bretagne est en opération de dragage à une distance de 202 mètres au minimum		Leq moyen	127,3
Date	24/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Heure	Entre 12h20 et 12h44 (étalement de pleine mer)	Perception de 4 barges ostréicoles, CPA de 400 mètres au minimum		Leq moyen	116,6

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1µPa

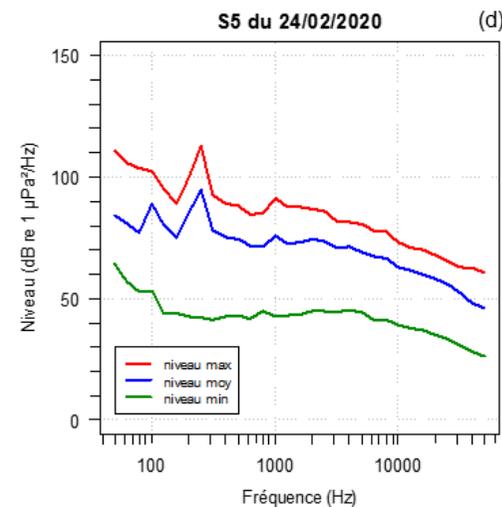
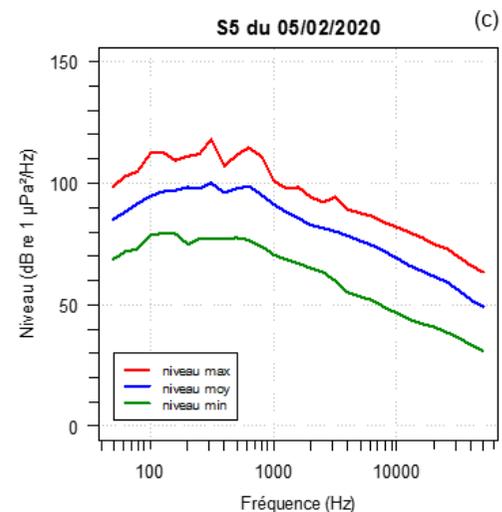
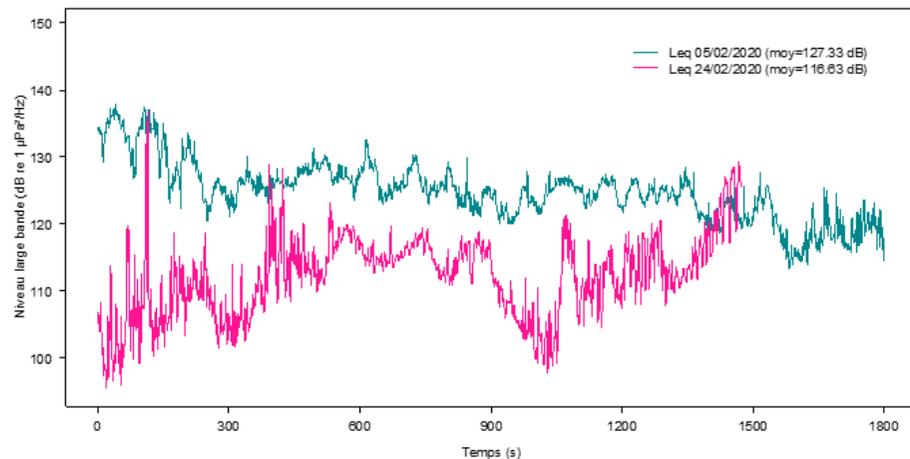


Figure A-A9. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Evolution du Leq lors des mesures. c et d) DSP observées lors des mesures



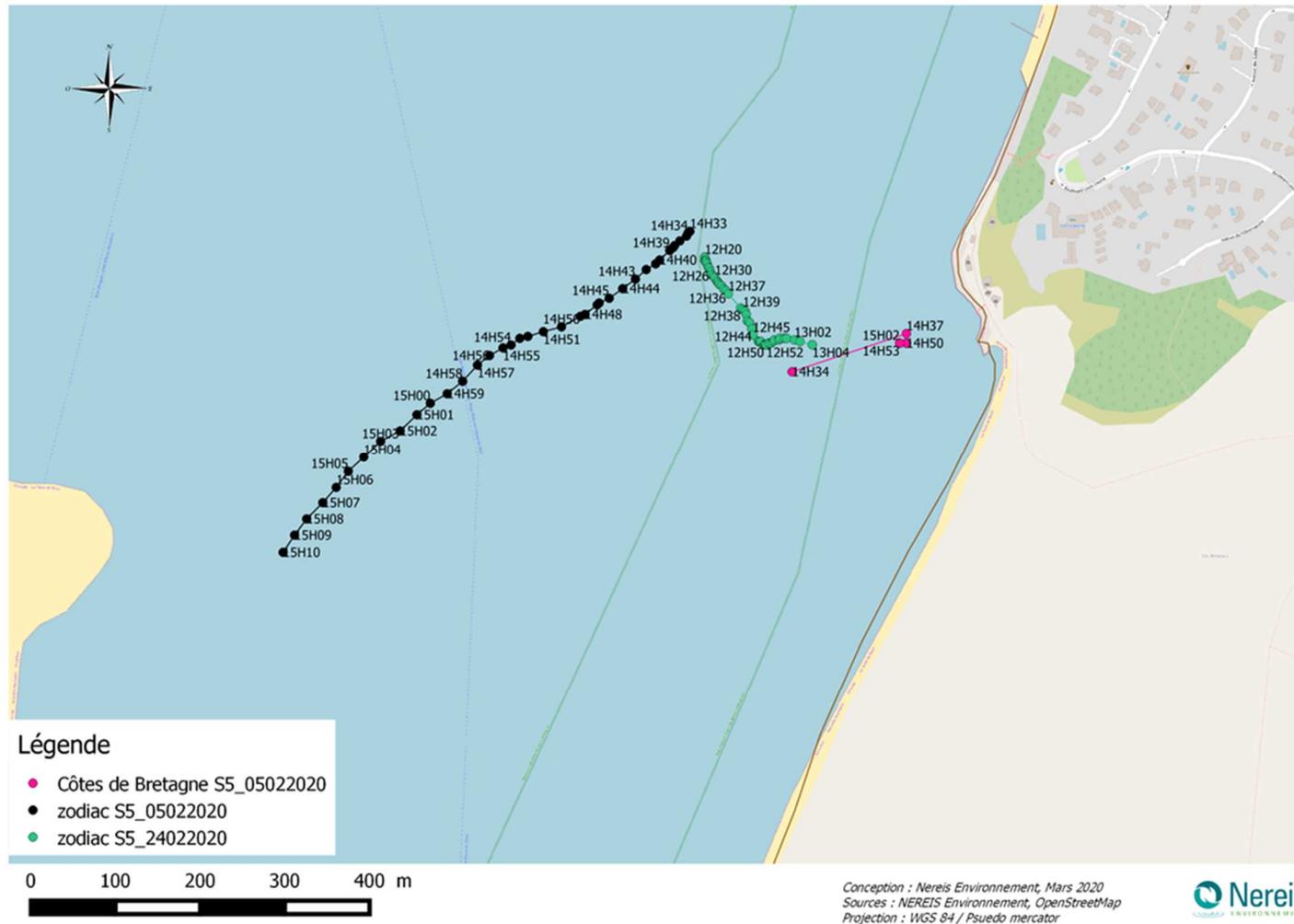


Figure A-A10. Cinématique lors de la mesure acoustique.



(a) DRAGAGE 1 Côte de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Début dragage	08H36	CPA	85 m	Leq min	122,5
				Leq moy	134,5
Fin dragage	08H41	Marée	montante	Leq max	140,6

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1µPa

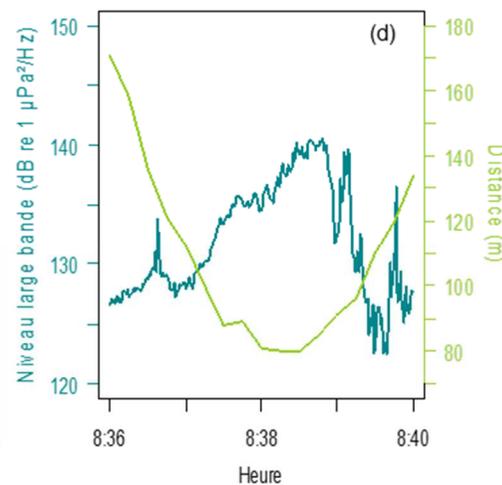
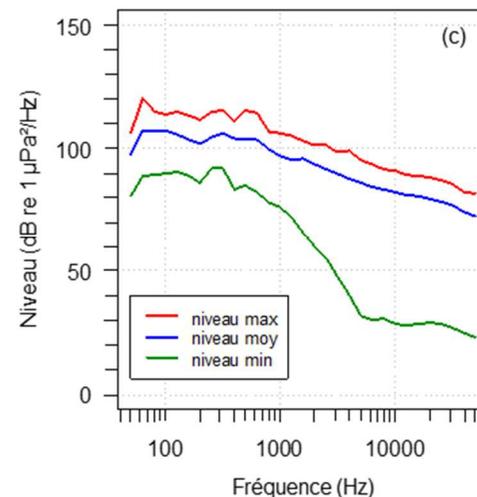


Figure A-A11. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Cinématique lors des mesures. c) DSP observées lors des mesures d) Evolution niveau /distance.



(a) TRANSIT CHARGE 1 Côtes de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Début dragage	08h41	CPA	153 m	Leq min	116,4
				Leq moy	125,2
Fin dragage	08H46	Marée	montante	Leq max	132

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1µPa

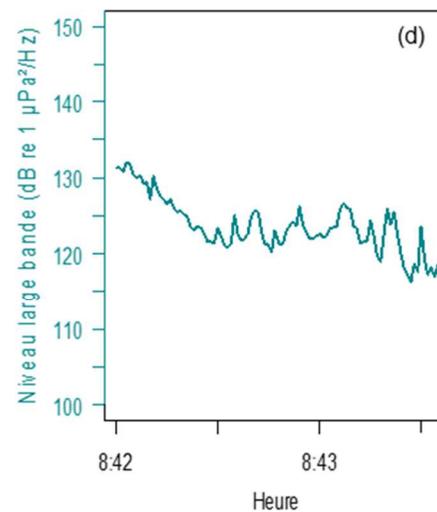
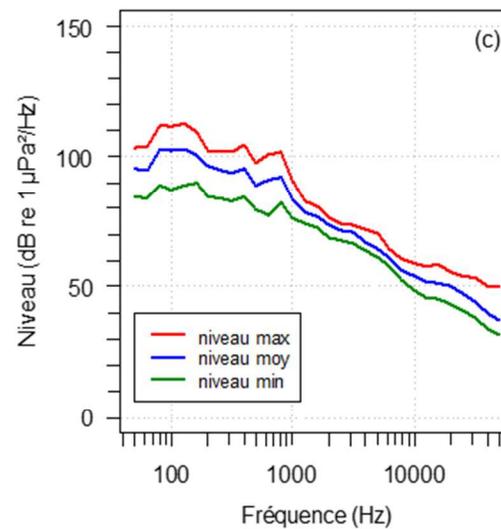


Figure A-A12. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Cinématique lors des mesures. c) DSP observées lors des mesures d) Evolution niveau /distance.

(a) REENSABLEMENT 1 Côtes de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Début dragage	08H50	CPA	77 m	Leq min	115,8
				Leq moy	134
Fin dragage	09H57	Marée	montante	Leq max	144,3

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1µPa

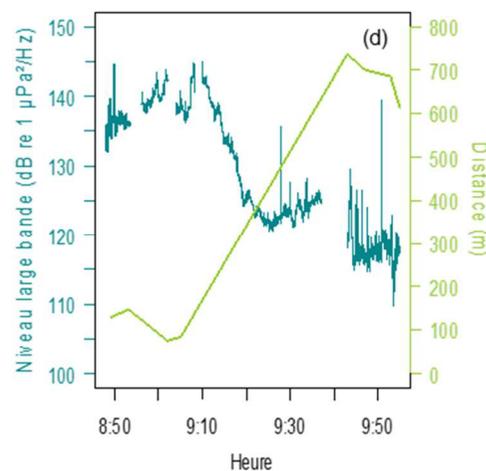
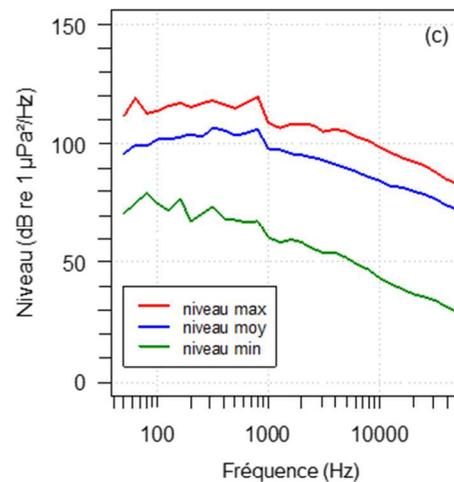


Figure A-A13. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Cinématique lors des mesures. c) DSP observées lors des mesures d) Evolution niveau /distance.

(a) TRANSIT LEGE 1 Côte de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Début dragage	09H58	CPA	562 m	Leq min	116,5
				Leq moy	122
Fin dragage	10H06	Marée	montante	Leq max	126,9

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1 $\mu$ Pa

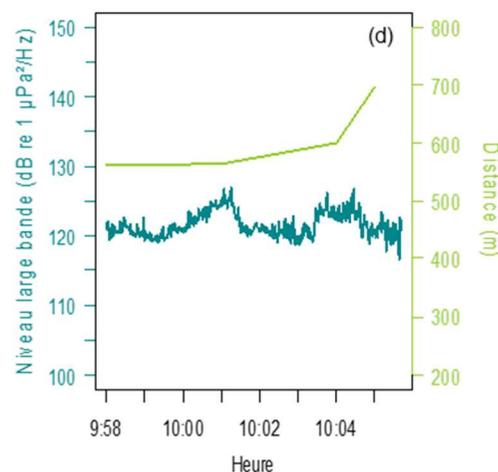
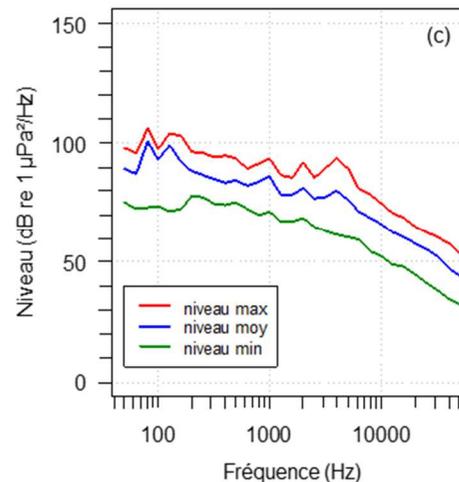


Figure A-A14. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Cinématique lors des mesures. c) DSP observées lors des mesures d) Evolution niveau /distance.

(a) DRAGAGE 2 Côtes de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Début dragage	10H09	CPA	83 m	Leq min	107,2
				Leq moy	129,7
Fin dragage	11H32	Marée	montante	Leq max	141,6

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1µPa

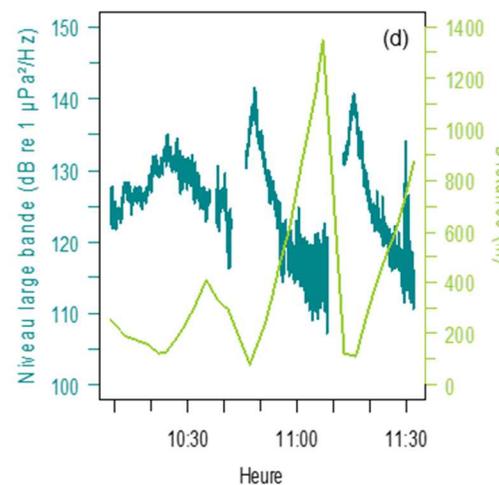
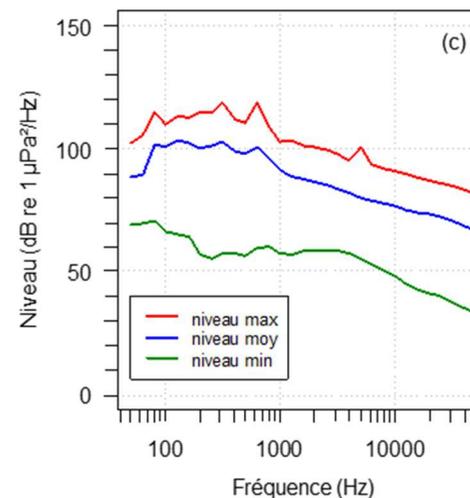


Figure A-A15. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Cinématique lors des mesures. c) DSP observées lors des mesures d) Evolution niveau /distance.

TRANSIT CHARGE 2 Côtes de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	<b>Pyla-sur-mer</b>	Indicateurs	
Début dragage	11H38	CPA	161 m		
Fin dragage	11H39	Marée	montante		

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1µPa

(c)

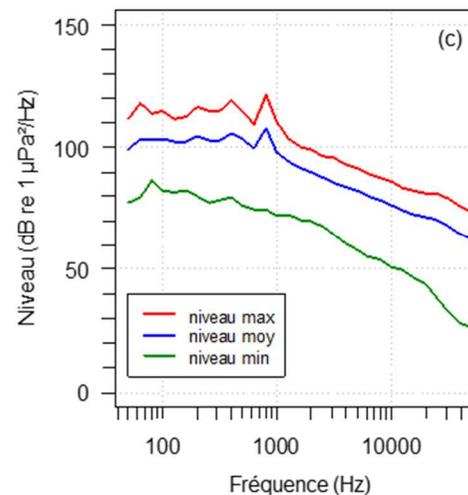


Figure A-A16. Tableau de synthèse de la radiale. Cinématique lors des mesures.



(a) REENSABLEMENT 2 Côtes de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Début dragage	11H41	CPA	104 m	Leq min	115,8
				Leq moy	134
Fin dragage	12H45	Marée	montante	Leq max	144,3

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1 $\mu$ Pa



(c)

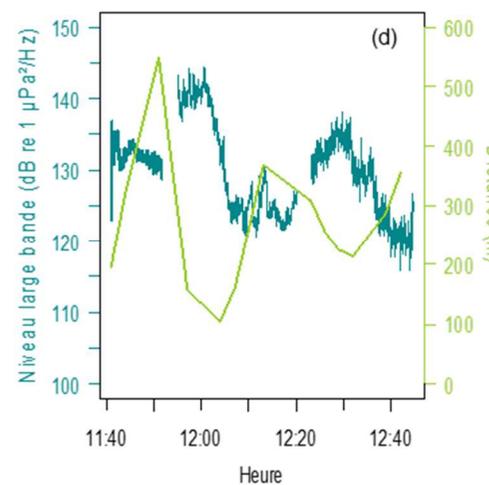


Figure A-A17. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Cinématique lors des mesures. c) DSP observées lors des mesures d) Evolution niveau /distance.



(a) DRAGAGE 3 Côtes de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Début dragage	13H01	CPA	83 m	Leq min	109,8
				Leq moy	125,5
Fin dragage	14H06	Marée	montante	Leq max	136,4

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1 $\mu$ Pa

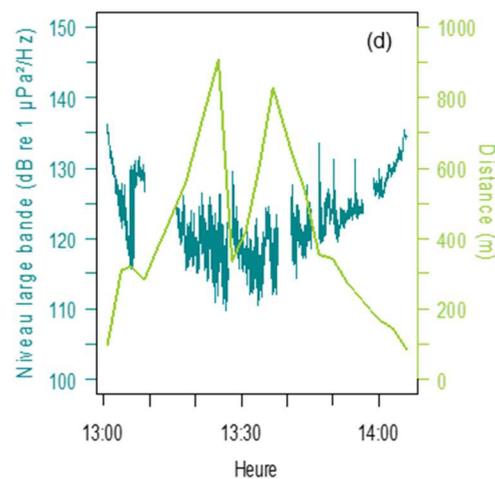
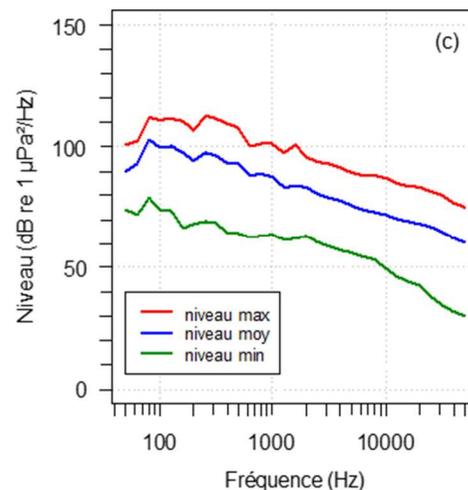


Figure A-A18. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Cinématique lors des mesures. c) DSP observées lors des mesures d) Evolution niveau /distance.

(a) TRANSIT CHARGE 3 Côtes de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Début dragage	14h09	CPA	/	Leq min	130,1
				Leq moy	137,9
Fin dragage	14H32	Marée	Etale PM	Leq max	142,9

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1 $\mu$ Pa

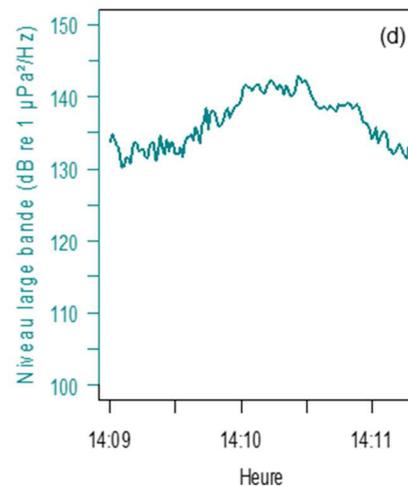
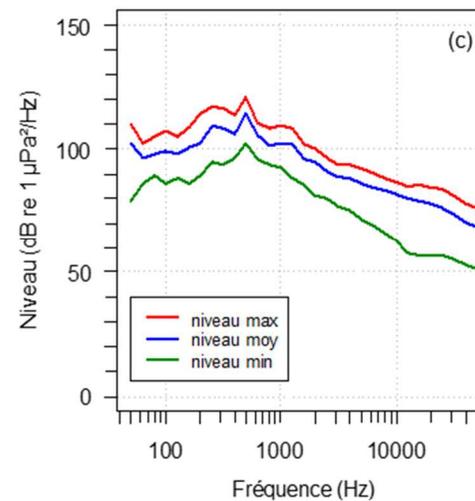


Figure A-A19. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Cinématique lors des mesures. c) DSP observées lors des mesures d) Evolution niveau /distance.

(a) REENSABLEMENT 3 Côtes de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Début dragage	14H34	CPA	203 m	Leq min	110,6
				Leq moy	126,1
Fin dragage	15H39	Marée	descendante	Leq max	137,9

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1 $\mu$ Pa

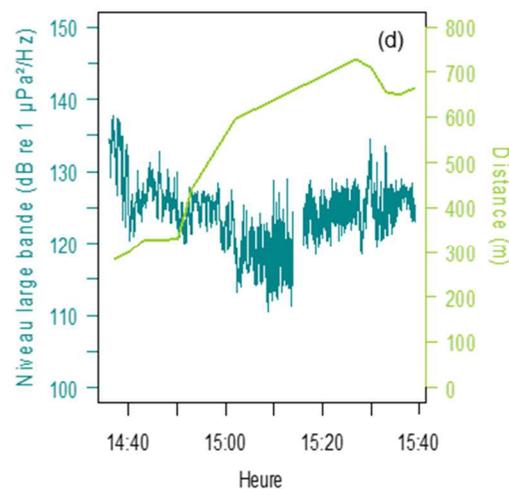
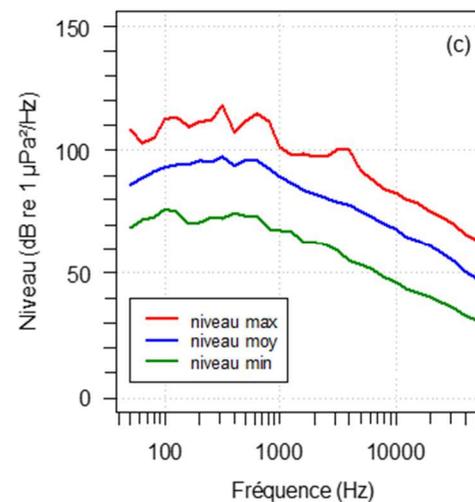


Figure A-A20. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Cinématique lors des mesures. c) DSP observées lors des mesures d) Evolution niveau /distance.

(a) TRANSIT LEGE 3 Côtes de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Début dragage	15H44	CPA	560 m	Leq min	121,2
				Leq moy	125
Fin dragage	15H45	Marée	descendante	Leq max	129

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1 $\mu$ Pa

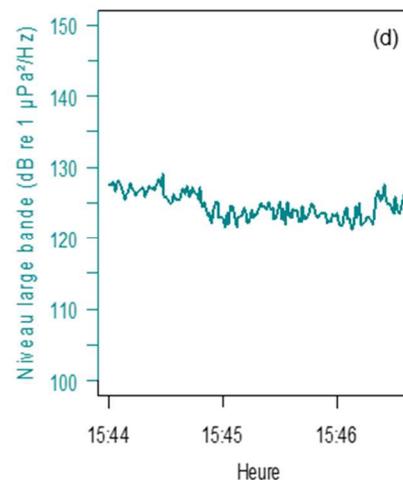
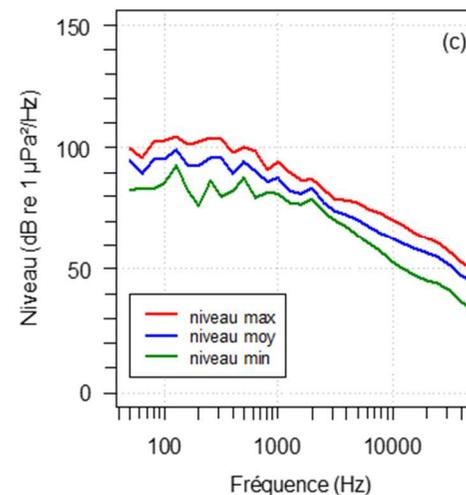


Figure A-A21. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Cinématique lors des mesures. c) DSP observées lors des mesures d) Evolution niveau /distance.

(a) DRAGAGE 4 Côtes de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Début dragage	15H47	CPA	330 m	Leq min	100,8
				Leq moy	120,1
Fin dragage	17H39	Marée	descendante	Leq max	142,3

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1 $\mu$ Pa

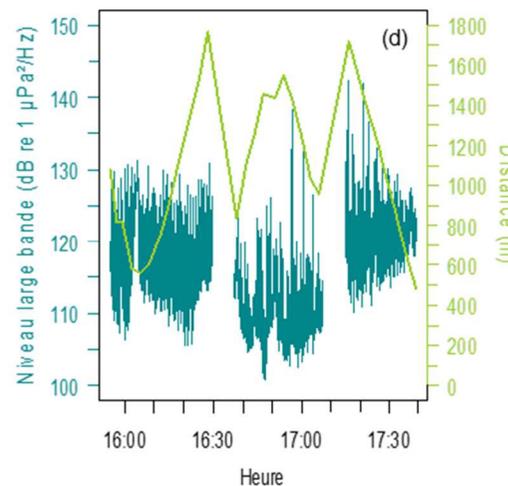
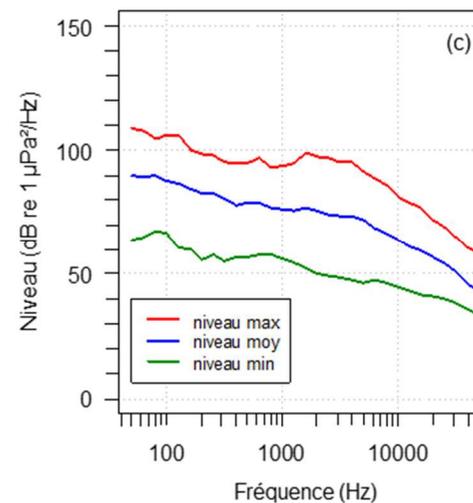


Figure A-A22. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Cinématique lors des mesures. c) DSP observées lors des mesures d) Evolution niveau /distance.



(a) TRANSIT CHARGE 4 Côtes de Bretagne					
Date	05/02/2020	Zone	Pyla-sur-mer	Indicateurs	Niveaux (1)
Début dragage	17H41	CPA	454 m	Leq min	114
				Leq moy	130,4
Fin dragage	17H43	Marée	descendante	Leq max	145,5

(1) : Niveaux Leq exprimés en dB re 1µPa

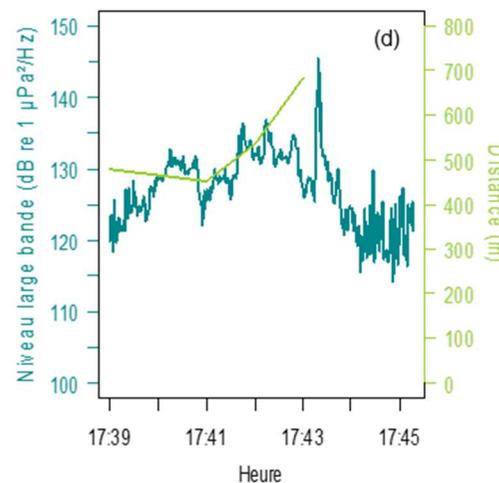
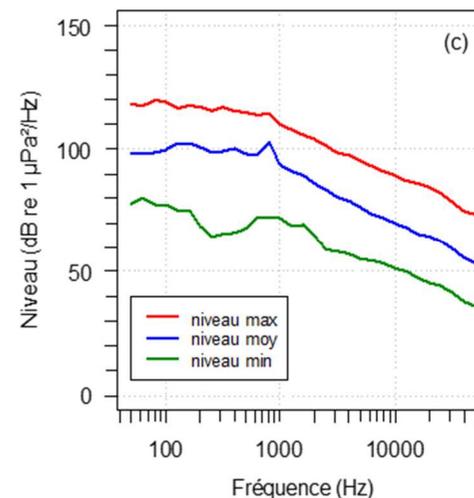
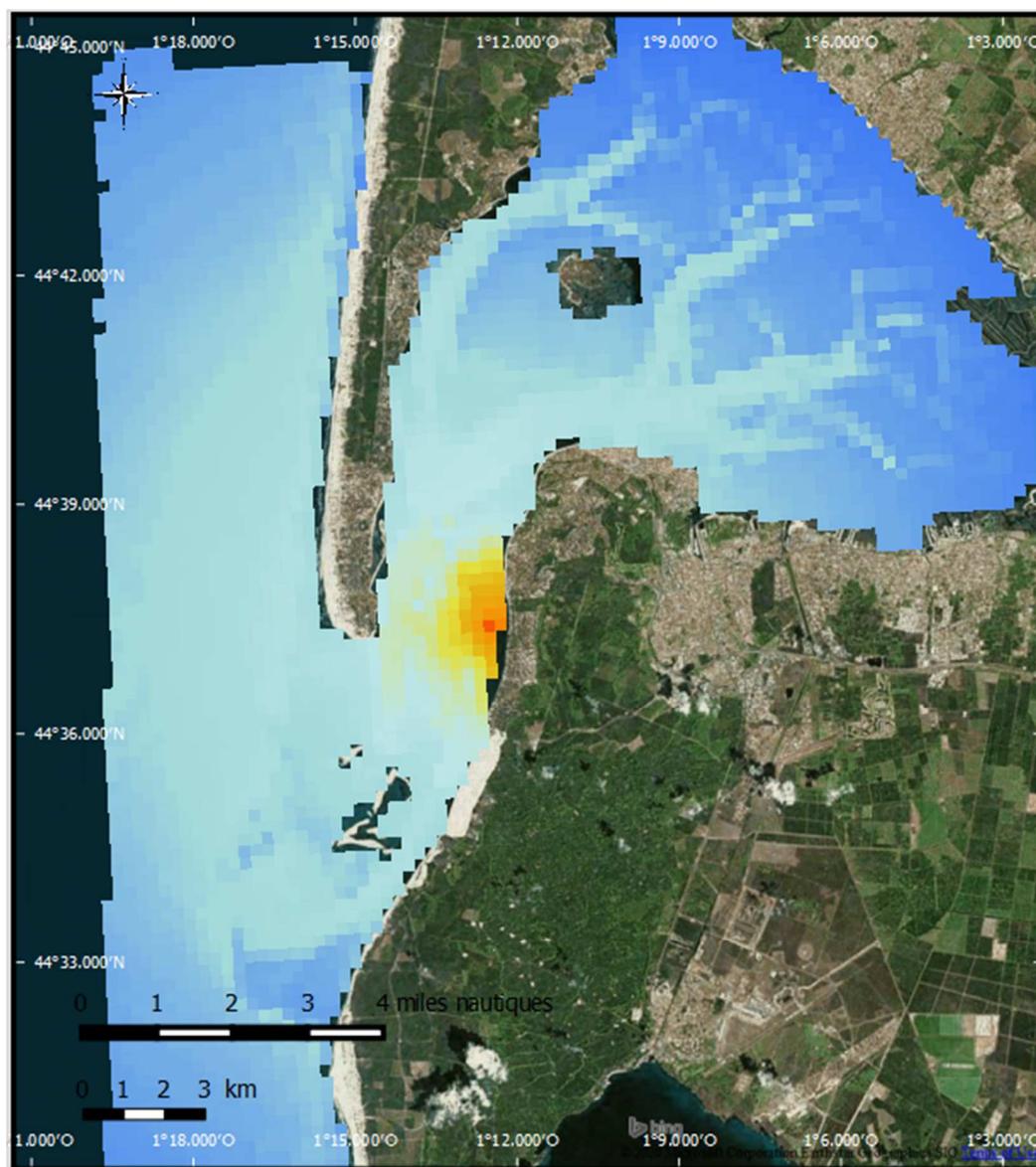


Figure A-A23. a) Tableau de synthèse de la radiale. b) Cinématique lors des mesures. c) DSP observées lors des mesures d) Evolution niveau /distance.

## ANNEXE 2

Cartes de bruit ambiant sous-marin pour les scénarios acoustiques





Carte de bruit ambiant sous-marin en dB SEL pondéré (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) correspondant au groupe d'audition LF

Phase de dragage3 / Côtes de Bretagne

Scénario :  
Phase de dragage3 - Côtes de Bretagne  
SELcum 208,3 dB re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$  @1m  
Trafic faible / mer 0 / niveau N0+3,5 m  
Bande passante 10 Hz - 50 kHz

### Légende

Niveau en dB SEL (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) pondéré

100 dBSEL	- Niveau SEL non perçu par l'animal
110 dBSEL	
120 dBSEL	- Niveau SEL ne générant pas de réaction comportementale
130 dBSEL	
140 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une réaction comportementale
150 dBSEL	
179 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition temporaire
199 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition permanente

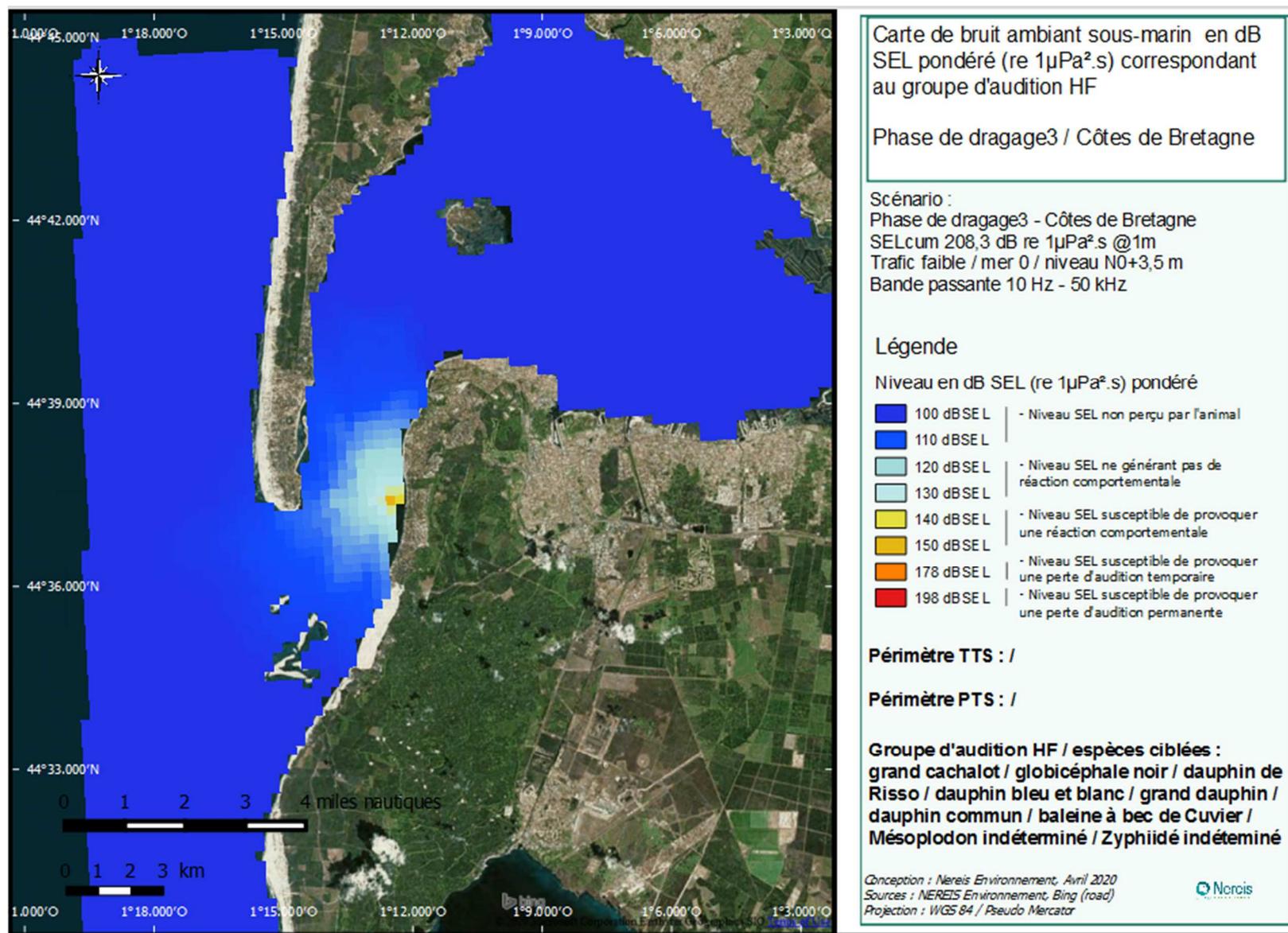
Périmètre TTS : 90 mètres

Périmètre PTS : 10 mètres

Groupe d'audition LF / famille ciblée :  
**Balaenopteridae (rorquals)**

Conception : Nereis Environnement, Avril 2020  
Sources : NEREIS Environnement, Bing (road)  
Projection : WGS 84 / Pseudo Mercator







Carte de bruit ambiant sous-marin en dB SEL pondéré (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) correspondant au groupe d'audition VHF

Phase de dragage3 / Côtes de Bretagne

Scénario :  
Phase de dragage3 - Côtes de Bretagne  
SELcum 208,3 dB re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$  @1m  
Trafic faible / mer 0 / niveau N0+3,5 m  
Bande passante 10 Hz - 50 kHz

### Légende

Niveau en dB SEL (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) pondéré

80 dBSEL	- Niveau SEL non perçu par l'animal
90 dBSEL	
100 dBSEL	- Niveau SEL ne générant pas de réaction comportementale
110 dBSEL	
120 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une réaction comportementale
130 dBSEL	
153 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition temporaire
173 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition permanente

Périmètre TTS : 30 mètres

Périmètre PTS : /

Groupe d'audition VHF / espèces ciblées :  
marsouin commun / cachalot pygmée

Conception : Nereis Environnement, Avril 2020  
Sources : NEREIS Environnement, Bing (road)  
Projection : WGS 84 / Pseudo Mercator





Carte de bruit ambiant sous-marin en dB SEL pondéré (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) correspondant au groupe d'audition PCW

Phase de dragage3 / Côtes de Bretagne

Scénario :  
Phase de dragage3 - Côtes de Bretagne  
SELcum 208,3 dB re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$  @1m  
Trafic faible / mer 0 / niveau N0+3,5 m  
Bande passante 10 Hz - 50 kHz

### Légende

Niveau en dB SEL (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) pondéré

110 dBSEL	- Niveau SEL non perçu par l'animal
120 dBSEL	- Niveau SEL ne générant pas de réaction comportementale
130 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une réaction comportementale
140 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition temporaire
150 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition permanente
160 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition temporaire
181 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition permanente
201 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition permanente

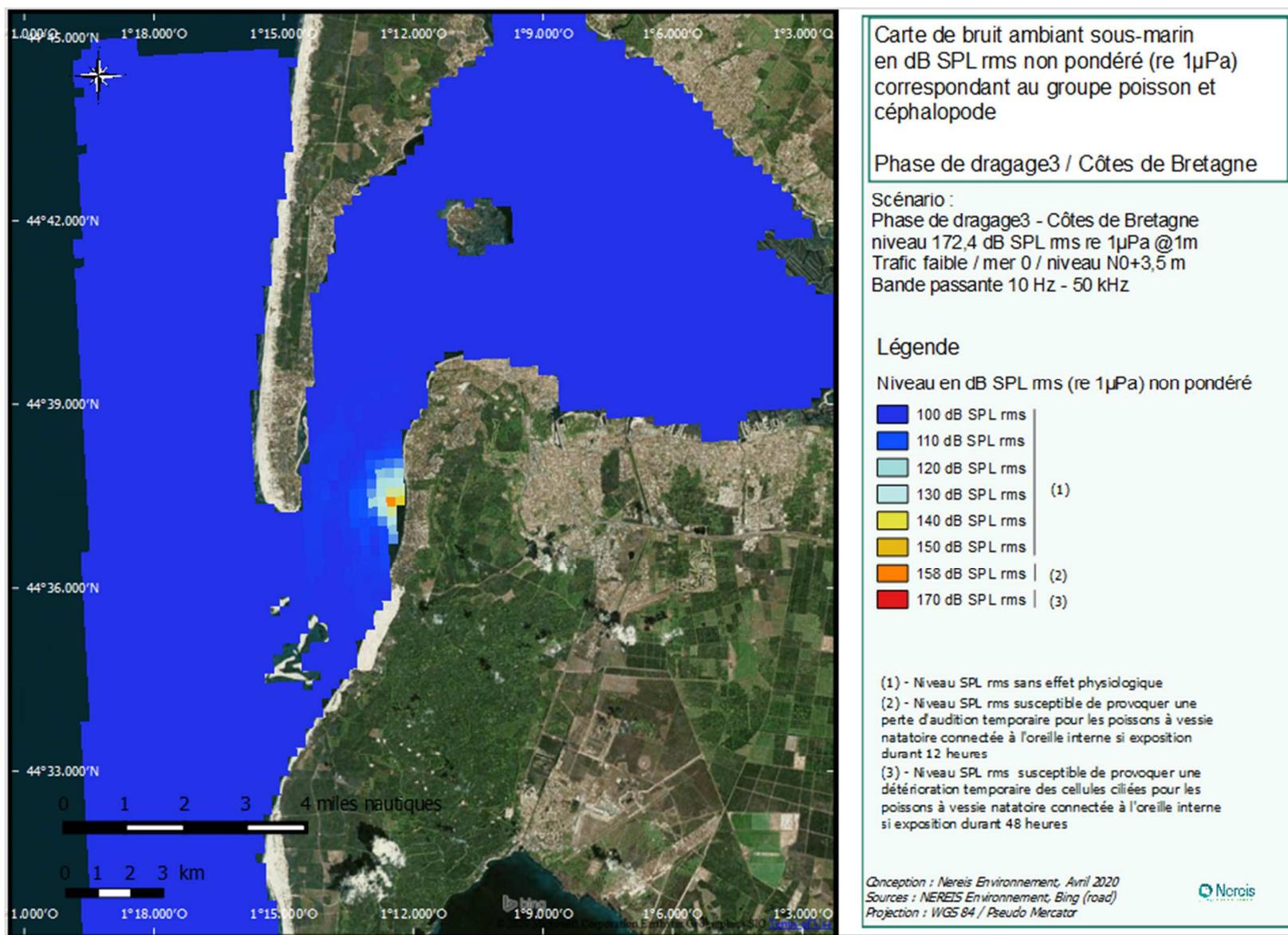
Périmètre TTS : 25 mètres

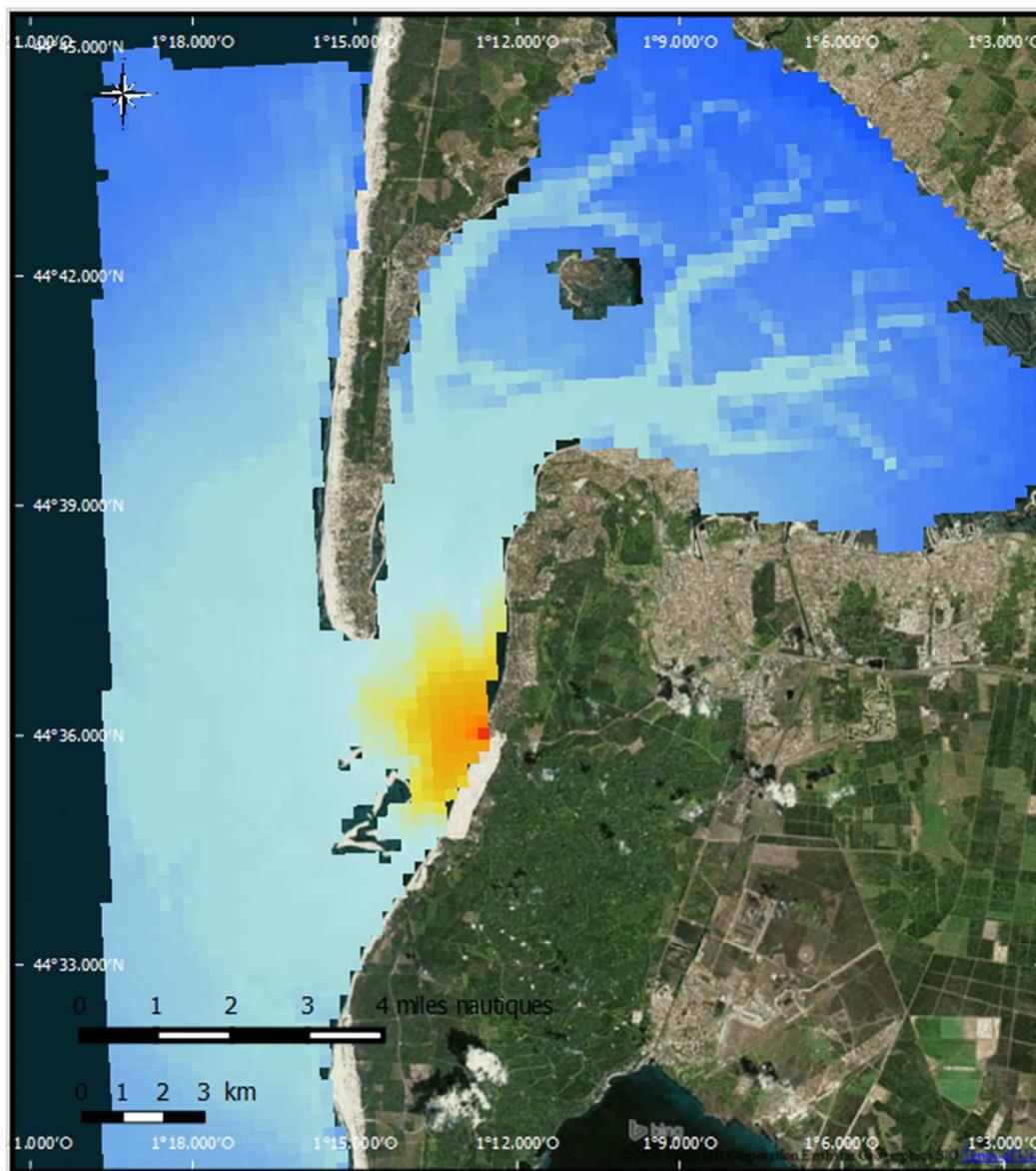
Périmètre PTS : /

Groupe d'audition PCW / espèces ciblées :  
phoque gris / phoque veau marin

Conception : Nereis Environnement, Avril 2020  
Sources : NEREIS Environnement, Bing (road)  
Projection : WGS 84 / Pseudo Mercator







Carte de bruit ambiant sous-marin en dB SEL pondéré (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) correspondant au groupe d'audition LF

Phase de rainbowing3 / Côtes de Bretagne

Scénario :

Phase de rainbowing3 - Côtes de Bretagne

SELcum 214,5 dB re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$  @1m

Trafic faible / mer 0 / niveau N0+3,5 m

Bande passante 10 Hz - 50 kHz

### Légende

Niveau en dB SEL (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) pondéré

100 dBSEL	- Niveau SEL non perçu par l'animal
110 dBSEL	
120 dBSEL	- Niveau SEL ne générant pas de réaction comportementale
130 dBSEL	
140 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une réaction comportementale
150 dBSEL	
179 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition temporaire
199 dBSEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition permanente

Périmètre TTS : 180 mètres

Périmètre PTS : 20 mètres

Groupe d'audition LF / famille ciblée :  
Balaenopteridae (rorquals)

Conception : Nereis Environnement, Avril 2020  
Sources : NEREIS Environnement, Bing (road)  
Projection : WGS 84 / Pseudo Mercator





Carte de bruit ambiant sous-marin en dB SEL pondéré (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) correspondant au groupe d'audition HF

Phase de rainbowing3 / Côtes de Bretagne

Scénario :  
Phase de rainbowing3 - Côtes de Bretagne  
SELcum 214,5 dB re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$  @1m  
Trafic faible / mer 0 / niveau N0+3,5 m  
Bande passante 10 Hz - 50 kHz

### Légende

Niveau en dB SEL (re  $1\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$ ) pondéré

100 dB SEL	- Niveau SEL non perçu par l'animal
110 dB SEL	
120 dB SEL	- Niveau SEL ne générant pas de réaction comportementale
130 dB SEL	
140 dB SEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une réaction comportementale
150 dB SEL	
178 dB SEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition temporaire
198 dB SEL	- Niveau SEL susceptible de provoquer une perte d'audition permanente

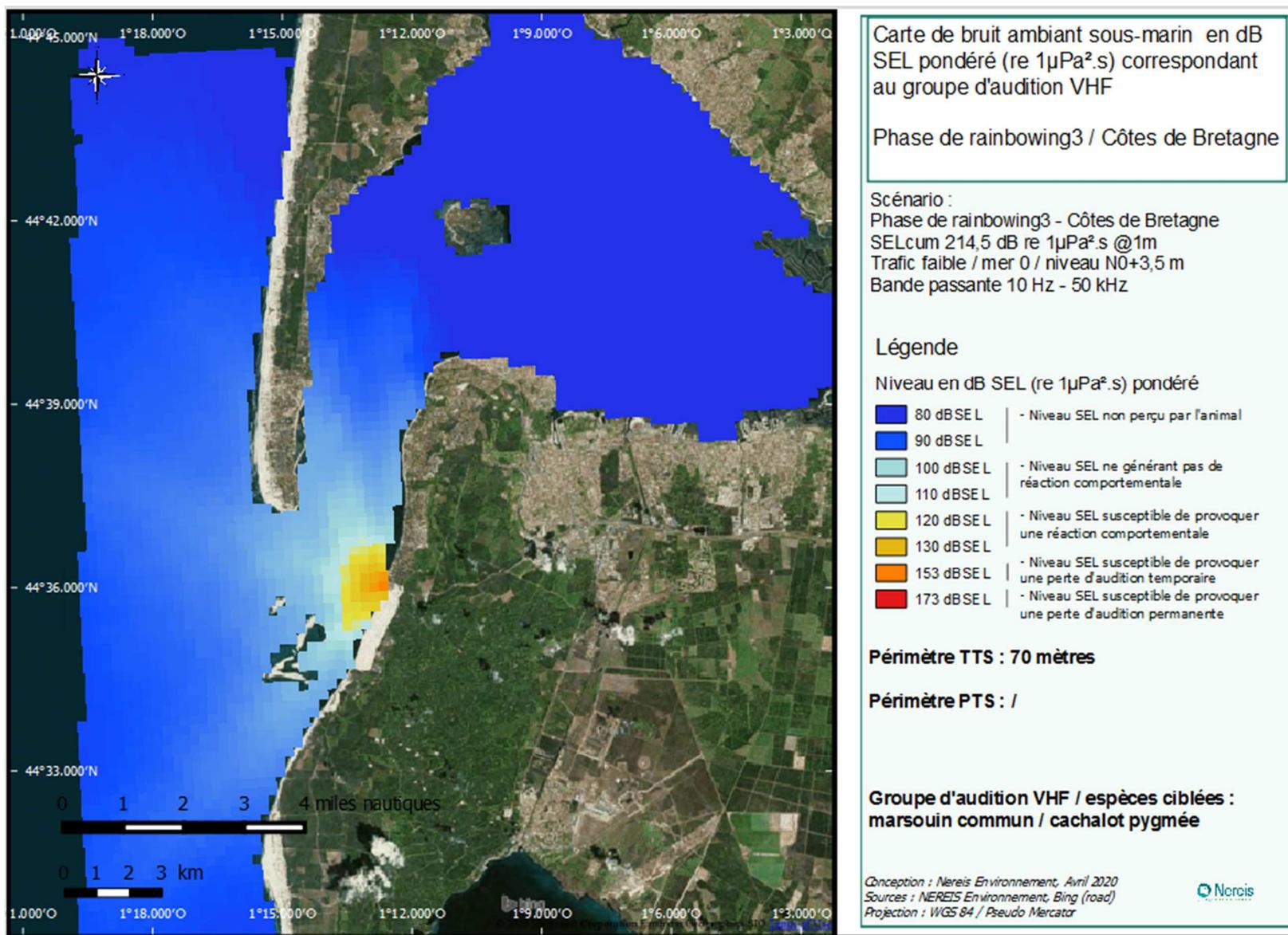
Périmètre TTS : /

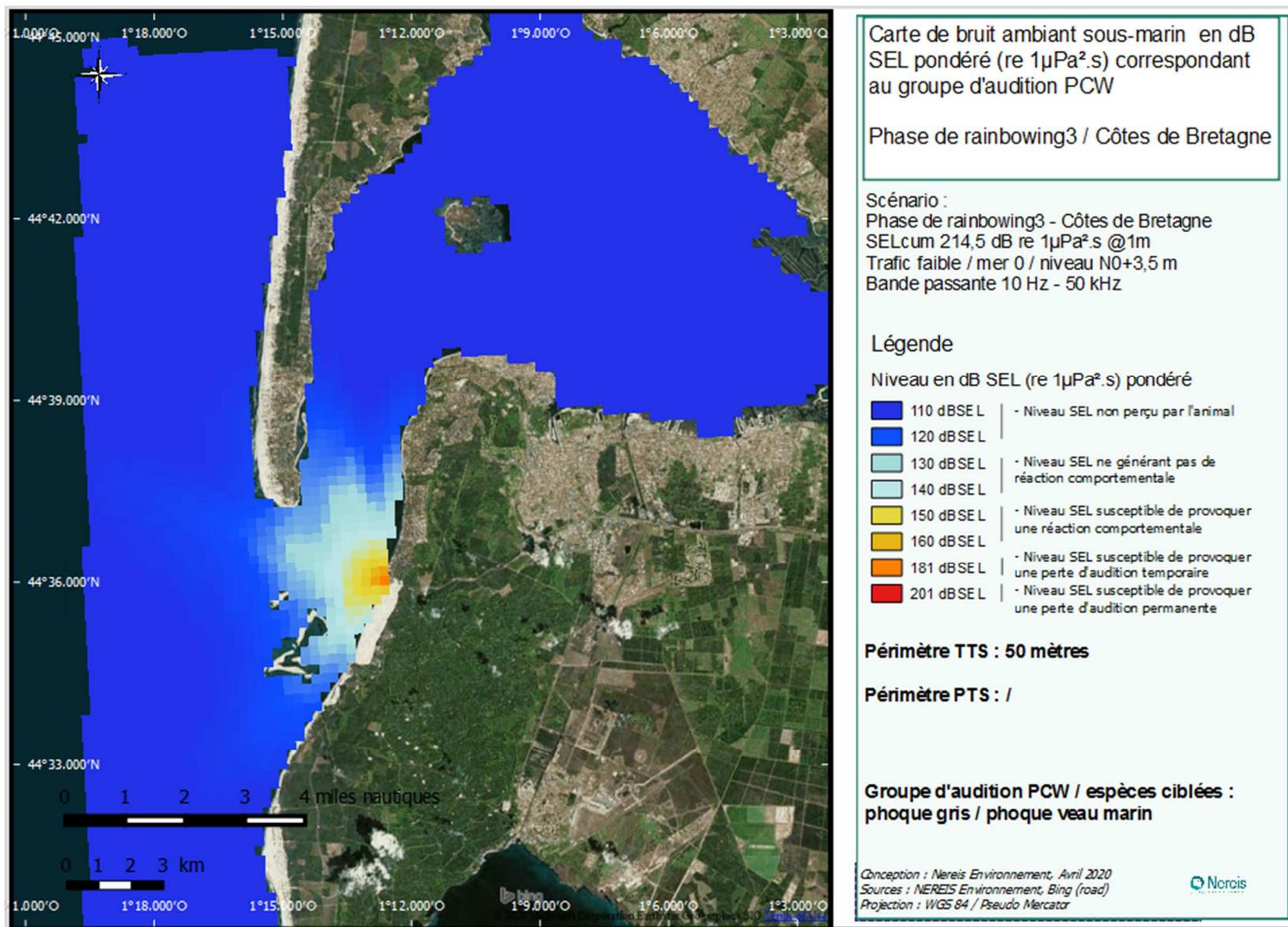
Périmètre PTS : /

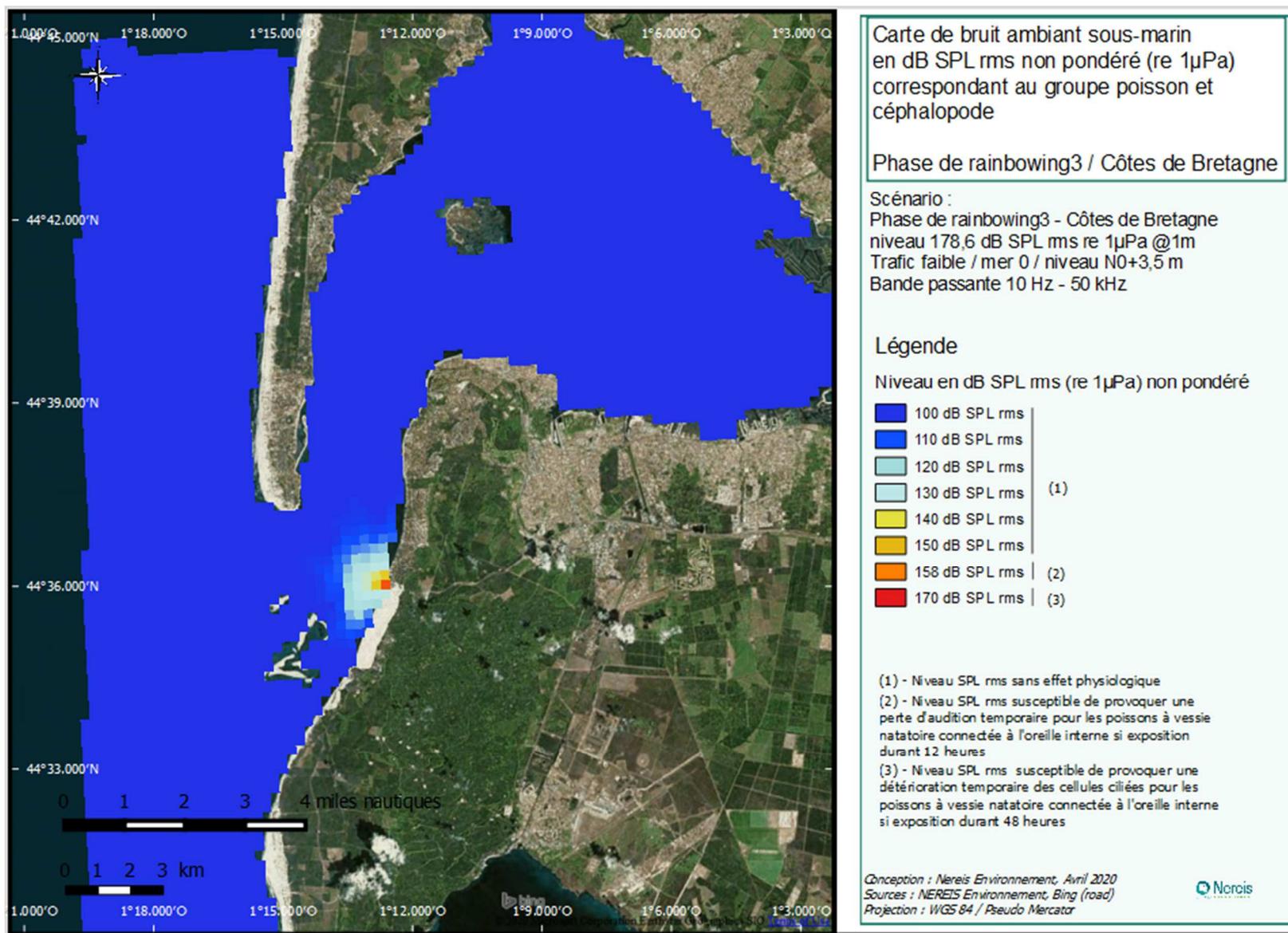
Groupe d'audition HF / espèces ciblées :  
grand cachalot / globicéphale noir / dauphin de Risso / dauphin bleu et blanc / grand dauphin / dauphin commun / baleine à bec de Cuvier / Mésoplodon indéterminé / Zyphiid indéterminé

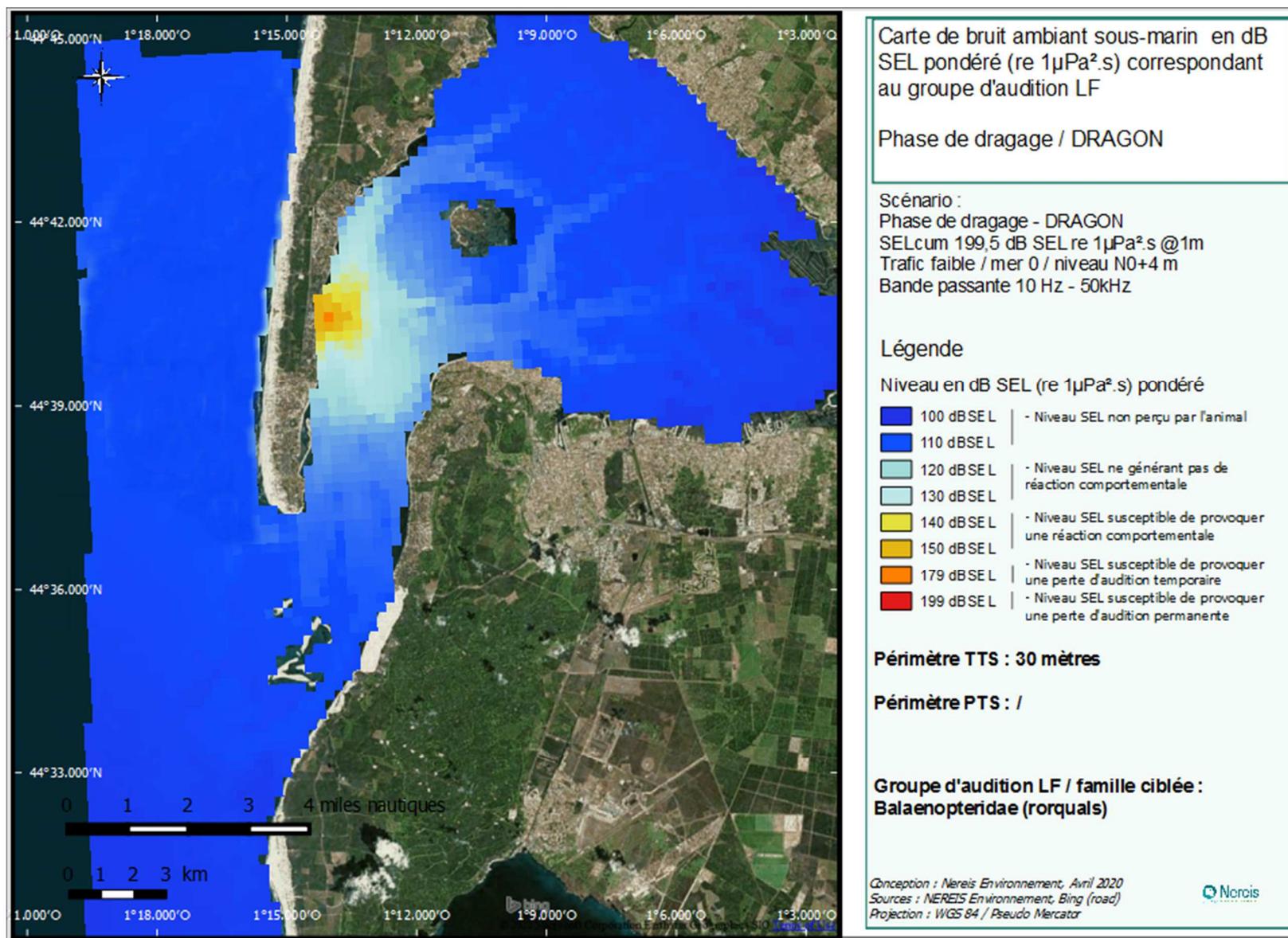
Conception : Nereis Environnement, Avril 2020  
Sources : NEREIS Environnement, Bing (road)  
Projection : WGS 84 / Pseudo Mercator

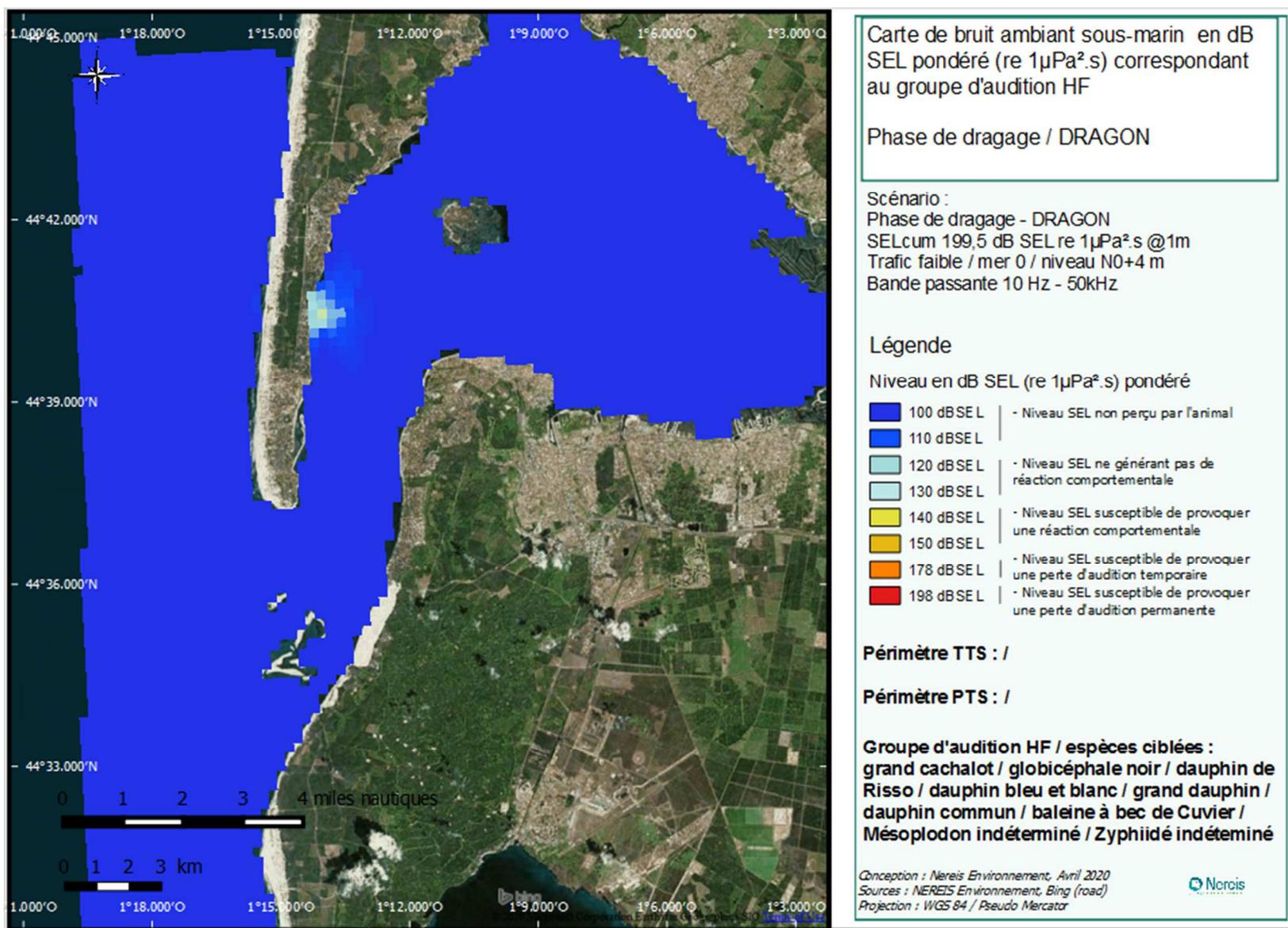


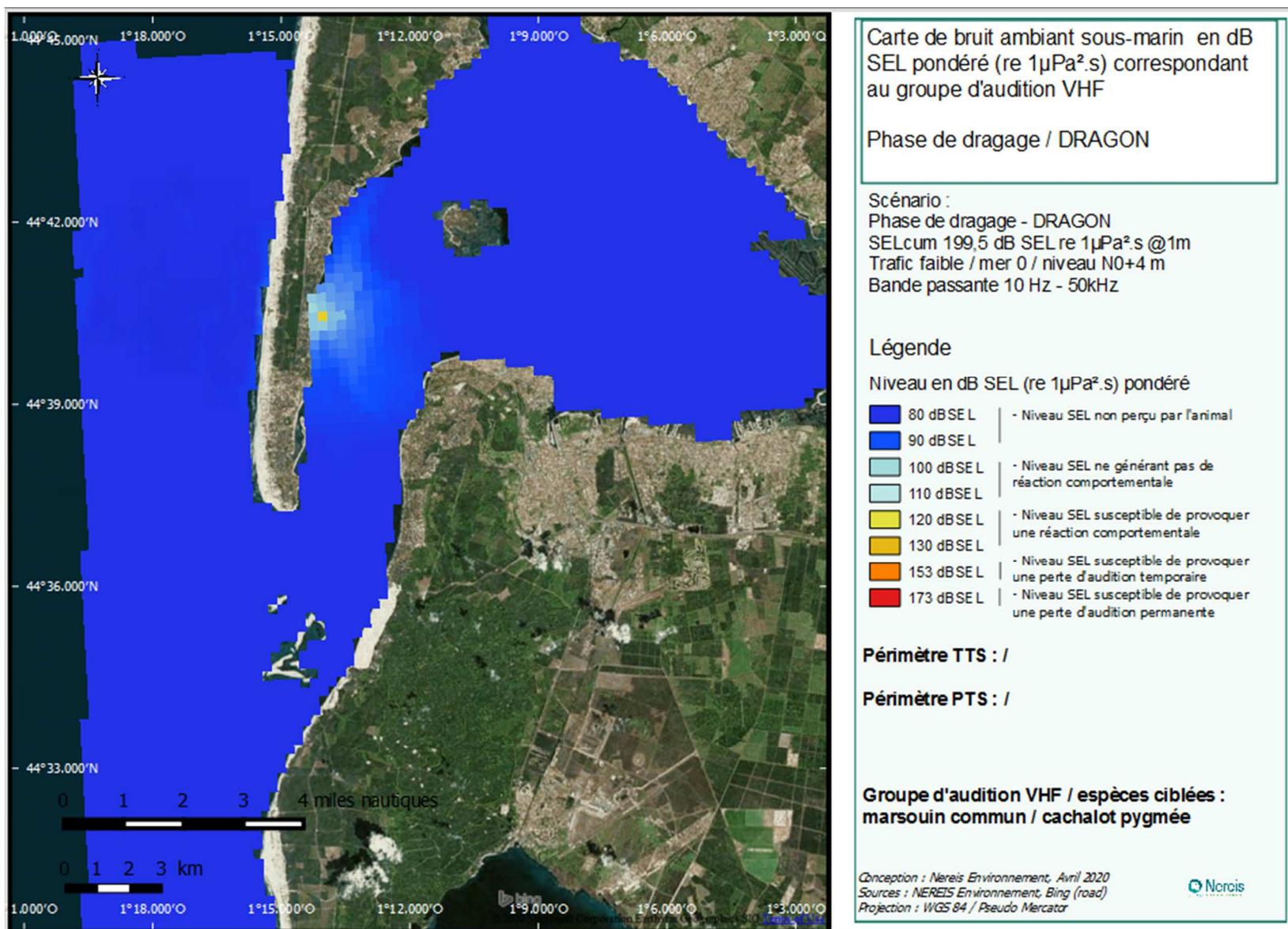


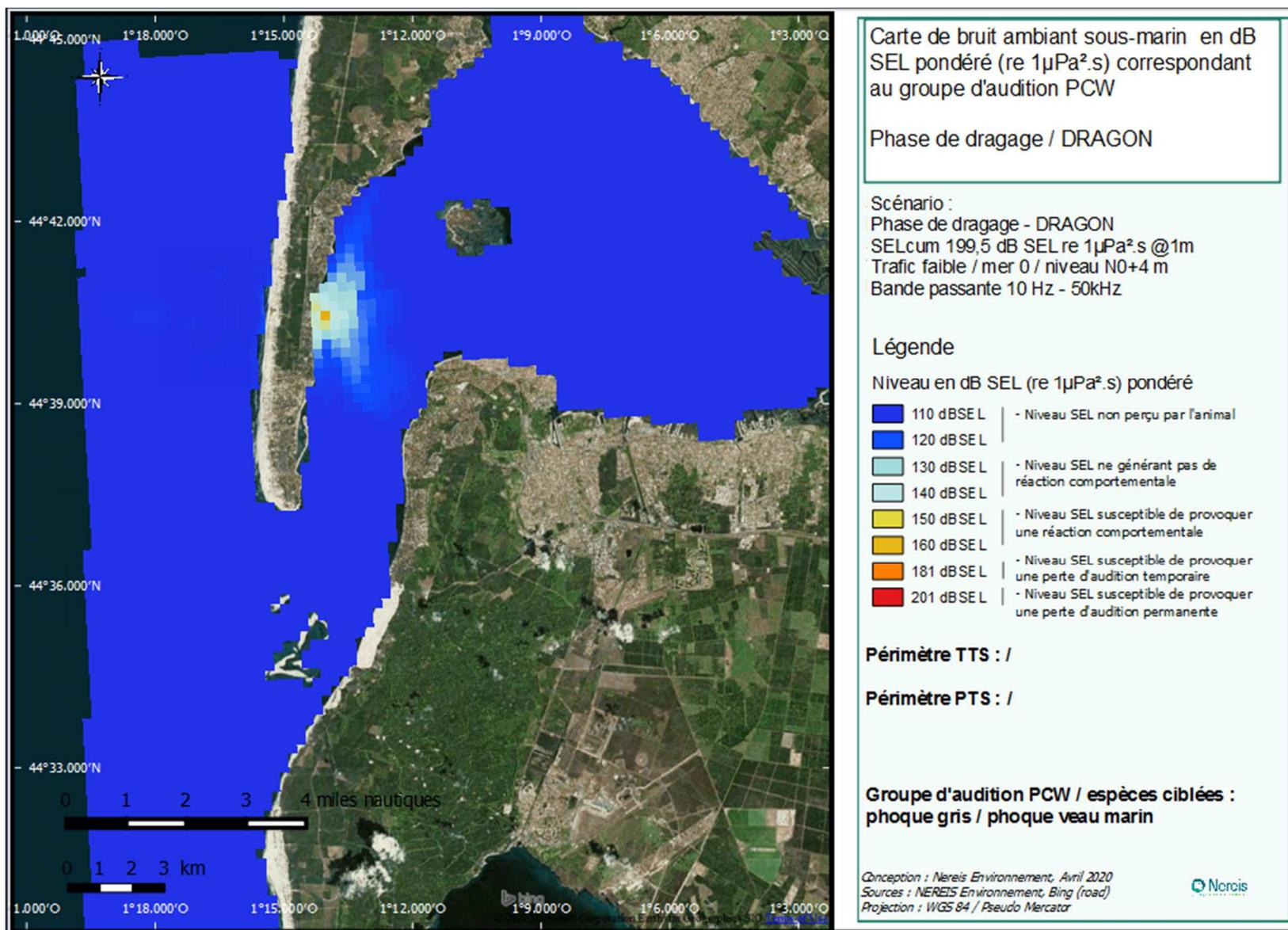


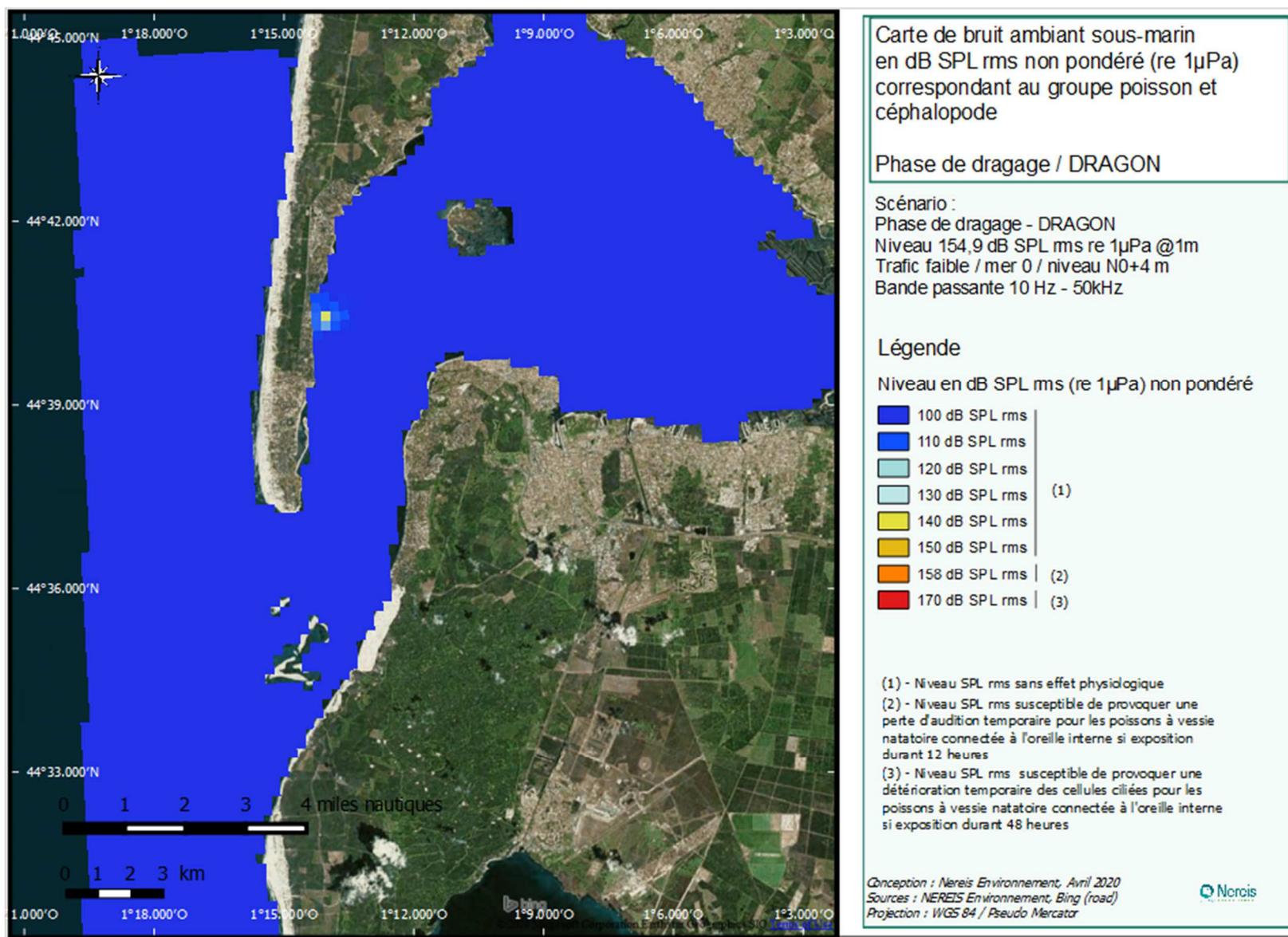














[www.creocean.fr](http://www.creocean.fr)

GROUPE KERAN