



ABYSSOUND FUI

Validation des cartographies de l'impact acoustique

Livrable tâche 4.4

**Paul Best ⁽¹⁾, Hervé Glotin ⁽¹⁾, Claire Noel ⁽²⁾,
Valentin Barchasz ⁽¹⁾, Paul Cristini ⁽³⁾**

(1) LIS CNRS, U. Toulon

(2) SEMANTIC TS

(3) LMA CNRS, U. Marseille

**Février 2020
REF PROJET BPI**

SOMMAIRE

1. Introduction	3
2. Simulation du système auditif par apodisation	4
3. Seuils de trouble auditif temporaire/permanent	6
4. Niveaux d'émissions de la source	7
5. Cumulative SEL	8
6. Résultats	9
7. Conclusion	13
8. Discussion	13
9. Références	14
10. Annexe	15

1.Introduction

Cette étude vise à démontrer la faisabilité à déterminer les risques de surdité temporaires et permanents (respectivement TTS et PTS) induits par une source acoustique sous-marine caractérisée sur un cétacé. C'est à dire déterminer l'évolution du seuil minimum dB d'un signal de fréquence donnée pour qu'un cétacé l'entende [3]. Les résultats seront présentés sur des cartes de coupes verticales de pertes de transmissions, présentant les zones autour de la source, à risque de surdité ou à fort dérangement pour différents groupes de cétacés.

L'estimation de l'impact acoustique sur le système auditif des mammifères marins à partir des cartes de perte de transmission sera établie sur la zone de l'étude et d'essais Abyssound (Fig. 1), mais la méthode est générique à tout autre zone.

Elle est basée sur les simulations des pertes de transmission du signal source [4] par coupes verticales, en dB pour les fréquences suivantes en Hz : 5, 10, 25, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000, dont on donne un exemple Fig. 2.

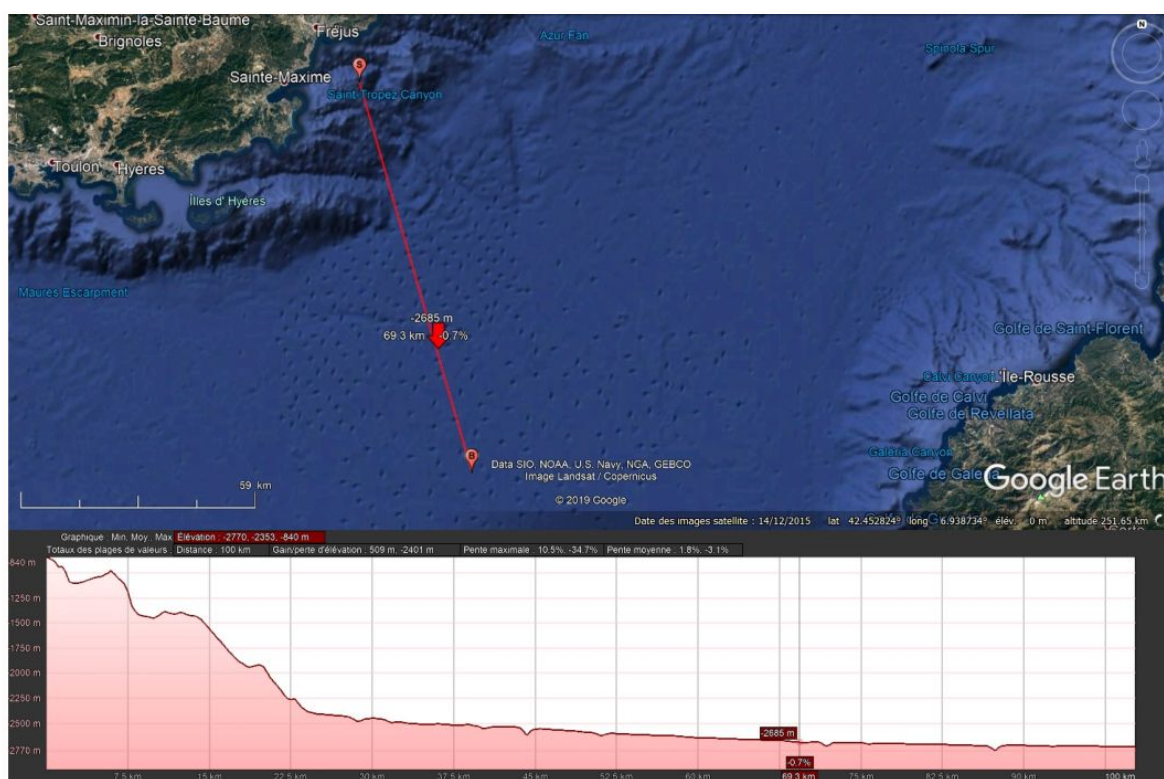


Figure 1 : Transect présenté dans cette étude, la Source Abyssound est au point S.

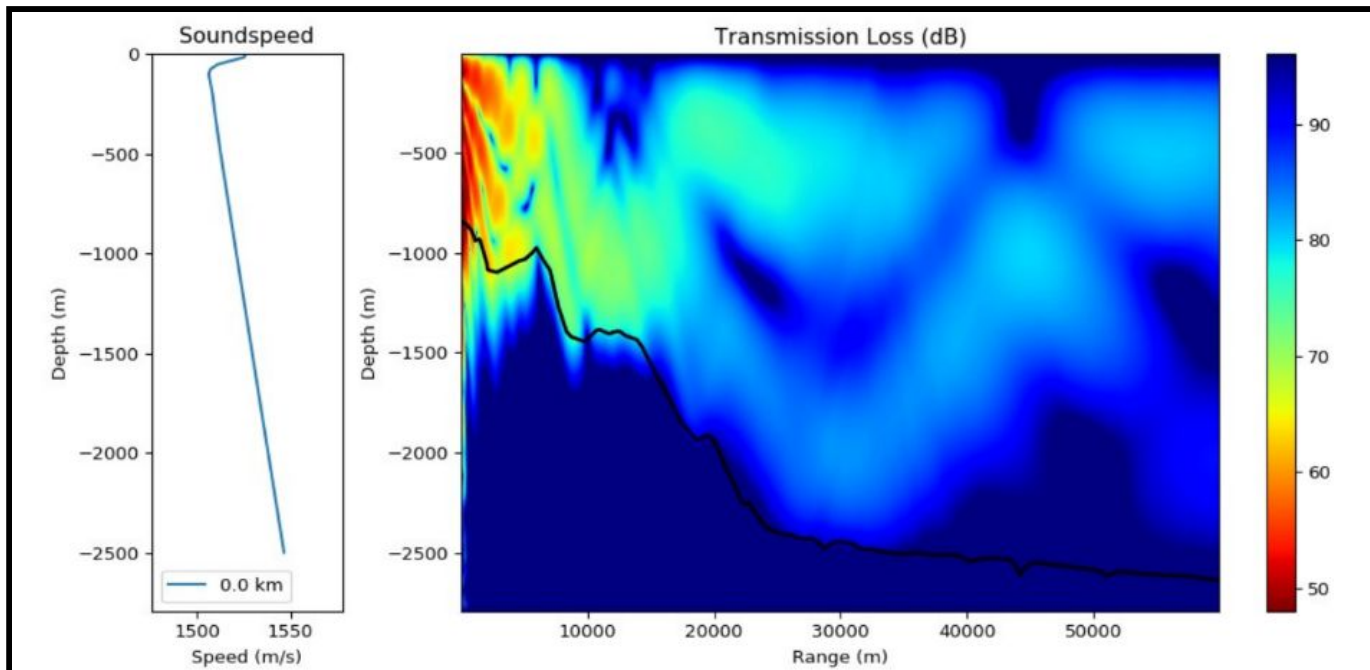


Figure 2 : Exemple de perte de transmission transmise (d'après [4])

2. Simulation du système auditif par apodisation

Pour prendre en compte les sensibilités auditives relatives à chaque espèce, les mammifères marins sont répartis par groupes auditifs suivant la Table 1 tirée de [3, 1].

Puis, pour chaque groupe auditif, une fonction d'apodisation en dB par fréquence est donnée [1,3]. Cette fonction permet d'avoir une mesure de l'impact acoustique sur le système auditif qui prend en compte la sensibilité en fréquence du système auditif de l'animal. Elle est simplement l'inverse de la fonction de sensibilité de l'animal (Fig. 3).

Code	Name	Members
LF	Low-frequency cetaceans	Family Balaenidae (right and bowhead whales) Family Balaenopteridae (rorquals) Family Eschrichtiidae (gray whale) Family Neobalaenidae (pygmy right whale)
MF	Mid-frequency cetaceans	Family Ziphiidae (beaked whales) Family Physeteridae (Sperm whale) Family Monodontidae (Irrawaddy dolphin, beluga, narwhal) Subfamily Delphininae (white-beaked/white-sided/Risso's/bottlenose/spotted/spinner/striped/common dolphins) Subfamily Orcininae (melon-headed whales, false/pygmy killer whale, killer whale, pilot whales) Subfamily Stenoninae (rough-toothed/humpback dolphins) Genus <i>Lissodelphis</i> (right whale dolphins) <i>Lagenorhynchus albirostris</i> (white-beaked dolphin) <i>Lagenorhynchus acutus</i> (Atlantic white-sided dolphin) <i>Lagenorhynchus obliquidens</i> (Pacific white-sided dolphin) <i>Lagenorhynchus obscurus</i> (dusky dolphin)
HF	High-frequency cetaceans	Family Phocoenidae (porpoises) Family Platanistidae (Indus/Ganges river dolphins) Family Iniidae (Amazon river dolphins) Family Pontoporiidae (Baiji/ La Plata river dolphins) Family Kogiidae (Pygmy/dwarf sperm whales) Genus <i>Cephalorhynchus</i> (Commersen's, Chilean, Heaviside's, Hector's dolphins) <i>Lagenorhynchus australis</i> (Peale's or black-chinned dolphin) <i>Lagenorhynchus cruciger</i> (hourglass dolphin)
SI	Sirenians	Family Trichechidae (manatees) Family Dugongidae (dugongs)
OW	Otariids and other non-phocid marine carnivores (water)	Family Otariidae (eared seals and sea lions) Family Odobenidae (walrus) <i>Enhydra lutris</i> (sea otter) <i>Ursus maritimus</i> (polar bear)
PW	Phocids (water)	Family Phocidae (true seals)

Table 1 : Répartition en groupes auditifs des espèces [1]

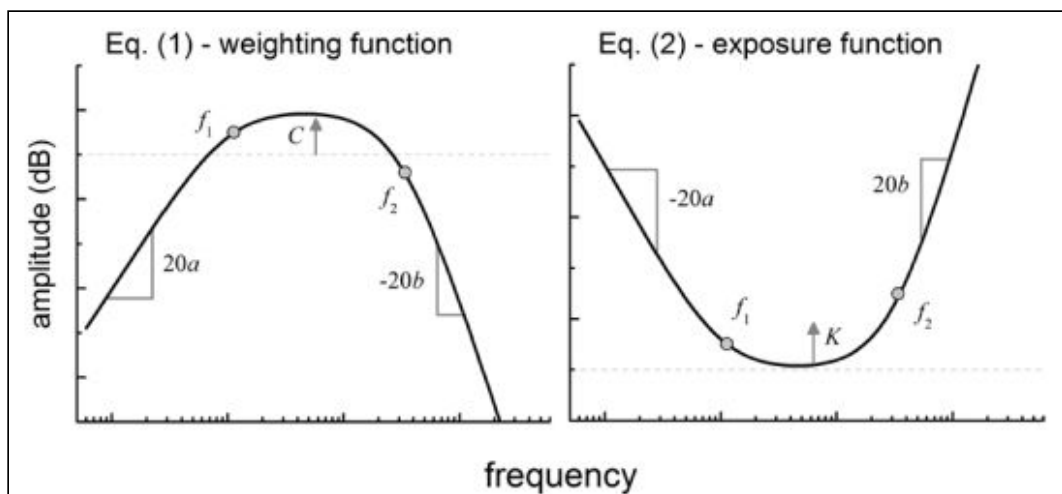


Figure 3 : Fonctions de pondération simulant les systèmes auditifs [1]

Cette pondération Fig 1. est définie par [1] :

$$W(f) = C + 10 \log_{10} \left\{ \frac{(f/f_1)^{2a}}{\left[1 + (f/f_1)^2\right]^a \left[1 + (f/f_2)^2\right]^b} \right\},$$

dont les coefficients a, b, f1, f2, C sont définis par groupe d'espèce:

Hearing Group	a	b	f ₁ (kHz)	f ₂ (kHz)	C (dB)
Low-frequency (LF) cetaceans	1.0	2	0.2	19	0.13
Mid-frequency (MF) cetaceans	1.6	2	8.8	110	1.20
High-frequency (HF) cetaceans	1.8	2	12	140	1.36
Phocid pinnipeds (PW) (underwater)	1.0	2	1.9	30	0.75
Otariid pinnipeds (OW) (underwater)	2.0	2	0.94	25	0.64

Table 2 : Définition des paramètres de pondération, d'après [2]

3. Seuils de trouble auditif temporaire/permanent

Les seuils de PTS et TTS (niveau dB reçu, après fonction d'apodisation) sont donnés Table 3 suivant [3, 1].

$W(f) = C + 10 \log_{10} \left\{ \frac{(f/f_1)^{2a}}{\left[1 + (f/f_1)^2\right]^a \left[1 + (f/f_2)^2\right]^b} \right\}$						Non-impulsive		Impulse			
						TTS Threshold	PTS Threshold	TTS Threshold		PTS Threshold	
Group	a	b	f ₁ (kHz)	f ₂ (kHz)	C (dB)	SEL (Weighted)	SEL (Weighted)	SEL (Unweighted)	Peak SPL (Unweighted)	SEL (Weighted)	Peak SPL (Unweighted)
LF	1	2	0.20	19	0.13	179	199	168	213	183	219
MF	1.6	2	8.8	110	1.20	178	198	170	224	185	230
HF	1.8	2	12	140	1.36	153	173	140	196	155	202
SI	1.8	2	4.3	25	2.62	186	206	175	220	190	226
OW	2	2	0.94	25	0.64	199	219	188	226	203	232
PW	1	2	1.9	30	0.75	181	201	170	212	185	218

Table 3 : Valeur des PTS et TTS onsets (tiré de [1])

Pour le cas de la pompe Abyssound nous prenons les paramètres d'un son non-impulsif (colonne centrale).

4. Niveaux d'émissions de la source

Les niveaux d'émissions sont simplifiés par des abaques suivantes, qui ont été validées dans les rapports précédents.

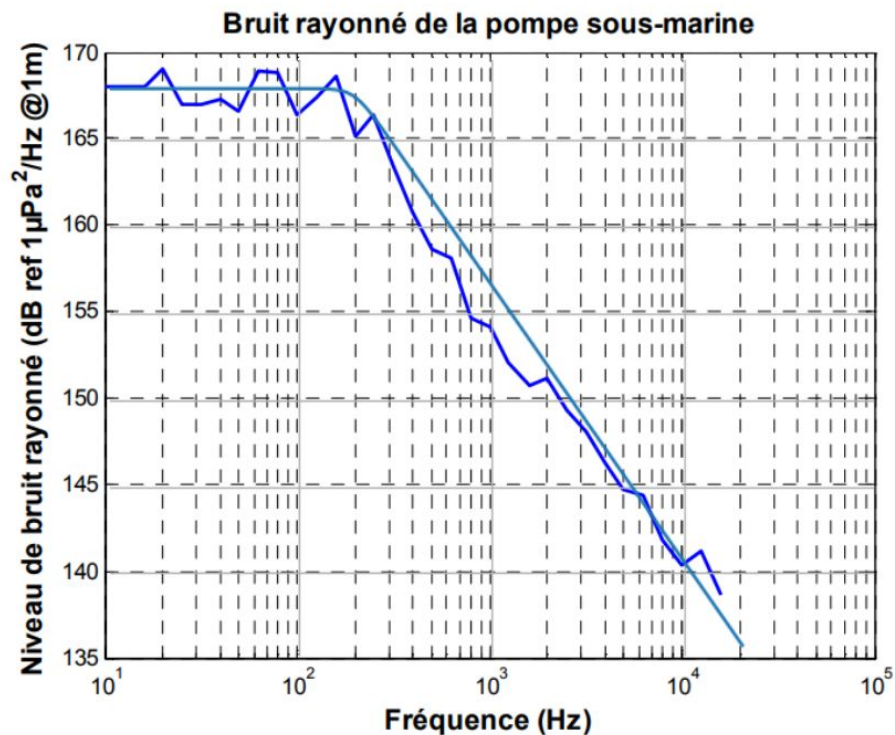


Figure 4 : Niveau de bruit rayonné en tiers d'octave moyenné d'une pompe sous-marine. Bleu foncé : courbe du rapport. Bleu clair : modélisation de SPL_{pompe}

La formulation du SPL de la pompe (Fig. 2) est :

$$SPL_{pompe}(f) = 20 \times \log_{10}\left(\frac{1}{\left(1 + \left(\frac{f}{195}\right)^{10}\right)^{0.08}}\right) + 168.$$

Le SPL machine, Fig. 3, est donné par :

$$SPL_{machine}(f) = 20 \times \log_{10}\left(\frac{1}{\left(1 + \left(\frac{f}{600}\right)^{10}\right)^{0.1}}\right) + 165.$$

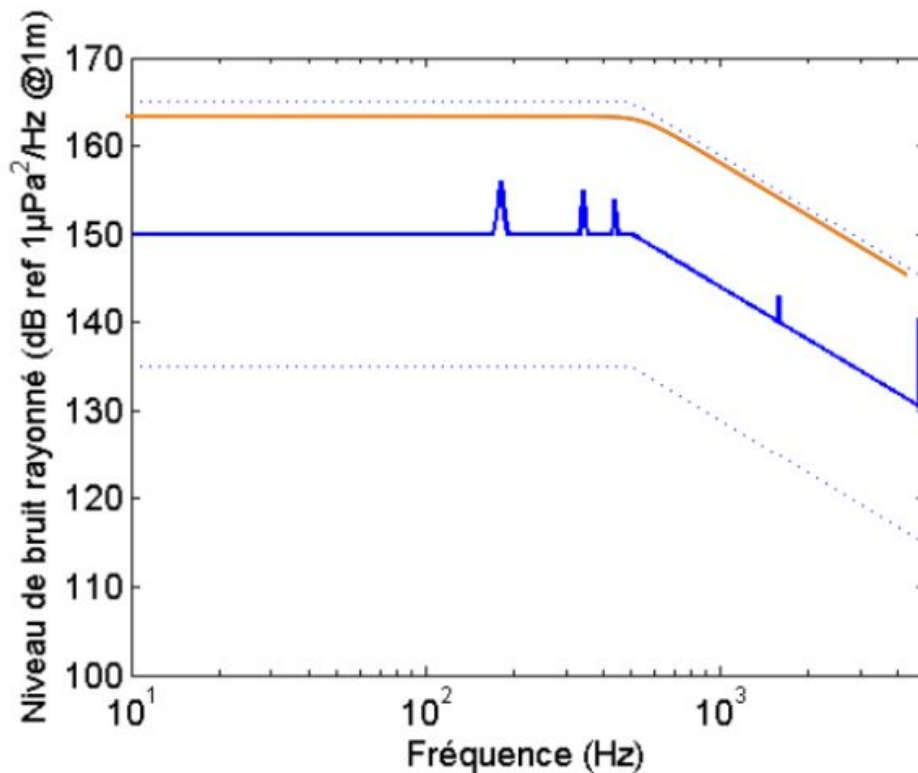


Figure 5 : Estimation du niveau de bruit rayonné à 1m des machines de production [1], Bleu : courbe du rapport . Orange : modélisation.

5. Cumulative SEL

D'après [2] p.135, pour les sources fixes, le temps d'accumulation est principalement déterminé par les caractéristiques du récepteur (c'est-à-dire la vitesse de nage et le fait que l'espèce soit transitoire ou résidente dans la zone où l'activité se produit). De manière générale, il est recommandé de considérer une période d'accumulation de base de 24h. Il est possible que pour des situations d'exposition spécifiques cette période d'accumulation nécessite un ajustement (par exemple, si l'activité dure plus de 24 heures ou pour des situations où les récepteurs devraient subir des durées d'exposition exceptionnellement longues).

Pour cette étude nous considérerons donc une période d'exposition de 24h, ainsi que 168h (une semaine). En effet, beaucoup de zones d'exploitation prévues pour Nautilus Minerals ont lieu dans des lieux d'importance pour certaines espèces de mammifères marins [3]. La durée d'exposition des animaux peut ainsi être prolongée, si leur présence sur la zone est nécessaire (zone d'alimentation, ou de reproduction par exemple).

Le SEL cummulé est [2] :

$SEL_{cum} = SPL + 10 \log_{10}(\text{duration of exposure, expressed in seconds})$

Pour cette étude nous prenons donc :

$$SEL_{cum}(f) = 10 \times \log_{10}(10^{SPL_{pompe}(f) \times 0.1} + 10^{SPL_{machine}(f) \times 0.1}) + TL(f) + WF(f) + CUM$$

avec

- SPL : le niveau émis (pompe + machine au sol) (cf supra)
- TL : la perte de transmission (CR Résultats Simulations Tâche 2.3.6 – Livrable 2.3.5 Ref SEMANTIC N° R/19/084/CN)
- WF : auditory weighting function (cf supra)
- $CUM = 10 \times \log_{10}(60 \times 60 \times 24)$ l'accumulation dans le temps, prise sur 24h comme recommandé par la NOAA [2].

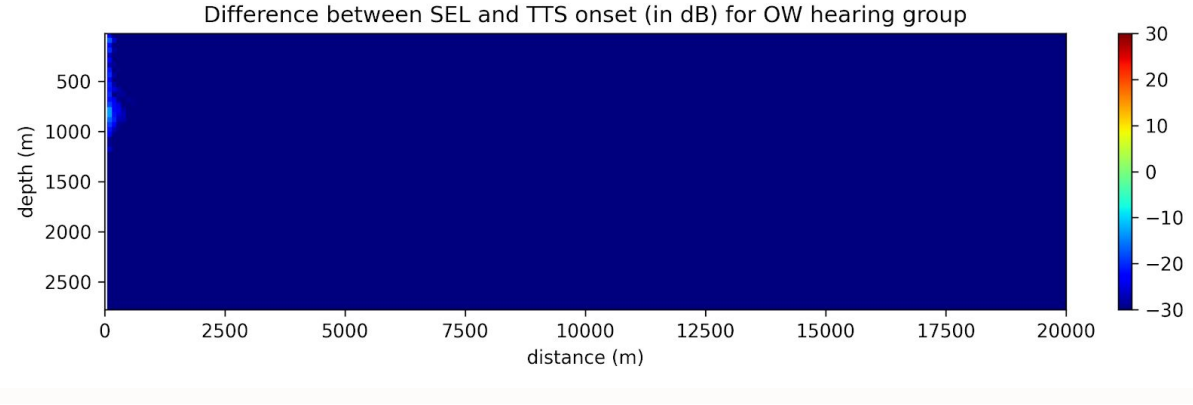
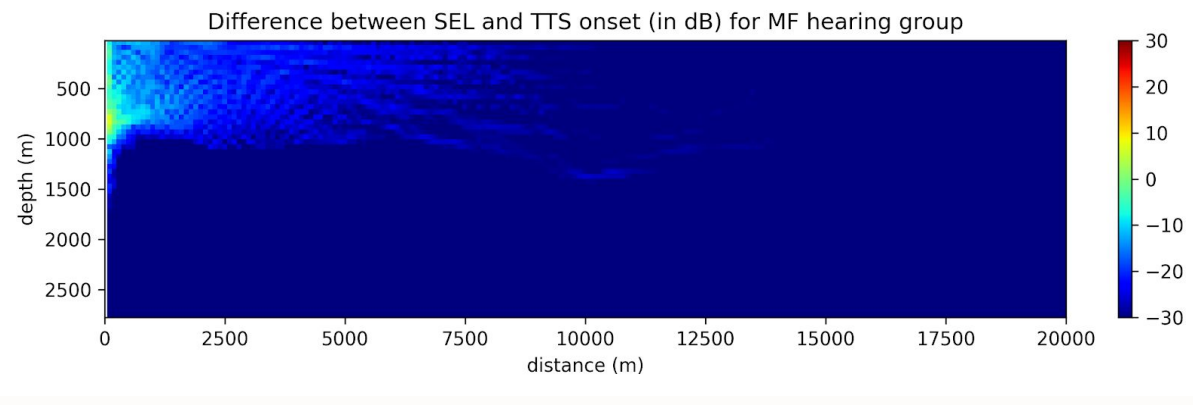
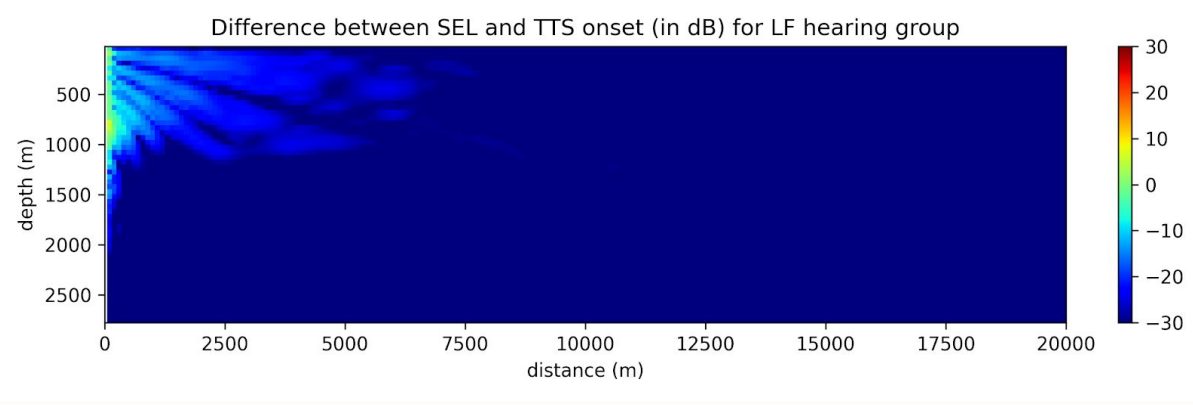
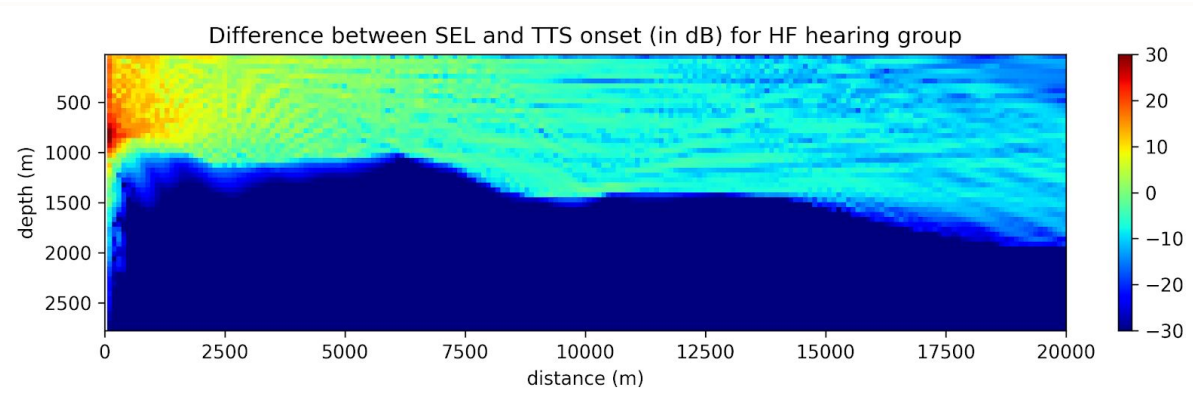
Pour résumer, pour chaque point de l'espace, gamme de fréquence, et groupe auditif, nous calculons la valeur d'exposition acoustique (SEL_{cum}) qui prends en compte les deux sources (machine et pompe), la perte de transmission, la sensibilité auditive de l'espèce, et l'accumulation dans le temps d'exposition.

6. Résultats

Les cartes représentent une coupe verticale du transect Fig. 2 (même configuration que dans [4]).

Pour les deux types de cartes, nous prenons en compte les 9 fréquences choisies pour les pertes de transmissions (de 5Hz à 10kHz). En effet la fréquence impacte le SPL émis, la WF, et la TL. En chaque point de la carte, la valeur maximum du SEL_{cum} parmi ces fréquences calculées est gardée.

Suivant les formulation des sections précédentes, nous calculons et donnons ici les cartes de dB reçu (SEL_{cum}) moins le seuil TTS, ce qui indique une estimation du dérangement. Par exemple 5dB en dessous du seuil de surdité temporaire représente à priori un dérangement important. Nous donnons ces cartes pour une durée d'exposition de 24h, puis pour une exposition d'une semaine.



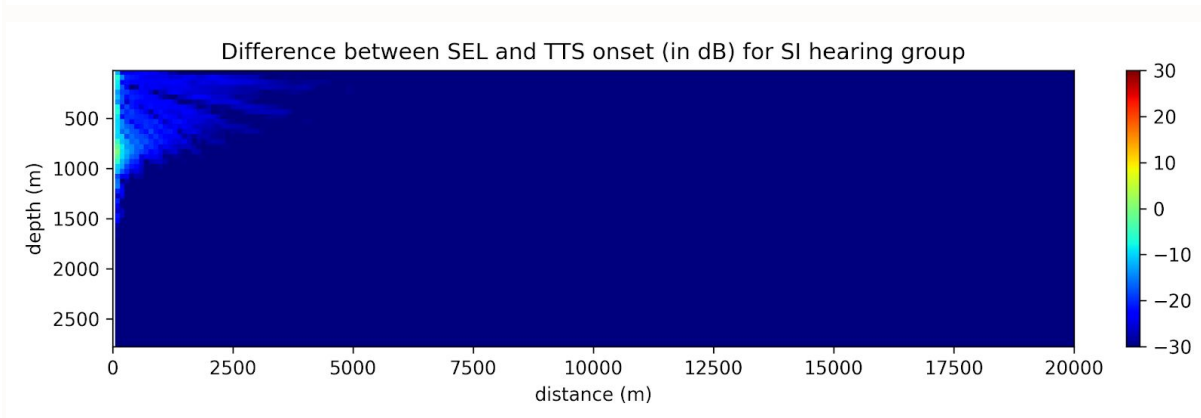
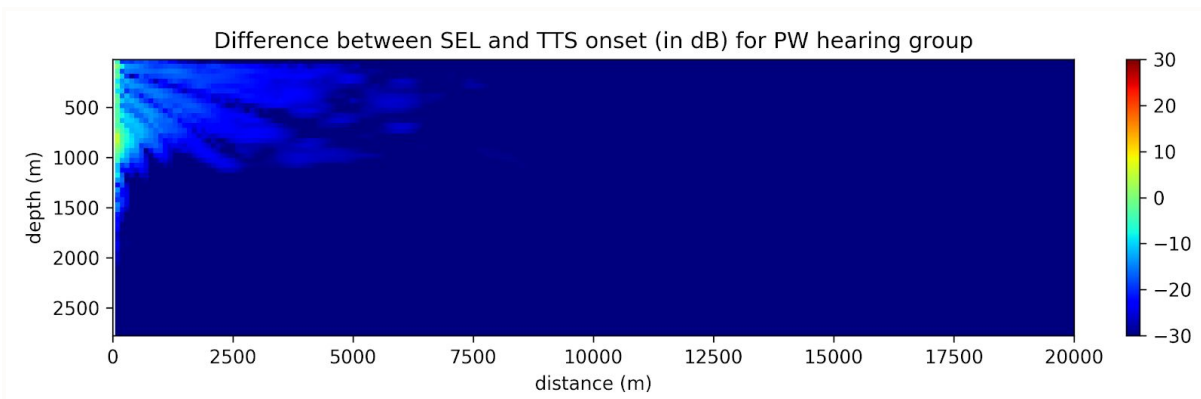
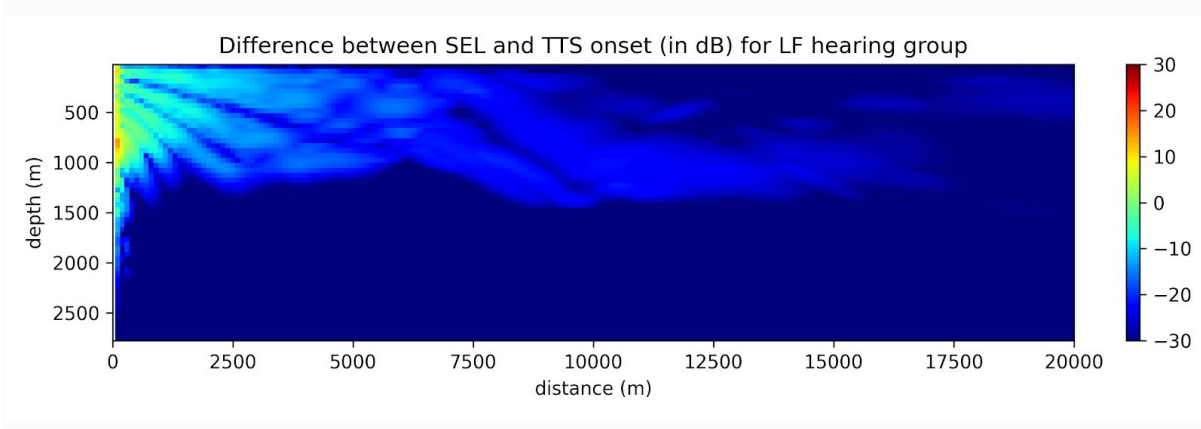
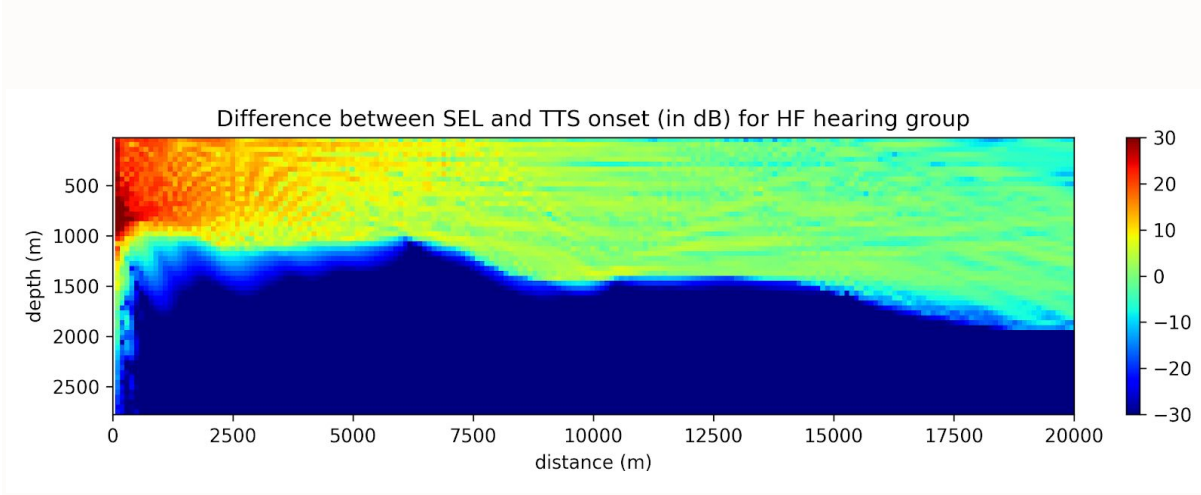


Figure 6 : Cartes des niveaux SEL-TTS onset, pour chaque groupe auditif: PW, OW, MF, HF, SI et LF pour une exposition de 24h.



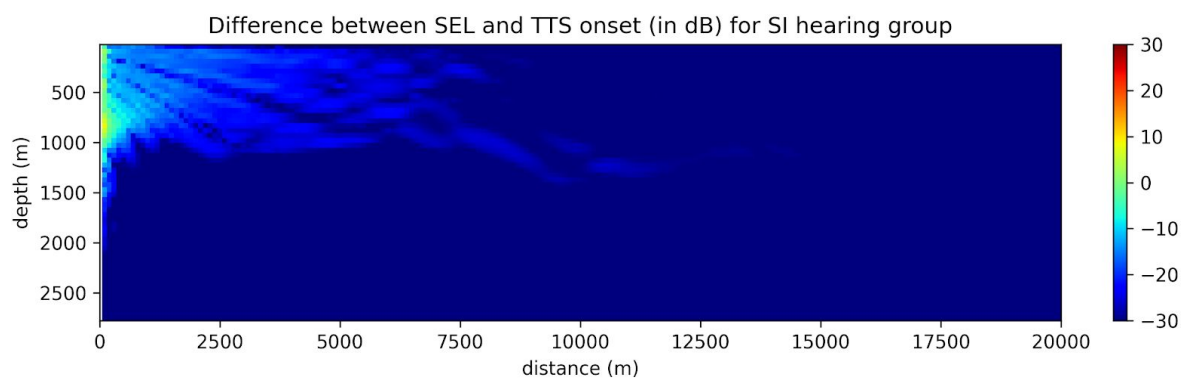
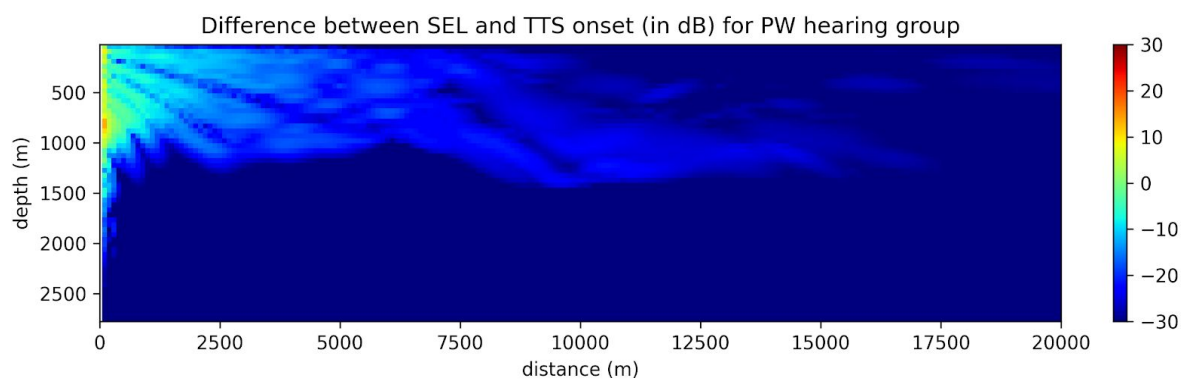
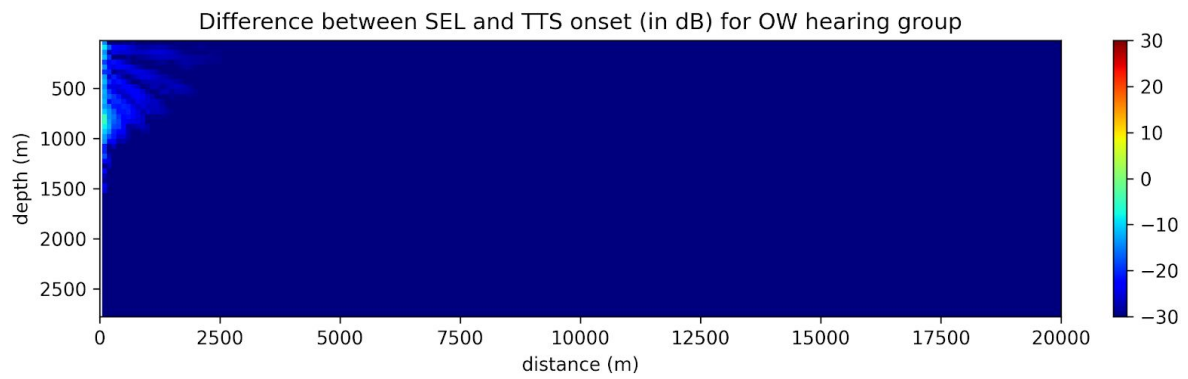
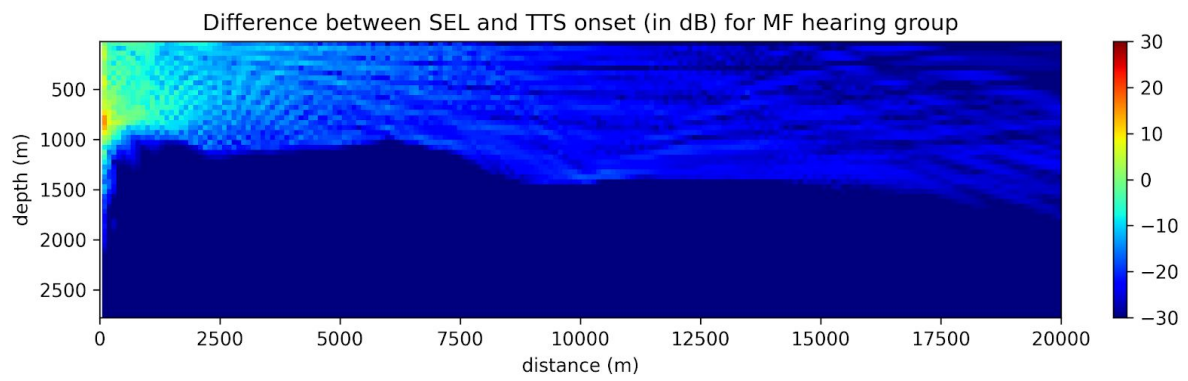


Figure 7 : Cartes des niveaux SEL-TTS onset, pour chaque groupe auditif: PW, OW, MF, HF, SI et LF pour une exposition de 168h.

7. Conclusion

Nous donnons au final la carte de dépassement des seuils TTS et PTS pour HF qui montre une surdité temporaire pour ce groupe jusqu'à 8 km de distance à la source et 1km de profondeur. Les simulations montrent que les autres groupes auditifs ne subissent pas de dépassement de seuil de surdité dans des distances supérieures à 500 mètres de la source.

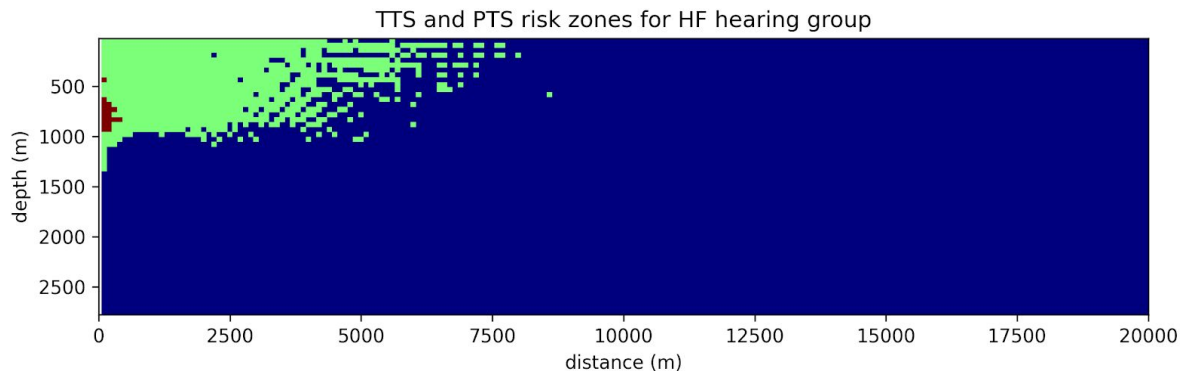


Figure 8 : carte de dépassement des seuils TTS (en vert) et PTS (en rouge) pour le groupe HF pour 24h.

Si l'on étend à une semaine l'exposition, la carte du SEL-TTS est alors :

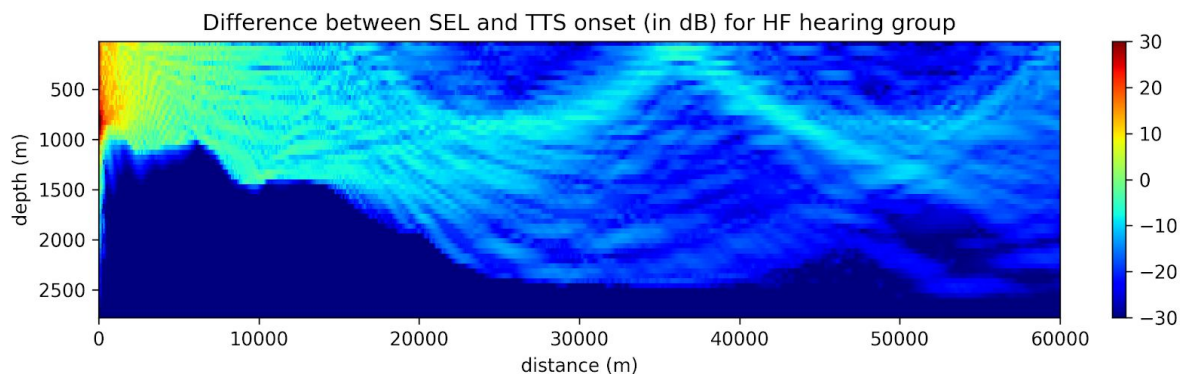
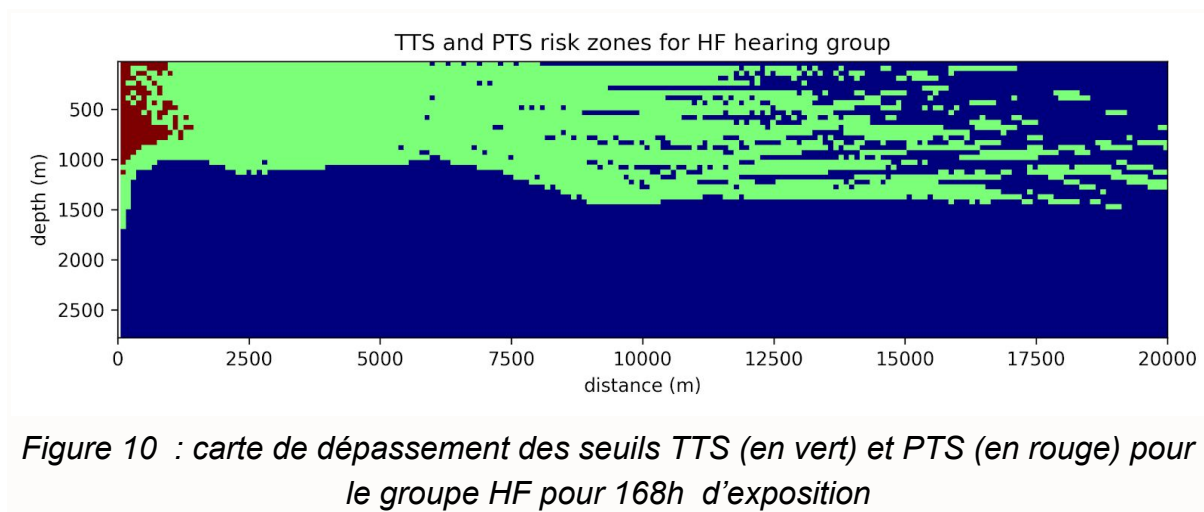


Figure 9 : Carte élargie du SEL-TTS pour le groupe HF pour une exposition de 168h.

Ce qui donne la carte de dépassement suivante à une fenêtre de 20 km :



Pour une exposition plus longue, les zones TTS dépassent 20 km de rayon à la source.

8. Discussion

Cette étude démontre la faisabilité de calcul d'un périmètre de nuisance d'une source sur différents groupes de cétacés. Elle révèle que ce périmètre est croissant avec la durée d'exposition. Le paradigme usuel d'une source impulsive ou transitoire est dépassé par la notion de source permanente de mine profonde par exemple, le périmètre pouvant alors dépasser plusieurs km pour des expositions des émissions de plusieurs semaines.

Cette étude est basée sur des simulations de propagations dans l'eau uniquement. Il faut noter que les émissions acoustiques dues aux travaux des machines au sol induisent une propagation dans le sédiment qui peut atteindre des distances bien supérieures à celles présentées ici. Les vibrations qui se propagent dans le sol peuvent refaire surface dans l'eau face à certaines formes de terrain.

Enfin, cette étude ne prend en compte que l'impact sur l'appareil auditif des mammifères marins. Mais L'exploitation des sols sous-marins induit de nombreux effets sur la faune :

- Le déplacement dû à l'effrayement des animaux, et un potentiel éloignement de zones d'importance pour leur survie : zone d'alimentation ou de reproduction [3],
- Les dommages auditifs ou corporels pour les espèces de poissons ou mollusques, arthropodes, sujet traités dans des rapports de différentes Fisheries (Canada, USA,...),

- La destruction complète de l'écosystème au sol, potentiellement à la base de la chaîne alimentaire des écosystèmes locaux et proches, effet encore peu étudiés.

9. Références

[1] J. Finneran, (2016), TECHNICAL REPORT 3026, Auditory Weighting Functions and TTS/PTS Exposure Functions for Marine Mammals Exposed to Underwater Noise, December

[2] National Marine Fisheries Service, (2018), 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. Dept. of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59, 167 p, 2018

[3] P. Best, H. Glotin, (2019), Noise Pollution and Effect on Marine Life, RESEARCH REPORT Abyssound FUI project Task 2.3.5, RRDyni201907, CNRS LIS Univ. Toulon, France, July

[4] C. Noel et al, (2019), CR résultats simulation propagation acoustique projet Abyssound, R/18/048/CN Task 2.3.6, SEMANTIC TS