
**Mesures acoustiques et analyse des bruits
émis dans le cadre de la campagne
géotechnique au large de Saint Brieuc**

**« Rapport 2 : Analyse des données acoustiques
pour l'estimation du bruit ambiant et du bruit
de forage »**



Juillet 2018

Suivi de rédaction

Version	Date	Description	Action effectuée par
0.1	26/07/2018	Rédaction initiale	D. Mathias (SOMME)
1.0	27/07/2018	Transmission à Caroline Piguet (Ailes Marines)	D. Mathias (SOMME)
1.1	31/07/2018	Amendement – Résumé en anglais	D. Mathias (SOMME)
2.0	01/08/2018	Transmission à Caroline Piguet (Ailes Marines)	D. Mathias (SOMME)
2.1	25/08/2018	Relecture et commentaires	Caroline Piguet (SOMME)
3.0	13/09/2018	Amendement	D. Mathias (SOMME)
3.1	03/10/2018	Relecture et commentaires	Caroline Piguet (SOMME)
4	08/10/2018	Amendement	D. Mathias (SOMME)

Contact : mathias.somme@orange.fr

Table des matières

1	Contexte de l'étude.....	4
2	Méthodologie pour l'analyse des données acoustiques	4
2.1	Caractérisation du bruit émis par le navire de forage « Gargano » et estimation du niveau sonore à la source.	4
2.2	Estimation du niveau de bruit ambiant en présence/absence de navires de pêche 7	
2.3	Cartographie de la production sonore générée par les opérations de forage et sa propagation dans la zone d'étude.....	8
3	Résultats.....	9
3.1	Exemples de spectres sonores du bruit de forage.....	10
3.2	Exemples de spectres sonores du navire Gargano en dehors des périodes de forage	14
3.3	Exemples de spectres sonores du bruit ambiant en l'absence/présence de navires de pêche.....	15
3.4	Comparaison des spectres du bruit ambiant et bruit de forage.....	17
3.5	Niveaux sonores du bruit ambiant.....	18
3.6	Pertes de transmission et estimation du niveau sonore à la source du bruit de forage	20
3.7	Cartographie de l'empreinte acoustique du bruit de forage.....	22
4	Synthèse.....	26
5	Summary of results	27

1 Contexte de l'étude

La société SOMME (SARL Société d'Observation Multi-Modale de l'Environnement) a été missionnée par Ailes Marines pour réaliser des mesures acoustiques de bruit de carottage et de bruit ambiant dans le cadre d'une campagne de forage géotechnique pour le futur parc éolien en mer de Saint Brieuc. Cet objectif se décline en trois tâches principales :

- ✓ Tâche 1 : Mesurer le bruit rayonné par le navire de forage « Gargano » en fonction de la distance entre le point de mesure et le Gargano pour reconstruire les niveaux sonores à la source.
- ✓ Tâche 2 : Mesurer le bruit ambiant (i.e le niveau sonore non influencé par les travaux de forage)
- ✓ Tâche 3 : Réalisation d'une simulation acoustique permettant de cartographier la production sonore générée par les opérations de forage et sa propagation dans la zone d'étude.

2 Méthodologie pour l'analyse des données acoustiques

2.1 Caractérisation du bruit émis par le navire de forage « Gargano » et estimation du niveau sonore à la source.

Les données issues de la cartographie acoustique à la dérive du 22 Juin 2018 permettent d'étudier la variabilité spatiale des niveaux sonores émis pendant les opérations de forage du Gargano. 8 points de mesure à la dérive, à des distances variant entre 170 m et 9 km du Gargano ont été réalisés (Figure 1). Le temps de mesure était de 10 à 15 minutes par dérive.

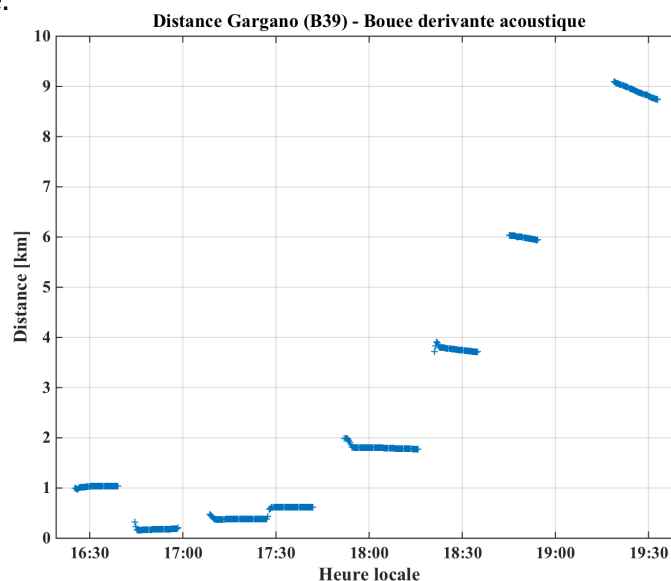


Figure 1 : Distance entre la bouée acoustique et le Gargano le 22 Juin 2018 pendant les mesures à la dérive du bruit généré par les activités du navire de forage Gargano

Caractérisation du bruit émis par le navire de forage « Gargano »

Une chaîne de traitement est appliquée à la base de donnée ¹. Chaque fichier .wav est divisé en segments de 20 secondes traités individuellement tels que :

- les données brutes sont converties en données acoustiques (μPa) en corrigeant par le gain d'acquisition et la sensibilité de l'hydrophone,
- Une collection de spectres est calculée en appliquant une transformée de Fourier à fenêtre glissante (LFFT=4096, overlap=0.75, Hanning window), chaque spectre est exprimé en dB re.1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$,
- Le calcul de la moyenne des spectres permet d'obtenir le spectre moyen ($\gamma_r(f, r_m)$) pour le segment considéré, exprimé en dB re.1 $\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$.
- Les niveaux large bande en 1/3 d'octave sont calculés pour les 30 bandes comprises entre 48 Hz et 61 kHz (Tableau 1)
- Les niveaux large bande sont calculés pour 6 bandes de fréquences (B0 : [40-60000] Hz, B1 : [40-200] kHz, B2 : [200-1000] kHz, B3 : [1000-6000] kHz, B4 : [6000-10000] kHz, B5 : [10000-60000] kHz).

Estimation du niveau sonore à la source

Pour ces mesures à la dérive, les positions GPS de la bouée acoustique dérivante et du Gargano sont utilisées pour obtenir le son émis par le Gargano en fonction de la distance r_m (en mètres) entre le Gargano et la bouée dérivante. La richesse de ces mesures est utilisée pour construire un modèle de perte de propagation empirique (Eq. 1), qui permet de valider le modèle de propagation hybride.

$$\text{Équation 1 : } RL(B_i, r_m) = SL(B_i, r_m) + K(B_i) \log_{10}(r_m)$$

Le terme $K(B_i) \log_{10}(r_m)$ correspond à la perte de transmission quand le son s'est propagé sur une distance de r_m mètres, pour la bande de fréquence B_i .

$SL(B_i)$ et $K(B_i)$ sont estimés avec une régression linéaire en utilisant le niveau reçu RL dans la bande de fréquence B_i pour toutes les distances r_m . La bonne concordance entre les données et la régression linéaire est vérifiée visuellement pour tous les tiers d'octave.

Le niveau large bande à la source sur les six bandes de fréquences B0 à B5 sont ainsi calculées.

¹ Densité spectrale de puissance reçue : exprimée en dB re. 1 $\mu\text{Pa}^2 / \text{Hz}$, cette quantité constitue le spectre sonore des sons reçus, elle exprime la répartition de la puissance sonore reçue en fonction de la fréquence.

Niveau sonore large bande : niveau spectral intégré sur toute la bande de fréquence d'étude [40Hz-60kHz], exprimé en dB re. 1 μPa^2 .

Niveau sonore en tiers d'octave : niveau spectral intégré sur chaque bande de fréquence en 1/3 d'octave, exprimé en dB re. 1 μPa^2 .

Permet d'étudier la variation du niveau sonore en fonction de la fréquence.

Tableau 1 : 30 bandes fréquentielles en 1/3 d'octaves utilisées pour caractériser le bruit émis par le navire de forage « Gargano » et le bruit ambiant

Index du tiers d'octave	Fréquence centrale (Hz)	Fréquence basse (Hz)	Fréquence haute (Hz)
1	60	48	76
2	76	60	95
3	95	76	120
4	120	95	151
5	151	120	190
6	190	151	240
7	240	190	302
8	302	240	381
9	381	302	480
10	480	381	605
11	605	480	762
12	762	605	960
13	960	762	1210
14	1210	960	1524
15	1524	1210	1920
16	1920	1524	2419
17	2419	1920	3048
18	3048	2419	3840
19	3840	3048	4838
20	4838	3840	6096
21	6096	4838	7680
22	7680	6096	9676
23	9676	7680	12191
24	12191	9676	15360
25	15360	12191	19352
26	19352	15360	24382
27	24382	19352	30720
28	30720	24382	38705
29	38705	30720	48765
30	48765	38705	61440

2.2 Estimation du niveau de bruit ambiant en présence/absence de navires de pêche

Les données issues de la cartographie acoustique à la dérive du 27 Juin 2018 permettent d'estimer le niveau de bruit ambiant en différentes positions de la zone d'étude.

9 points de mesure à la dérive, à des distances variant entre 170 m et 26 km du Gargano ont été réalisés (Figure 2). Le temps de mesure était de 15 à 20 minutes par dérive.

- 7 positions de mise à l'eau de la bouée dérivante correspondent à celles des mesures du bruit de forage du 22 Juin.
- 1 mesure à la dérive a été effectuée à 2-3 km de deux navires de pêche (le Bar'ouf était situé au milieu de ces deux navires)
- 1 mesure à la dérive a été effectuée lors d'une rencontre avec un groupe de 5-10 dauphins de Risso.

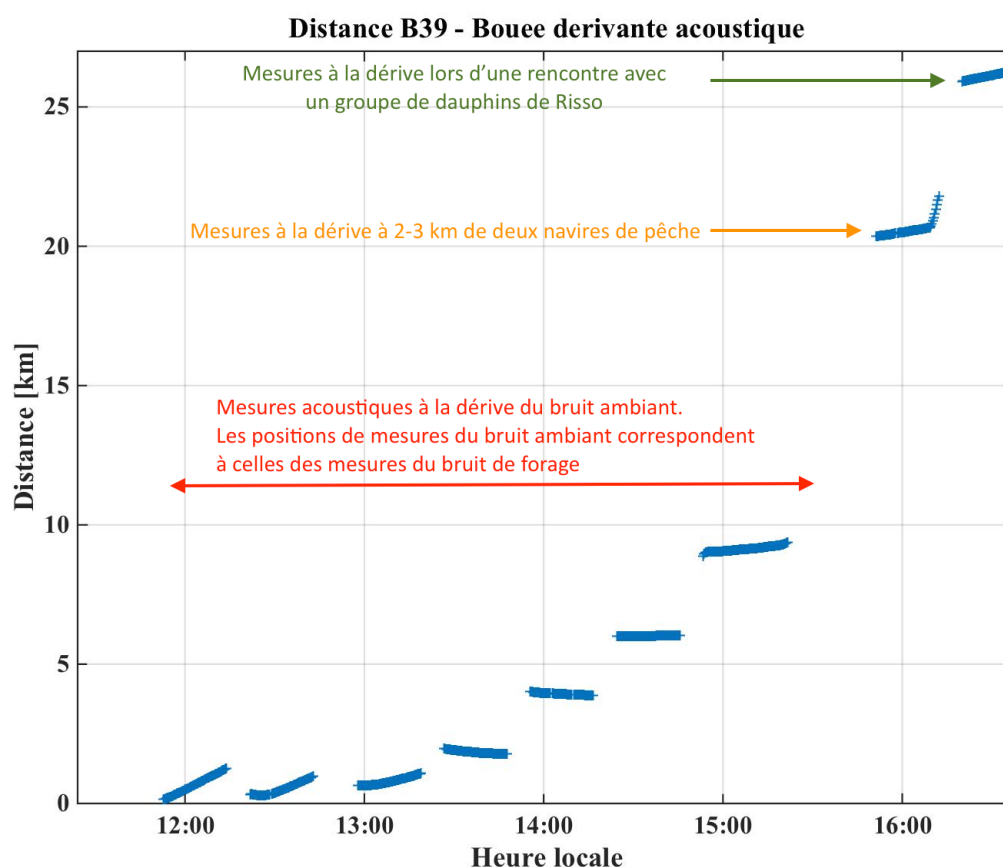


Figure 2 : Distance entre la bouée acoustique et le Gargano le 27 Juin 2018 pendant les mesures à la dérive du bruit ambiant (après démobilitation du Gargano et du Normand Flower)

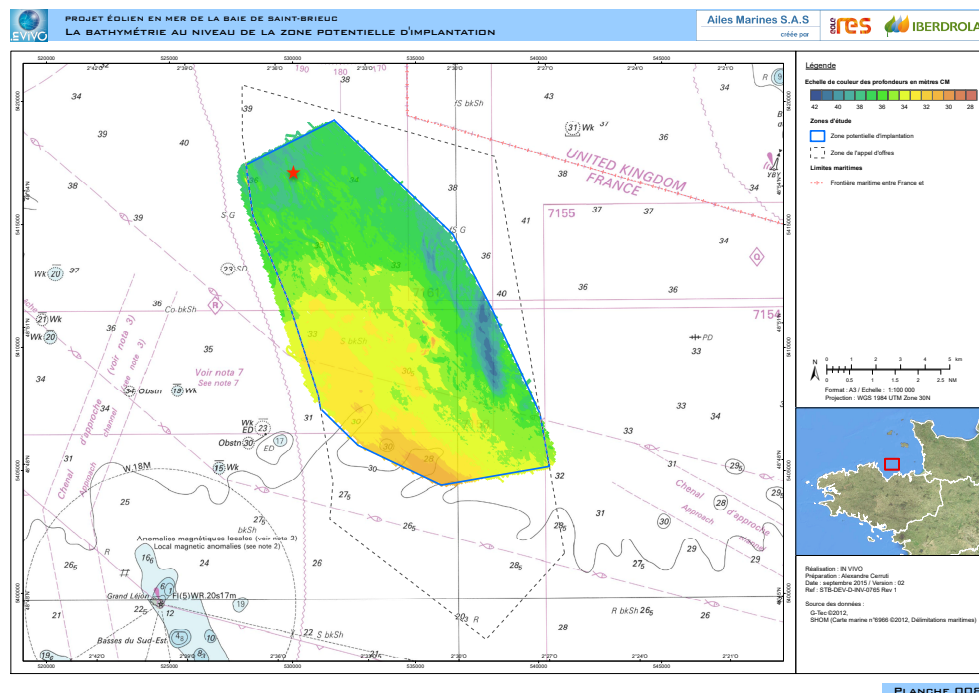
Une chaîne de traitement identique à celle utilisée précédemment est appliquée à la base de donnée. Chaque fichier .wav est divisé en segments de 20 secondes traités individuellement tels que :

- les données brutes sont converties en données acoustiques (μPa) en corrigeant par le gain d'acquisition et la sensibilité de l'hydrophone,
- Une collection de spectres est calculée en appliquant une transformée de Fourier à fenêtre glissante (LFFT=4096, overlap=0.75, Hanning window), chaque spectre est exprimé en $\text{dB re.1}\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$,
- Le calcul de la moyenne des spectres permet d'obtenir le spectre moyen ($\gamma_r(f, r_m)$) pour le segment considéré, exprimé en $\text{dB re.1}\mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$.
- Les niveaux large bande en 1/3 d'octave sont calculés pour les 30 bandes comprises entre 48 Hz et 61 kHz (Tableau)
- Les niveaux large bande sont calculés pour les 5 bandes de fréquences (B0 : [40-60000] Hz, B1 : [40-200] kHz, B2 : [200-1000] kHz, B3 : [1000-6000] kHz, B4 : [6000-10000] kHz, B5 : [10000-60000] kHz).

2.3 Cartographie de la production sonore générée par les opérations de forage et sa propagation dans la zone d'étude.

Un modèle hybride est mis en œuvre adapté aux basses et hautes fréquences. Ainsi, le code de calcul RAM basé sur la méthode de l'équation parabolique (Collins, 1993, 1994), sera utilisé pour les basses fréquences (jusqu'à 1 kHz) et Bellhop basé sur la méthode de lancer de rayons (Porter and Bucker, 1987 ; Porter and Liu, 1994), pour les hautes fréquences (supérieures à 1 kHz). Ces deux codes de calcul sont bien adaptés pour prendre en compte les variations de la morphologie bathymétrique de la zone d'étude ainsi que les variations potentielles du profil de vitesse du son dans l'eau.

La source acoustique a été positionnée au point B39 à une profondeur de 38 m (Figure 3). Cette position correspond à celle du Gargano pendant les opérations de forage du 22 Juin 2018.



★ Position de la source sonore pour la simulation acoustique (B39)

Lat : N 48°54'22.1"
Lon : O 2°35'35.6"

Figure 3 : Position de la source sonore dans la simulation acoustique correspondant également à la position du Gargano (B39) lors des mesures in situ.

Les pertes de transmission dans toutes les directions sont calculées en considérant la bande des fréquences comprises entre 40 Hz et 60 kHz, décomposée en bandes d'octave et les paramètres géo-acoustiques.

In fine, les spectres des signaux reçus sont calculés en fonction de la distance entre la source et le récepteur suivant l'équation : $RL(r,f) = SL(f) - TL(r,f)$, c'est-à-dire en soustrayant les pertes de transmissions aux gabarits du spectre du bruit rayonné par les ateliers.

L'empreinte acoustique du projet est définie comme la zone pour laquelle le niveau sonore généré par le projet, reçu à une distance ' r_m ', est supérieure au niveau de bruit ambiant. Le niveau de bruit ambiant médian de 104.1 dB re.1 μ Pa² (dans la bande B0 [40-60000] Hz) est utilisé pour définir l'empreinte acoustique du projet (résultat présenté dans la Section 3.5).

3 Résultats

Avant d'aborder l'estimation quantitative du niveau à source généré par les opérations de forage du Gargano, les propriétés spectrales des opérations de forage, du navire Gargano et du bruit ambiant sont présentées.

3.1 Exemples de spectres sonores du bruit de forage

Les Figures 5 à 12 présentent les spectrogrammes du bruit généré par les opérations de forage et enregistré à des distances variant de 170 m à 9 km du navire Gargano.

On observe 3 types de sources sonores correspondant aux activités du navire de forage Gargano:

- le bruit impulsif et répétitif des sonars et sondeurs du Gargano, à des fréquences centrées sur 21 kHz, 25 kHz, 27 kHz, 32 kHz et 50 kHz.
- un bruit large bande (de 40 Hz à 30 kHz) généré par le forage. La largeur de cette bande diminue progressivement avec la distance : les hautes fréquences se propagent moins bien que les basses fréquences.
- un bruit basse fréquence (de 40 Hz à 10 kHz) correspondant au bruit du Gargano en positionnement dynamique.

Les hautes fréquences se propageant moins bien que les basses fréquences, le bruit des sonars et sondeurs n'est plus visible sur les enregistrements à partir d'une distance Gargano-bouée de 3750 m (Figure 9)

Dans l'enregistrement effectué à 1025 m du Gargano (Figure 7), on observe un bruit généré par le forage pouvant atteindre 70 kHz pendant plusieurs minutes. Ce bruit a été observé uniquement pendant cette séquence. Un changement du régime de forage, ou une nature de roche différente (substrat plus dur) pourrait expliquer la modification des caractéristiques spectrales du bruit de forage.

Le vent et les vagues génèrent quant à eux du bruit sur toute la bande de fréquence. On retrouvera cette composante dans les enregistrements de bruit ambiant du 27 Juin 2018 (Section 3.3).

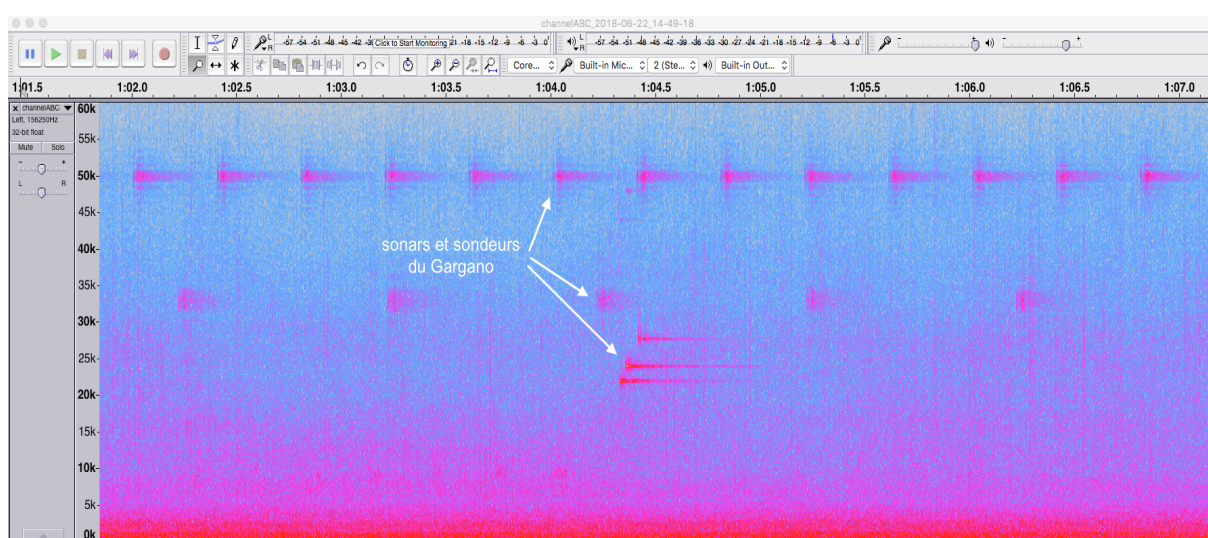
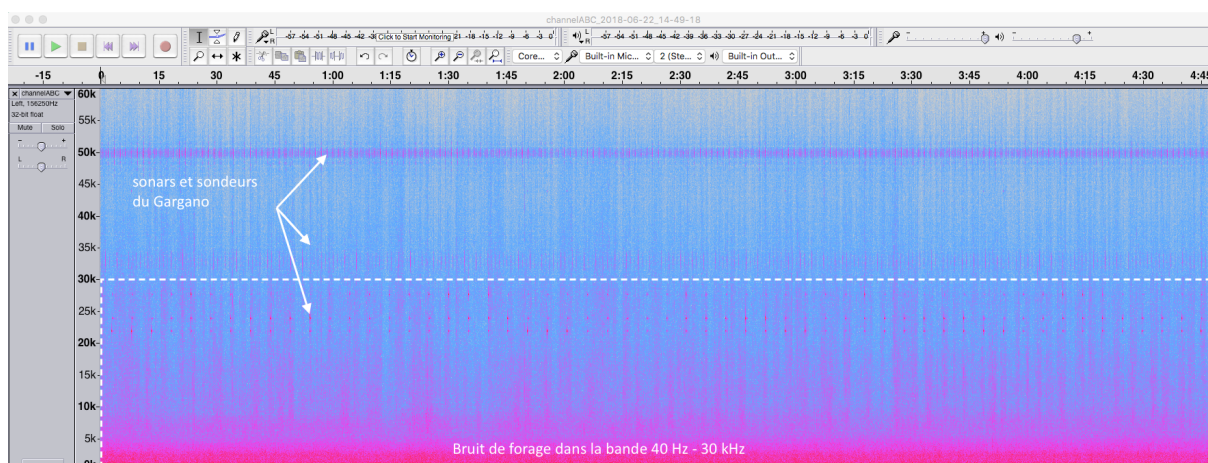


Figure 4: Spectrogramme du bruit enregistré à 170 m du Gargano pendant une opération de forage. En haut : 4min45sec de données. En bas : zoom sur 5 secondes de données pour mieux visualiser le bruit des sonars et sondeurs du Gargano.

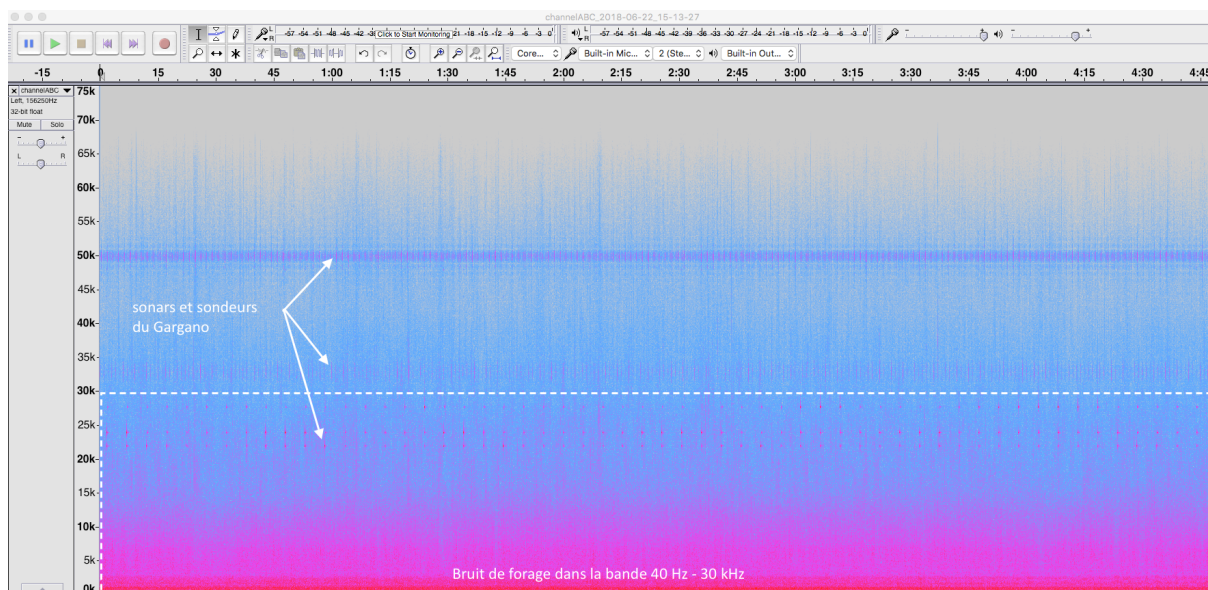


Figure 5: Spectrogramme du bruit enregistré à 380 m du Gargano pendant une opération de forage.

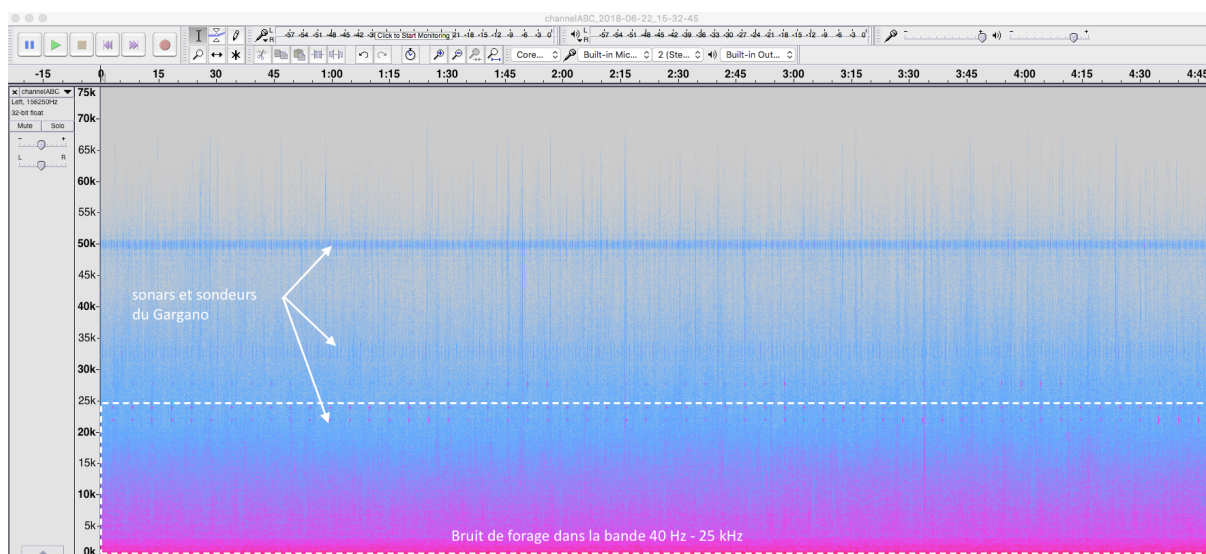


Figure 6: Spectrogramme du bruit enregistré à 620 m du Gargano pendant une opération de forage.

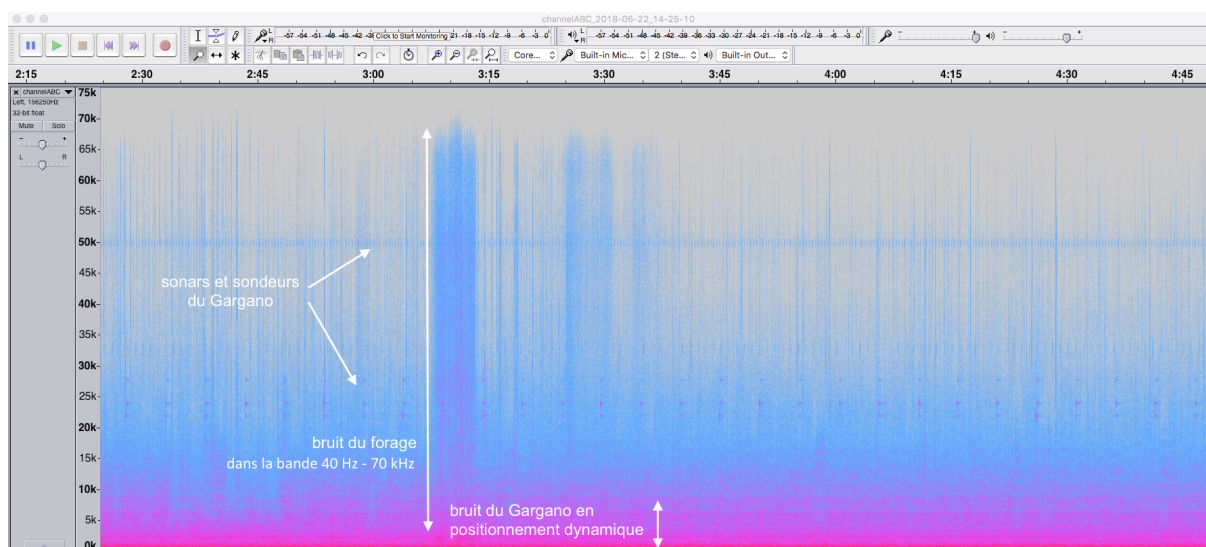


Figure 7: Spectrogramme du bruit enregistré à 1025 m du Gargano pendant une opération de forage.

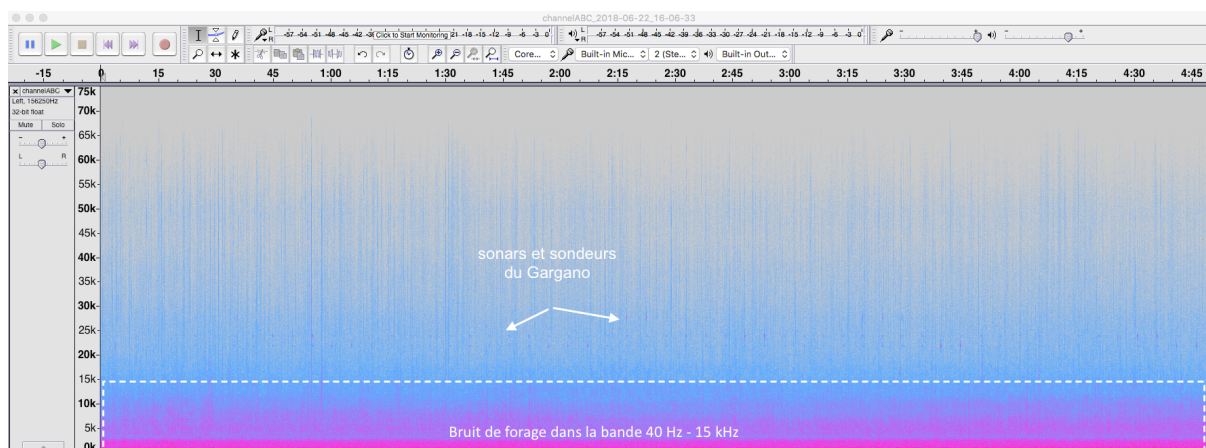


Figure 8: Spectrogramme du bruit enregistré à 1800 m du Gargano pendant une opération de forage.

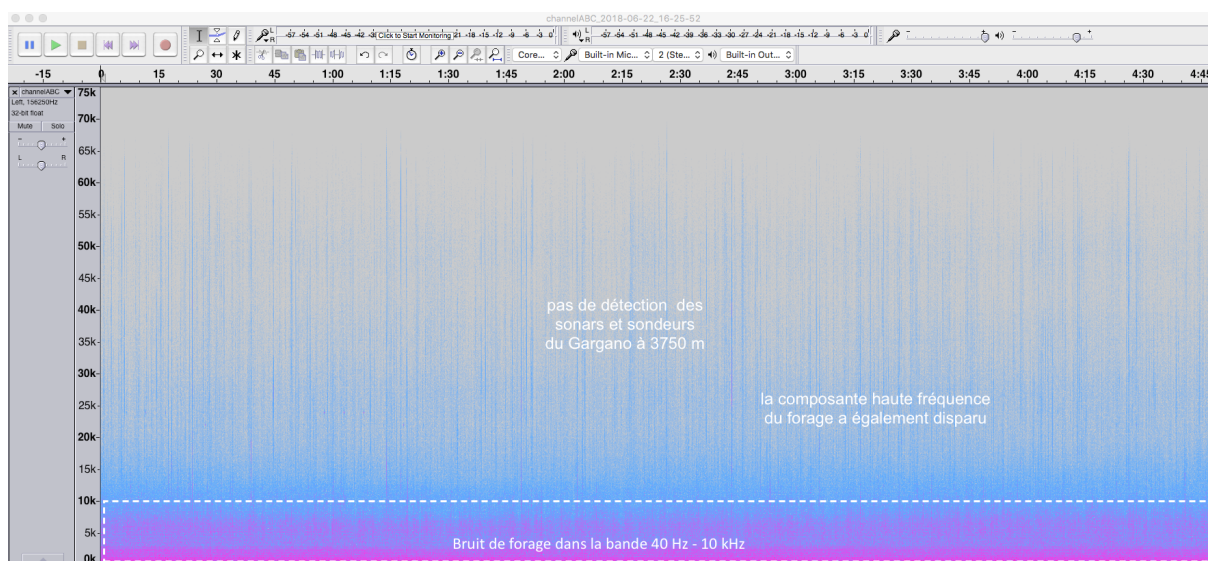


Figure 9: Spectrogramme du bruit enregistré à 3750 m du Gargano pendant une opération de forage.

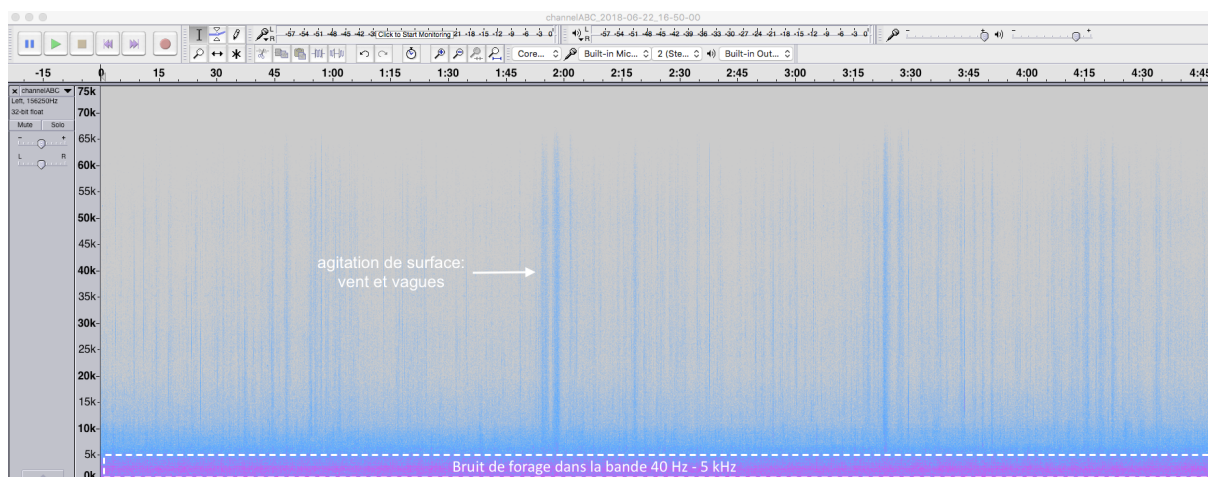


Figure 10: Spectrogramme du bruit enregistré à 5950 m du Gargano pendant une opération de forage.

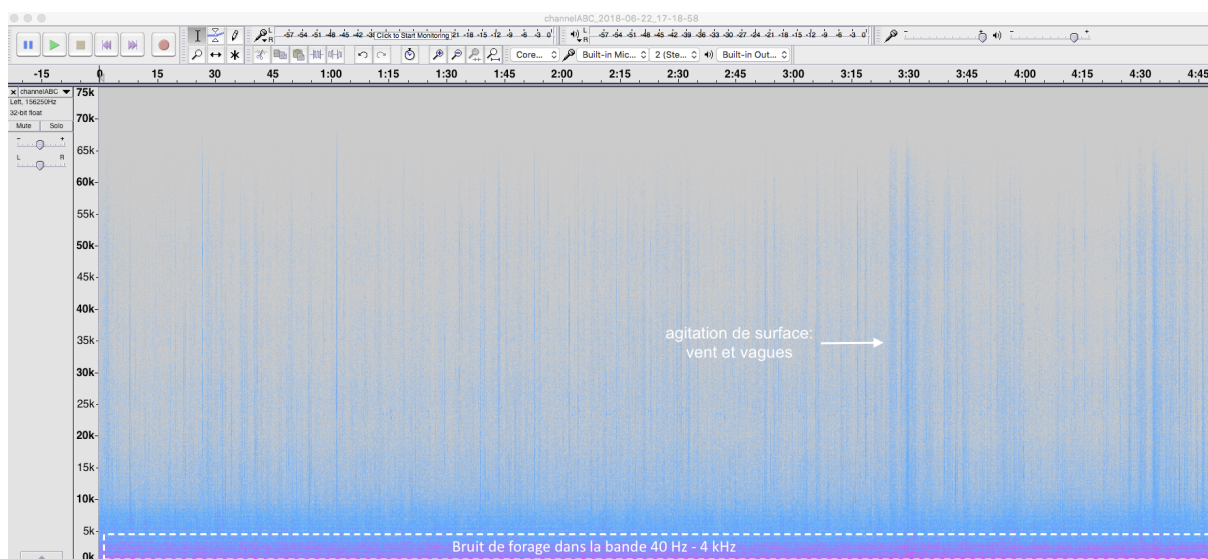


Figure 11: Spectrogramme du bruit enregistré à 9000 m du Gargano pendant une opération de forage.

3.2 Exemples de spectres sonores du navire Gargano en dehors des périodes de forage

Les opérations de forage ont été interrompues à deux reprises pendant les mesures acoustiques. Le bruit du Gargano en dehors des opérations de forage a donc été enregistré à 1800 m et 3750 m (Figures 13 et 14) et comparé au bruit de forage à ces mêmes distances dans la Section 3.4.

On observe le bruit impulsionnel des sondeurs et sonars à une distance 1800 m, mais plus à 3750 m.

La composante large bande [40 Hz-30 kHz] du bruit de forage est absente de ces enregistrements. Le bruit basse fréquence [40 Hz-10 kHz] correspond au bruit du Gargano en positionnement dynamique.

On retrouve également sur ces enregistrements le bruit du vent et des vagues.

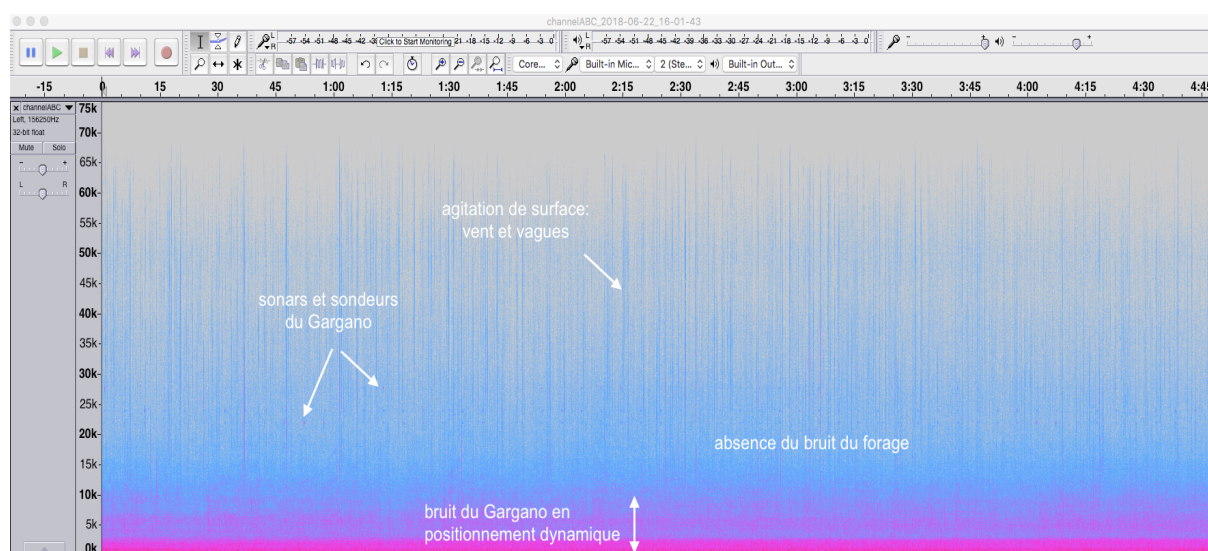


Figure 12: Spectrogramme du bruit enregistré à 1800 m du Gargano en dehors d'une opération de forage

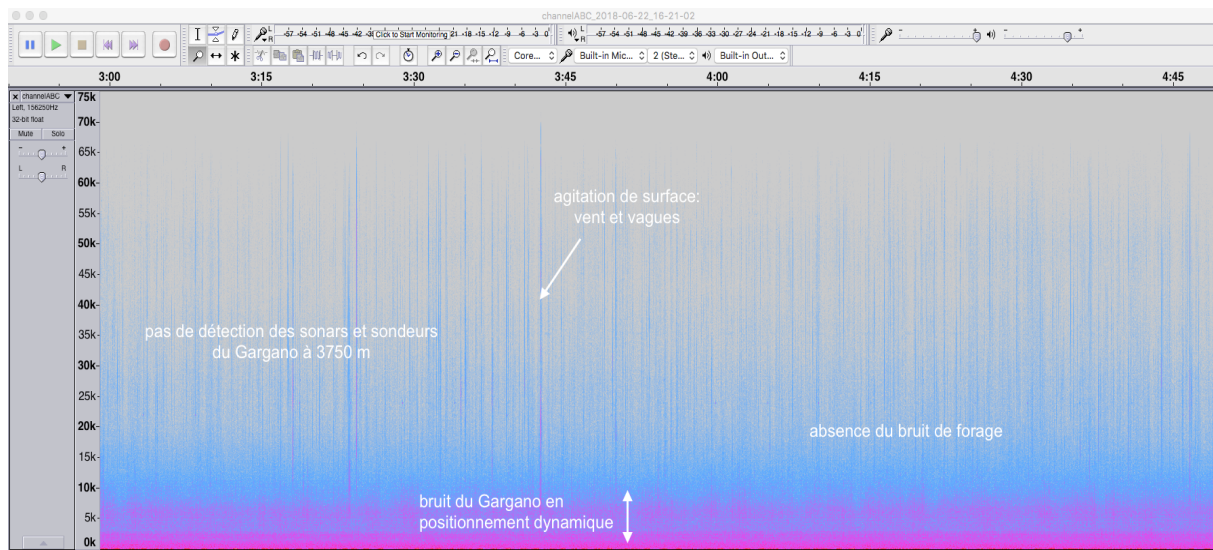


Figure 13: Spectrogramme du bruit enregistré à 3750 m du Gargano en dehors d'une opération de forage

3.3 Exemples de spectres sonores du bruit ambiant en l'absence/présence de navires de pêche

Les mesures réalisées le 27 Juin 2018 ont permis d'acquérir trois types d'enregistrements de bruit ambiant :

- bruit ambiant à proximité du point B39, en l'absence de tout type de navire ;
- bruit ambiant à 20 km au sud du point B39, à 2-3 km de deux navires de pêche ;
- bruit ambiant à 26 km au sud du point B39, à proximité d'un groupe de dauphins de Risso.

On observe une augmentation de quelques décibels du bruit ambiant en basse fréquence (dans la bande [40 Hz-2 kHz]) lorsque l'enregistrement est effectué à proximité des navires de pêche. La contribution du vent et des vagues est plus importante sur l'enregistrement le plus au large, à proximité du point B39.

Les trains de clicks des dauphins de Risso ont été détectés lorsque le groupe était à une distance inférieure à 500 m de l'enregistreur.

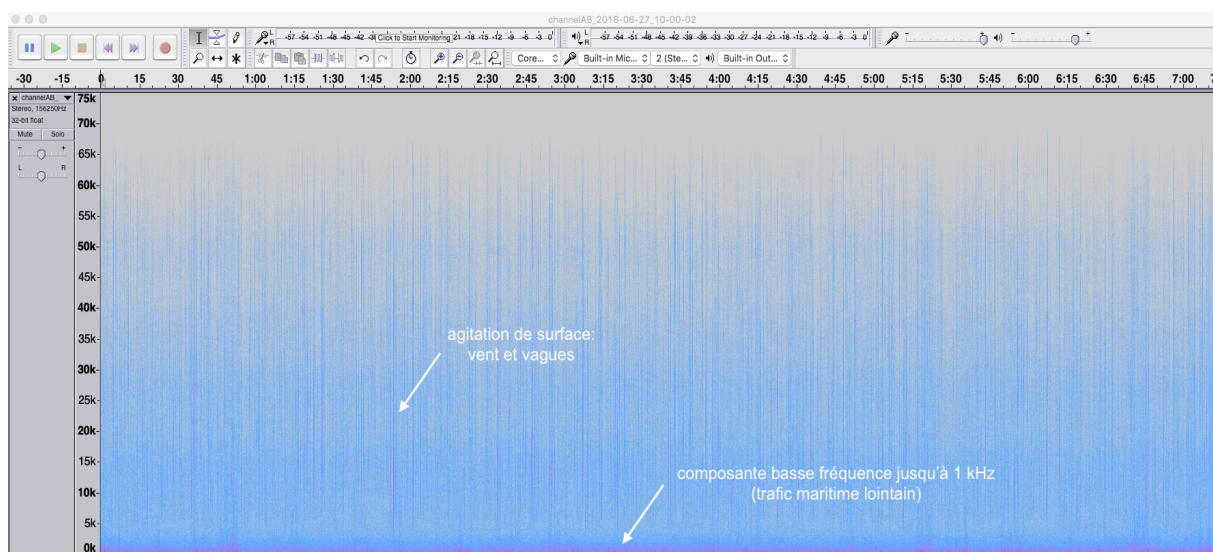


Figure 14: Spectrogramme du bruit ambiant enregistré à 170 m du point B39, en l'absence de navire de pêche

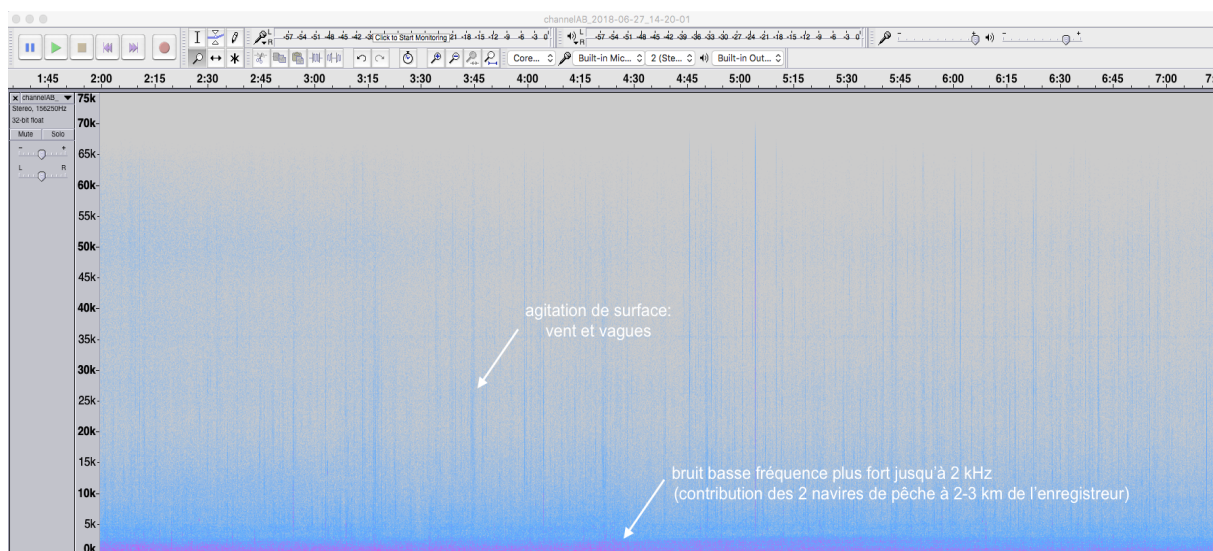


Figure 15: Spectrogramme du bruit ambiant enregistré à 2-3 km de deux navires de pêche

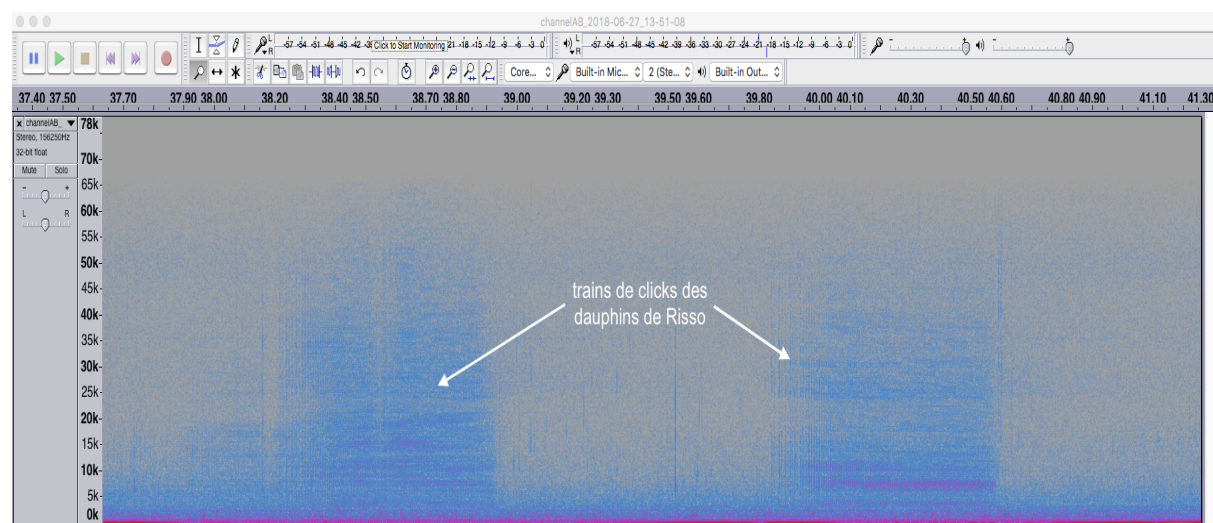


Figure 16: Spectrogramme du bruit ambiant enregistré en présence de dauphins de Risso

3.4 Comparaison des spectres du bruit ambiant et bruit de forage

Pour évaluer l'importance du niveau de bruit de forage, la distribution statistique (médiane et écart-type) du spectre acoustique mesuré à 170 m du Gargano est comparée avec les spectres du bruit ambiant mesuré en absence/présence de navires de pêche et avec le spectre de Wenz ([Wenz, 1962](#)) (Figure 17).

Les conditions océano-météo étant similaires les 22 et 27 Juin, il est possible de comparer le spectre de bruit ambiant (en bleu, Figure 17) et le spectre du forage (en vert, Figure 18), issus de mesures réalisées au même point (B39, 170 m du Gargano).

Les niveaux spectraux du bruit ambiant observés sur la zone d'étude sont compatibles avec le modèle de Wenz. On observe une augmentation de quelques décibels du bruit ambiant en basse fréquence (dans la bande [40 Hz-2 kHz]) lorsque l'enregistrement est effectué à proximité des navires de pêche (en vert, Figure 17). En effet, la contribution du vent et des vagues est plus importante sur l'enregistrement effectué le plus au large, à proximité du point B39 (en bleu, Figure 17).

Les niveaux spectraux du bruit généré par le Gargano pendant les opérations de forage est environ 20 dB (re $1\mu\text{Pa}^2 / \text{Hz}$) au dessus des niveaux du bruit ambiant (en rouge, Figure 17). Le bruit du forage et du positionnement dynamique est responsable de cette augmentation pour les fréquences jusqu'à 30 kHz. Les sonars et les sondeurs du Gargano sont responsables des pics dans les hautes fréquences (>20 kHz) du spectre.

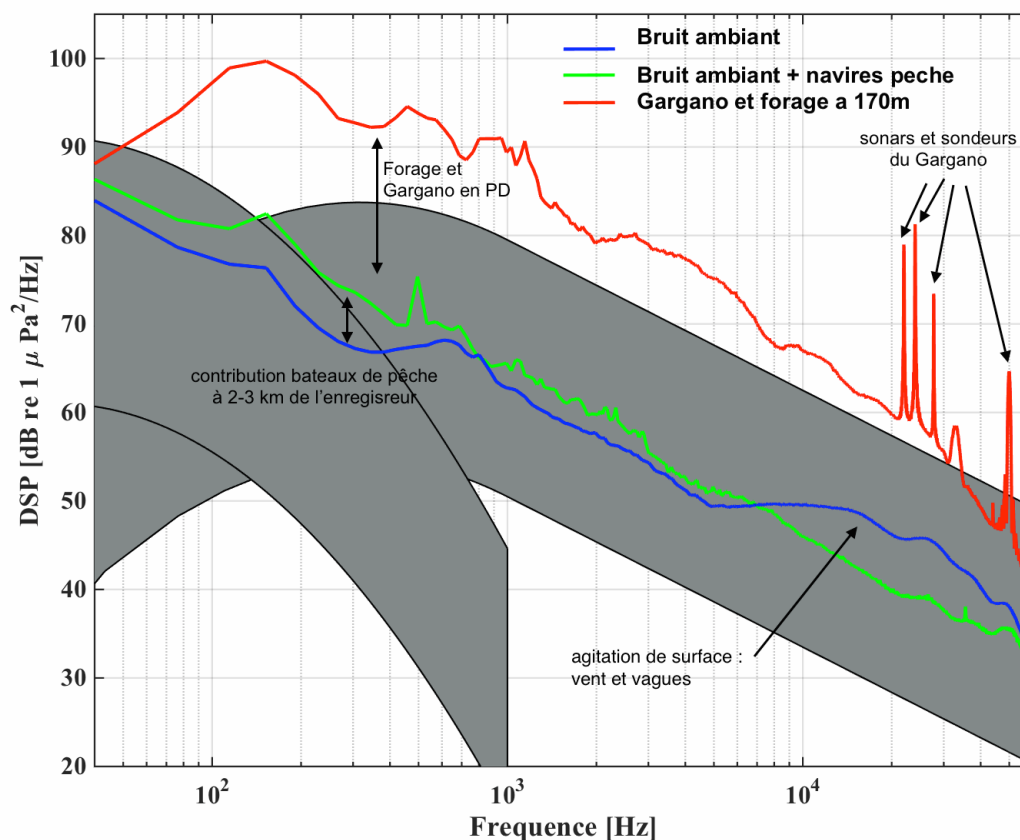


Figure 17 : Comparaison du spectre sonore du bruit de forage et du bruit ambiant avec le spectre de Wenz.
Légende : En gris : composantes (trafic maritime, agitation de la surface par le vent) du spectre de Wenz, pour un indice de trafic variant entre 1 (faible) et 7 (fort) et une vitesse du vent variant entre 1m/s et 30m/s (2 nœuds à 60 nœuds). En bleu : bruit ambiant mesuré le 27 Juin à 170 m du point B39. En vert : bruit ambiant mesuré le 27 Juin à 2-3 km de deux navires de pêche. En rouge : bruit mesuré le 22 Juin 2018 à 170m du Gargano pendant une opération de forage

3.5 Niveaux sonores du bruit ambiant

Les niveaux sonores large bande du bruit ambiant ont été calculés sur six bandes fréquentielles correspondant aux différentes sources sonores (Tableau 2 et Tableau 4).

Pour le bruit ambiant en absence de tout type de navire (bruit ambiant mesuré sur les positions similaires aux dérives du 22 Juin), le niveau médian sur toute la bande de fréquence (B0 : [40 - 60000] Hz) est de 104.1 dB re.1μPa² (Tableau 2). Le Tableau 3 présente les centiles des niveaux en tiers d'octave pour des tiers d'octave allant de 40 Hz à 60 kHz.

Pour le bruit ambiant à 2-3 km de deux navires de pêche, le niveau médian sur toute la bande de fréquence (B0 : [40 - 60000] Hz) est de 107.0 dB re.1μPa² (Tableau 4).

Le niveau médian de 104.1 dB re.1μPa² sera utilisé pour définir l'empreinte acoustique du projet.

Tableau 2 : Bruit ambiant en absence de tout type de navire. Bandes fréquentielles d'évaluation des niveaux sonores large bande et niveaux médians mesurés et intervalle $\pm$ un écart-type

BANDE B0 Totalité de la bande de fréquence	BANDE B1	BANDE B2	BANDE B3	BANDE B4	BANDE B5
[40 - 60000] Hz	[40 - 200] Hz	[200 - 1000] Hz	[1000 - 6000] Hz	[6000 - 10000] Hz	[10000 - 60000] Hz
104.1 ($\pm$ 2.0) dB re.1 μ Pa ²	101.7 ($\pm$ 2.5) dB re.1 μ Pa ²	96.6 ($\pm$ 1.7) dB re.1 μ Pa ²	92.6 $\pm$ (1.4) dB re.1 μ Pa ²	85.6 ($\pm$ 2.2) dB re.1 μ Pa ²	80.4 ($\pm$ 2.0) dB re.1 μ Pa ²

Tableau 3 : Niveaux en tiers d'octave du bruit ambiant mesurés le 22 Juin 2018 en absence de tout type de navire

Fréquence centrale (Hz)	Niveau moyen (dB re 1 μ Pa ²)	Ecart-type (dB)	Distribution des centiles (dB re 1 μ Pa ²)									
			1er	5ème	10ème	25ème	médiane	75ème	90ème	95ème	99ème	
60	98,4	2,5	92,7	94,2	95,1	96,8	98,2	100,1	101,9	102,6	103,9	
76	100,3	2,6	94,5	95,9	96,9	98,6	100,0	102,1	103,9	104,6	106,0	
95	101,2	2,6	95,6	96,9	97,7	99,7	101,1	102,9	104,8	105,5	106,8	
120	96,7	3,1	90,4	91,7	93,0	94,6	96,4	98,8	100,6	102,4	103,7	
151	94,7	3,0	88,2	89,5	90,8	92,7	94,5	96,8	98,5	99,6	101,0	
190	96,1	2,9	89,8	91,1	92,5	94,1	95,8	98,1	99,7	100,7	102,0	
240	94,1	2,7	87,7	89,5	90,7	92,3	93,8	96,1	97,7	98,3	98,9	
302	89,8	2,0	85,2	86,5	87,3	88,5	89,7	91,3	92,3	93,0	94,0	
381	91,0	1,7	86,8	88,1	88,7	89,9	90,9	92,2	93,2	93,8	94,7	
480	91,8	1,7	87,7	88,6	89,6	90,7	91,8	93,0	93,9	94,5	95,1	
605	92,4	1,7	88,1	89,3	90,2	91,1	92,4	93,6	94,5	95,0	95,7	
762	92,6	1,6	88,6	90,0	90,5	91,4	92,6	93,8	94,6	95,0	95,6	
960	91,1	1,4	88,0	88,9	89,3	90,1	91,1	92,1	92,9	93,4	94,2	
1210	88,9	1,3	85,9	86,9	87,3	88,1	88,8	89,7	90,6	91,0	91,9	
1524	88,3	1,4	84,9	86,2	86,5	87,3	88,0	89,3	90,2	90,4	91,6	
1920	87,7	1,7	84,0	85,3	85,8	86,7	87,5	88,5	90,5	90,9	91,9	
2419	87,0	2,0	83,2	84,2	84,7	85,6	86,6	87,6	90,4	90,9	91,7	
3048	86,0	2,0	82,6	83,2	83,7	84,7	85,7	86,7	89,3	89,8	90,8	
3840	84,7	1,6	81,5	82,4	82,8	83,6	84,5	85,4	87,1	87,6	88,2	
4838	83,7	0,9	81,3	82,3	82,5	83,0	83,6	84,3	84,9	85,1	85,7	
6096	83,9	1,2	81,0	81,6	82,2	83,1	84,0	84,7	85,2	85,5	86,3	
7680	84,4	2,2	79,8	80,4	80,8	82,1	85,2	86,0	86,5	86,9	87,6	
9676	84,6	3,4	78,0	78,6	79,1	80,7	86,1	87,1	87,8	88,1	88,6	
12191	84,8	4,3	76,2	77,3	77,8	79,7	86,8	88,0	88,8	89,3	89,7	
15360	84,7	4,8	75,2	76,3	76,8	79,4	87,0	88,1	89,2	89,7	90,0	
19352	84,1	4,9	74,4	75,4	75,9	78,8	86,4	87,6	88,8	89,2	89,5	
24382	83,9	4,9	74,3	75,1	75,6	78,5	86,2	87,3	88,7	89,0	89,4	
30720	83,4	4,7	74,2	74,9	75,4	78,4	85,5	86,8	88,1	88,5	89,0	
38705	81,7	4,3	73,2	74,1	74,6	77,1	83,5	84,9	86,2	86,6	87,1	
48765	79,7	3,8	72,2	73,2	73,6	75,7	81,1	82,7	83,9	84,2	84,7	

Tableau 4 : Bruit ambiant à 2-3 km de deux navires de pêche. Bandes fréquentielles d'évaluation des niveaux sonores large bande et niveaux médians mesurés et intervalle $\pm$ un écart-type

BANDE B0 Totalité de la bande de fréquence	BANDE B1	BANDE B2	BANDE B3	BANDE B4	BANDE B5
[40 - 60000] Hz	[40 - 200] Hz	[200 - 1000] Hz	[1000 - 6000] Hz	[6000 - 10000] Hz	[10000 - 60000] Hz
107.0($\pm$ 1.9) dB re.1 μ Pa ²	104.8 ($\pm$ 2.4) dB re.1 μ Pa ²	100.9 ($\pm$ 1.4) dB re.1 μ Pa ²	94.8 $\pm$ (1.3) dB re.1 μ Pa ²	84.8 ($\pm$ 0.8) dB re.1 μ Pa ²	74.8 ($\pm$ 0.8) dB re.1 μ Pa ²

3.6 Pertes de transmission et estimation du niveau sonore à la source du bruit de forage

Le niveau reçu en fonction de la distance r_m bouée acoustique – Gargano et du logarithme en base 10 de la distance est présenté pour les 6 bandes de fréquences B_i sur les Figures 18 et 19 respectivement.

On observe un très bon accord entre les mesures et le modèle logarithmique (Figure 19).

La régression linéaire permet d'obtenir les niveau à la source $SL(B_i)$ et le coefficient de perte de transmission $K(B_i)$ pour les 6 bandes de fréquence B_i :

Tableau 5 : Niveau à la source et coefficient de perte de transmission pour 6 bandes de fréquence

	BANDE B0 Totalité de la bande de fréquence [40 - 60000] Hz	BANDE B1 [40 - 200] Hz	BANDE B2 [200 - 1000] Hz	BANDE B3 [1000 - 6000] Hz	BANDE B4 [6000 - 10000] Hz	BANDE B5 [10000 - 60000] Hz
Niveau à la source SL	172 dB re 1 μ Pa ² @1m	164 dB re1 μ Pa ² @1m	170 dB re1 μ Pa ² @1m	166 dB re1 μ Pa ² @1m	153 dB re1 μ Pa ² @1m	152 dB re1 μ Pa ² @1m
Perte de transmission $K \cdot \log_{10}(r_m)$	$-20 \cdot \log_{10}(r_m)$	$-20 \cdot \log_{10}(r_m)$	$-20 \cdot \log_{10}(r_m)$	$-20 \cdot \log_{10}(r_m)$	$-20 \cdot \log_{10}(r_m)$	$-20 \cdot \log_{10}(r_m)$

La perte de transmission logarithmique ($-20 \cdot \log_{10}(r_m)$) correspond à la perte conventionnelle de propagation par divergence sphérique (étalement de l'énergie acoustique émise sur une surface de plus en plus importante). Ceci se traduit par une diminution très importante du niveau sonore reçu en champ proche : à 170 m du navire de forage, le niveau reçu s'est déjà atténué de 45 dB. Le Tableau 6 présente le niveau du bruit de forage reçu en fonction de la distance à la source sonore. A une distance de 2500 m du navire de forage, le niveau reçu correspondant au bruit des travaux est similaire au bruit ambiant (bruit mesuré en absence de navire de forage, Section 3.5).

Tableau 6 : Niveau du bruit de forage reçu en fonction de la distance au navire de forage

	Distance à la source (navire de forage) = 1 m	Distance à la source (navire de forage) = 170 m	Distance à la source (navire de forage) = 500 m	Distance à la source (navire de forage) = 1000 m	Distance à la source (navire de forage) = 2500 m	Distance à la source (navire de forage) = 3100 m
Niveau reçu RL	172 dB re1μPa² @1m	172- 20*log ₁₀ (170) = 127 dB re1μPa² @1m	172- 20*log ₁₀ (500) = 118 dB re1μPa² @1m	172- 20*log ₁₀ (1000) = 112 dB re1μPa² @1m	172- 20*log ₁₀ (2500) = 104 dB re1μPa² @1m	172- 20*log ₁₀ (2500) = 102 dB re1μPa² @1m

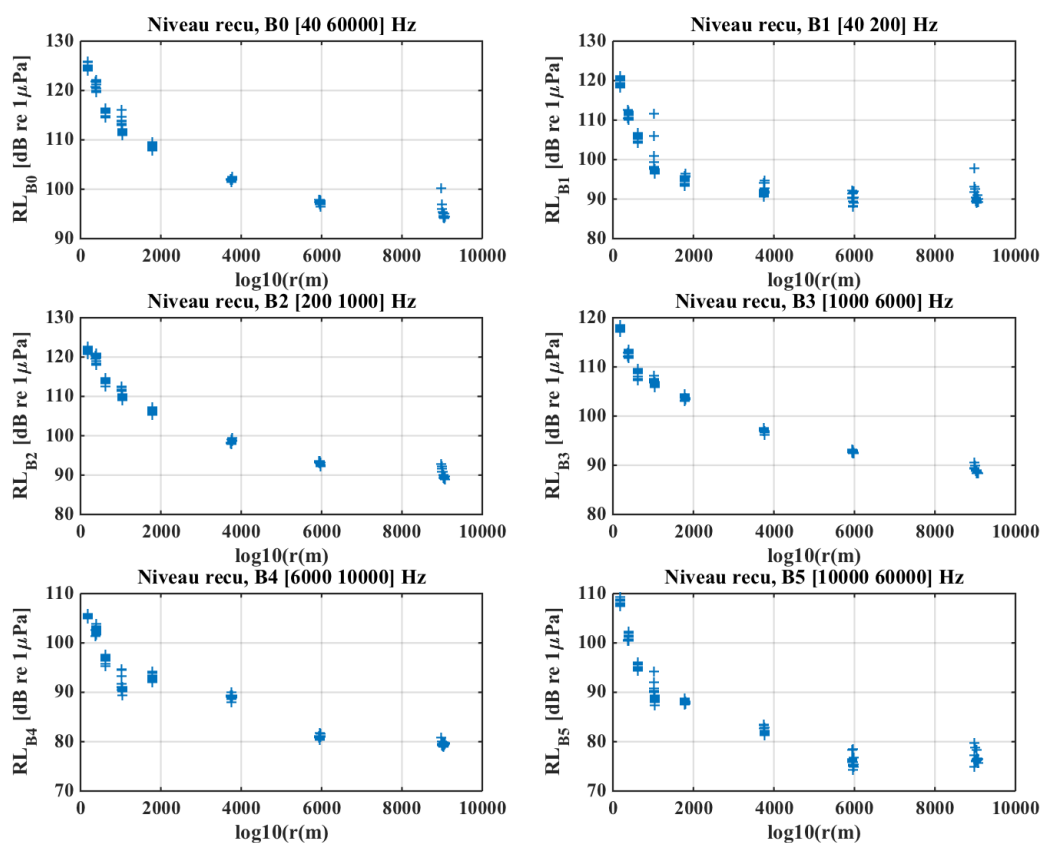


Figure 18 : Niveau reçu RL dans les bandes de fréquences B0 à B5 en fonction de la distance 'r_m' bouée acoustique – Gargano ('r_m' compris entre 170 m et 9 km).

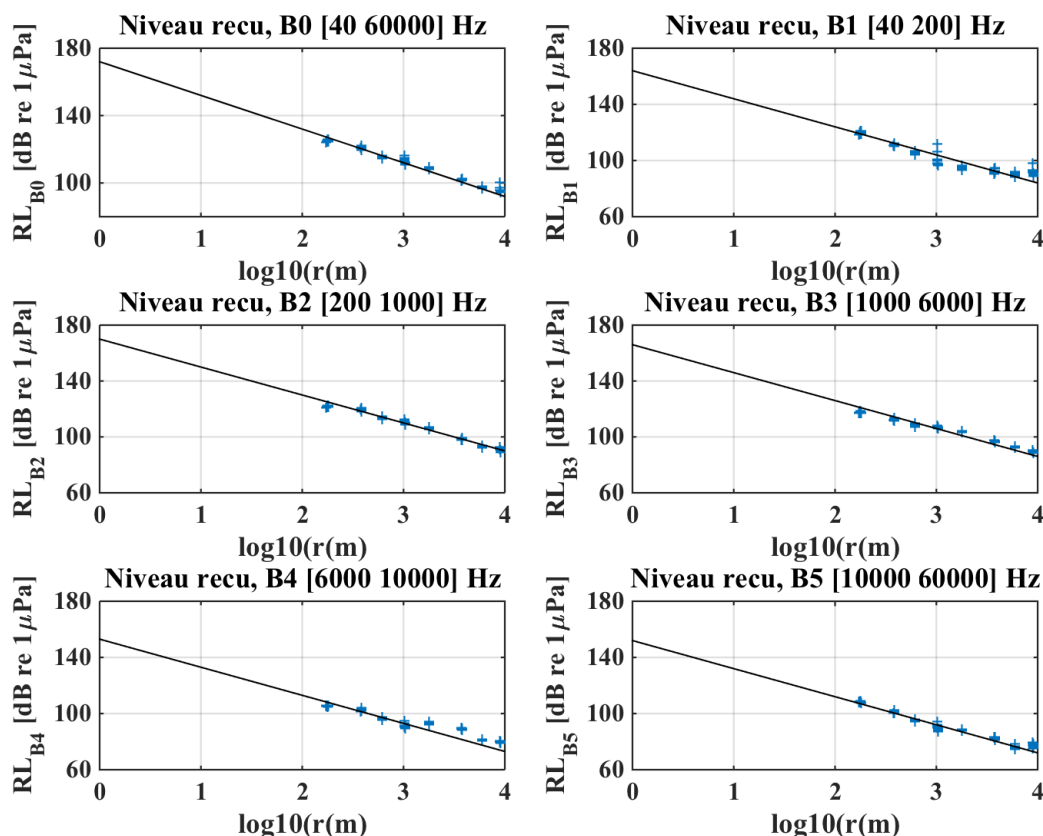


Figure 19 : Niveau reçu RL dans les bandes de fréquences B0 à B5 en fonction du logarithme en base 10 de la distance 'r_m' bouée acoustique – Gargano ('r_m' compris entre 170 m et 9 km). En noir : résultat du modèle de régression linéaire. Il y a un très bon accord entre les mesures et ce modèle.

3.7 Cartographie de l'empreinte acoustique du bruit de forage

Dans la présente étude, le niveau médian du bruit ambiant mesuré vaut 104.1 dB re.1μPa² dans la bande de fréquence [40 Hz - 60 kHz]. L'empreinte acoustique du bruit de forage est définie pour des niveaux reçus excédant ce niveau de référence dans la même bande de fréquence.

La source du bruit de forage a été placée au point B39, à une profondeur de 35 m.

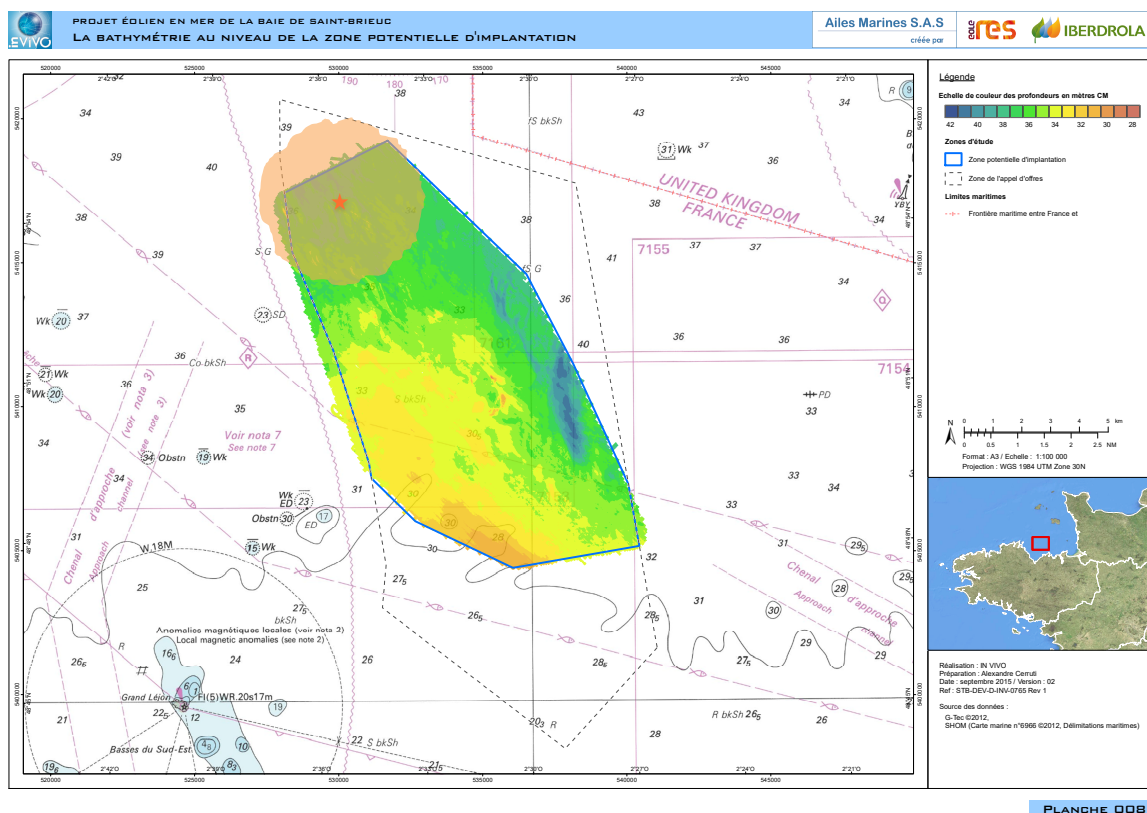
La bathymétrie autour de ce point étant relativement constante, la forme de l'empreinte acoustique est proche d'un cercle. L'empreinte acoustique possède un rayon moyen de 3,1 km et d'une surface de 30 km² pour un niveau sonore du bruit de forage de 172 dB re.1μPa²@1m dans la bande de fréquence [40 Hz - 60 kHz] (Figure 20).

Le rayon moyen de cette empreinte est supérieur à celui calculé avec le modèle empirique (2,5 km, Tableau 6). Le modèle empirique a été dérivé à partir des mesures in situ le long d'une seule radiale effectuée en direction des profondeurs plus faibles (Rapport 1, Figure 2). Le modèle de cartographie acoustique utilise une bathymétrie détaillée et calcule les pertes de propagation dans toutes les directions, notamment vers

les profondeurs plus importantes où la propagation acoustique est favorisée, générant ainsi une empreinte acoustique légèrement plus grande.

A titre de comparaison, le niveau sonore de $172 \text{ dB re.1}\mu\text{Pa}^2@1\text{m}$ est similaire au bruit généré par des activités d'ensouillage de câble pour creuser des tranchées sous-marine et au bruit généré par un navire de 80 m.

L'aire de cette empreinte sonore est relativement limitée. Si l'on étend cette empreinte sonore à tous les points de forage de l'aire d'étude, le bruit du forage est limité au périmètre d'implantation des éoliennes.



★ Position de la source sonore pour la simulation acoustique (B39)

Lat : N 48°54'22.1"
Lon : O 2°35'35.6"

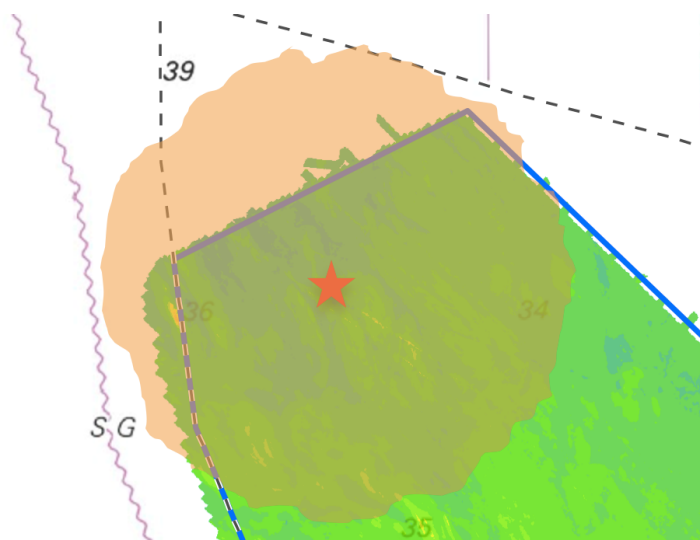
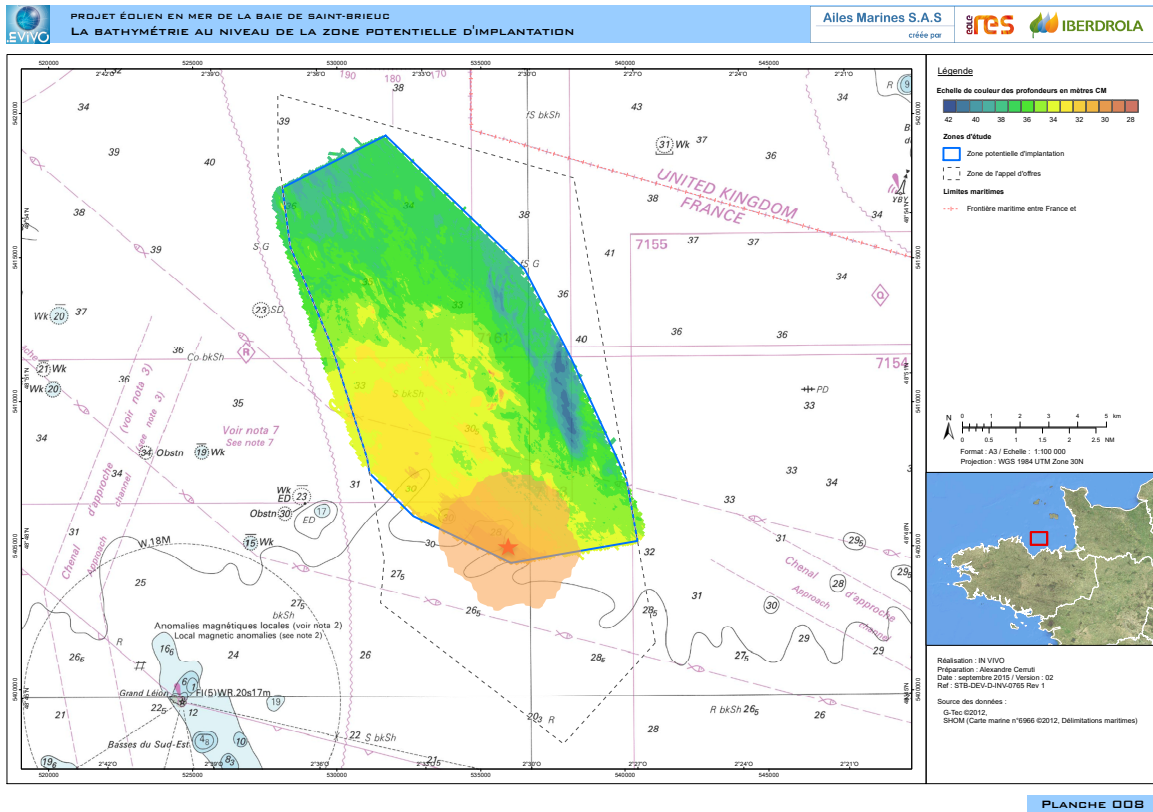


Figure 20 : En haut : Empreinte acoustique (en orange) pour un niveau de bruit ambiant médian de 104.1 dB mesuré dans la zone d'étude et un niveau source au point P39 de 172 dB re.1 μ Pa² @ 1m. Cette empreinte correspond à $SL-TL \geq ANL$, où ANL désigne le niveau de bruit ambiant (172 dB re.1 μ Pa²@1m). En bas : zoom sur l'empreinte acoustique.

A titre de comparaison et pour illustrer les phénomènes de propagation acoustique liés à la bathymétrie, une source de bruit de forage a été placée au sud de la zone d'implantation des éoliennes à une profondeur plus faible (28 m) que le cas précédent. Ce point étant plus proche de la côte, la zone est caractérisée par une augmentation de la profondeur au Nord et une diminution au Sud (Figure 21). On remarque que la forme de l'empreinte acoustique diffère du cas précédent, avec une propagation plus importante vers les profondeurs plus élevées et une propagation plus limitée en direction de la côte. La surface de l'empreinte acoustique est de 24 km², plus faible que pour la simulation au point B39 en raison des effets de propagation liés à la bathymétrie (le son se propage moins bien dans les profondeurs faibles).



★ Position de la source sonore pour la simulation acoustique (profondeur plus faible, plus proche de la côte)

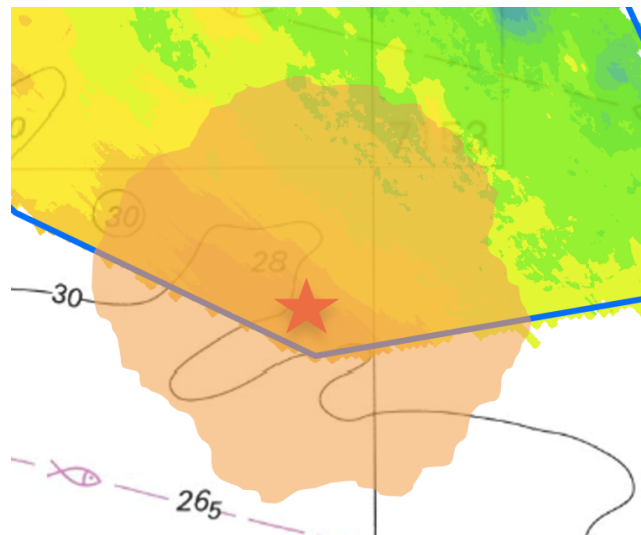


Figure 21 : En haut : Empreinte acoustique (en orange) pour un niveau de bruit ambiant médian de 104.1 dB mesuré dans la zone d'étude et un niveau source au sud de la zone d'implantation de 172 dB re.1μPa² @ 1m. Cette empreinte correspond à SL-TL >= ANL, où ANL désigne le niveau de bruit ambiant (172 dB re.1μPa²@1m). En bas : zoom sur l'empreinte acoustique.

4 Synthèse

Des mesures acoustiques de bruit de carottage et de bruit ambiant ont été effectuées dans l'aire d'étude du futur parc éolien en mer de Saint Brieuc pour caractériser et mesurer le bruit émis par un navire de forage, et cartographier l'empreinte acoustique d'une campagne de forage géotechnique.

Les mesures de bruit ambiant ont été effectuées le 27 Juin 2018 par une bouée acoustique dérivante, à des distances variant de 170 m à 26 km du point de référence B39 (position du Gargano pendant les mesures du bruit de forage le 22 Juin), en absence de navires de forage (le Gargano et le Normand Flower avaient fini leurs opérations et quitté la zone).

Pour le bruit ambiant en absence de tout type de navire, le niveau médian sur toute la bande de fréquence (B0 : [40 - 60000] Hz)) est de 104.1 dB re.1 μ Pa². Pour le bruit ambiant à 2-3 km de deux navires de pêche, le niveau médian sur toute la bande de fréquence (B0 : [40 - 60000] Hz)) est de 107.0 dB re.1 μ Pa².

Les mesures de bruit de forage ont été effectuées le 22 Juin 2018 par une bouée acoustique dérivante, à des distances variant de 170 m à 9km du Gargano. Le Gargano était positionné sur le point de référence B39. Le bruit du Gargano a été mesuré pendant des opérations de forage et en dehors de périodes de forage.

On observe 3 types de sources sonores correspondant aux activités du navire de forage Gargano:

- le bruit impulsif et répétitif des sonars et sondeurs du Gargano, à des fréquences centrées sur 21 kHz, 25 kHz, 27 kHz, 32 kHz et 50 kHz,
- un bruit large bande (de 40 Hz à 30 kHz) généré par le forage,
- un bruit basse fréquence (de 40 Hz à 10 kHz) correspondant au bruit du Gargano en positionnement dynamique.

Les hautes fréquences se propageant moins bien que les basses fréquences, le bruit des sonars et sondeurs n'est plus visible sur les enregistrements à partir d'une distance bouée-Gargano de 3750 m.

Le niveau reçu en fonction de la distance r_m (bouée acoustique – Gargano) et du logarithme en base 10 de la distance a permis d'estimer le niveau à la source du bruit de forage. On obtient un niveau de 172 dB re.1 μ Pa²@1m sur la bande de fréquence [40 Hz - 60 kHz]. A titre de comparaison, ce niveau sonore est similaire au bruit généré par des activités d'ensouillage de câble pour creuser des tranchées sous-marine et au bruit généré par un navire de 80 m.

L'empreinte acoustique du bruit de forage est définie pour des niveaux reçus excédant le niveau médian du bruit ambiant de référence (104.1 dB re.1 μ Pa²) dans la bande de fréquence [40 Hz - 60 kHz]. L'empreinte acoustique possède un rayon moyen de 3,1 km et d'une surface de 30 km² pour un niveau sonore du bruit de forage de 172 dB re.1 μ Pa²@1m.



L'aire de cette empreinte acoustique est relativement limitée. Si l'on étend cette empreinte à tous les points de forage de l'aire d'étude, l'empreinte acoustique totale du bruit de forage est limité au périmètre d'implantation des éoliennes.

5 Summary of results

Acoustic measurements of drilling and ambient noise were carried out in the study area of the Saint Brieuc offshore wind farm to describe and measure the noise emitted by a drilling vessel, and map the acoustic footprint of a drilling campaign.

Ambient noise measured were conducted on June 27th 2018, using an acoustic drifting buoy at distances varying between 170 m and 26 km of the reference location B39 (location of the Gargano during drilling noise measurements on June 22nd), in the absence of drilling vessels (the Gargano and Normand Flower had finished their drilling campaign and had left the area).

In the absence of any type of vessel, the ambient noise median level over the full frequency band ($B0 : [40 - 60000] \text{ Hz}$) is 104.1 dB re.1 μPa^2 .

The ambient noise median level 2-3 km away from two fishing vessels is 104.1 dB re.1 μPa^2 over the full frequency band ($B0 : [40 - 60000] \text{ Hz}$).

Drilling noise measurements were conducted on June 22th 2018, using an drifting acoustic buoy. The Gargano was drilling on the reference location B39. The noise emitted by the Gargano during and outside drilling periods was measured at distances varying between 170 m and 9 km from the Gargano.

3 types of sound sources corresponding to the Gargano drilling activities were observed :

- sonars and sounders impulsive and repetitive sounds, at frequencies centered on 21 kHz, 25 kHz, 27 kHz, 32 kHz and 50 kHz,
- a wide-band noise (40 Hz to 30 kHz) caused by the drilling,
- a low frequency noise (40 Hz to 10 kHz) generated by Gargano dynamic positioning.

Since low frequencies propagate better than high frequencies, sonars et sounders noises disappear from the recording for ranges higher than 3700 m.

The received level as a function of range r_m (drifting acoustic buoy – Gargano) and base-10 logarithm allowed to estimate the drilling source level: 172 dB re.1 μPa^2 @1m over the frequency band [40 Hz - 60 kHz]. As a comparison, this sound level is similar to the one generated by cable-laying operations and by an 80-m long vessel.

The drilling noise acoustic footprint is defined for received levels higher than the ambient noise median level (104.1 dB re.1 μPa^2) over the frequency band [40 Hz - 60 kHz]). The acoustic footprint has a medium radius of 3,1 km and an area of 30 km² for a drilling noise level of 172 dB re.1 μPa^2 @1m.



The area of the acoustic footprint is relatively limited. If we extend this footprint for all the drilling locations of the study area, the overall acoustic footprint is limited to the offshore wind farm perimeter.