

Etat initial du bruit ambiant sur la zone d'étude Du Raz Blanchard

Rapport V0



SINAY

MARITIME DATA SOLUTION

SUIVI DU DOCUMENT

Version	Date de rédaction	Rédacteurs	Relecture et validation
1	27/09/2021	<i>Achraf Drira</i>	<i>Fabrice LEROY</i>
2	28/09/2021		X

SOMMAIRE

1	Contexte et enjeux	8
1.1	Contexte scientifique	8
1.2	Contexte réglementaire	8
1.3	objectifs de l'étude	9
2	Méthodologie	10
2.1.1	Méthodologie générale	10
2.1.2	Méthodologie proposée pour effectuer l'étape 1.....	11
3	MESURE DU BRUIT AMBIANT	14
3.1	Matériel utilisé pour la mesure de l'ambiance sonore	14
3.1.1	Les enregistreur RTsys avec hydrophone HDI-99-HF	14
3.2	Evolution du niveau de bruit dans la zone d'étude durant la période des enregistrements	15
3.2.1	Quantification des niveaux de bruit	16
	Analyse des résultats de mesure.....	17
3.2.2	Analyses Temps-Fréquences	17
4	Modélisation du bruit ambiant	21
4.1	Introduction à la modélisation numérique du bruit	21
4.2	Principe des études de modélisation du bruit sous-marin.....	21
4.3	La zone de modélisation	23
4.4	Recueil des données d'entrée du modèle	24
4.4.1	Les données utilisées dans la modélisation du bruit ambiant	24
4.4.2	Identification des sources de bruit.....	25
4.4.3	Les données de l'environnement	26
4.4.4	Les données anthropiques	29
4.4.5	Les données d'entrée des sources sonores.....	30
4.5	Choix du modèle de propagation	34
4.6	Calibration active.....	35
4.7	Calibration passive.....	38
4.8	Résultats de la modélisation	39
5	Conclusion	48

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Méthodologie de SINAY _____	10
Figure 2 : Synthèse de la méthodologie mise en place par SINAY _____	11
Figure 3 : Synthèse des caractéristiques et paramètres des enregistreurs RTsys déployés. _____	15
Figure 4 : Niveau de bruit RMS enregistré dans la zone d'étude le 04/08/2021. La ligne bleu présente la moyenne du niveau de bruit durant cette période et la ligne verte présente la médiane du bruit durant cette période. _____	17
<i>Figure 5 : Modèle de Wenz</i> _____	18
Figure 6: Niveau DSP en percentiles .vs le modèle de Wenz _____	20
Figure 7 : Niveau du bruit DSP tiers d'octave dans la zone d'étude. _____	20
Figure 8 : Les 3 composantes d'un paysage acoustique _____	21
Figure 9 : Principe de modélisation du bruit anthropique à l'échelle d'une zone d'étude _____	23
Figure 10: Zone de modélisation pour l'état de référence acoustique du projet Parc Hydrolien Normandie Hydro. _____	24
Figure 11: : Liste exhaustive des types et des sources de données _____	25
<i>Figure 12 : Fréquences et niveau sonores de quelques sources acoustiques : sources anthropiques (orange), sources biologiques (vert) et abiotiques (bleu et rouge) (Boyd, 2008).</i> _____	26
Figure 13 : Faciès morpho-sédimentaires de l'aire d'étude éloignée (SHOM 2010). _____	28
Figure 14: Les Profils de vitesse calculés pour chaque saison, en bleu l'hiver, en vert le printemps, en rouge pour l'été et en jaune pour l'automne. _____	29
Figure 15: Un exemple des données AIS à un instant T de la Manche (source MarineTraffic.com). _____	30
Figure 16: Liste des publications utilisées pour estimer SL le niveau du bruit généré par le vent et les navires. _____	30
Figure 17 : Niveau de bruit en fonction de la vitesse du vent. _____	31
Figure 18: Densité du trafic maritime dans la Manche Mer du Nord en 2017 (Source&Data : EMODnet). _____	31
Figure 19: Statistique des nombres et types des bateaux présents dans la manche sur chaque saison de l'année 2019. _____	32
Figure 20: Liste de source de bruit lors de déplacement d'un navire. _____	33
Figure 21 : Niveau d'émission DSP d'un bateau estimé avec les différentes approches présentes dans la littérature. _____	34
Figure 22: Comparaison d'efficacité des différentes méthodes de modélisation dans les différentes conditions de fonds et de sources _____	35
Figure 23 : la figure illustre le spectrogramme du Signal Chirp (signal modulé en fréquence) de 100 Hz à 20 KHz pour trouver la fonction du transfert de toutes les fréquences du milieu de propagation. Les couleurs présentent l'intensité du signal. Plus la couleur est rouge plus l'intensité du signal est élevée. _____	36
Figure 24: La séquence des signaux envoyé pour chaque point mesuré à 1 m du l'émetteur (Lubell), la figure illustre le spectrogramme des différents types de signaux envoyés _____	36
Figure 25 : Illustration du matériel utilisé pour la calibration active des enregistreurs. _____	37
Figure 26: Calibration active de l'enregistreur Sylence le 04/08/2021. _____	38
Figure 27 : Calibration passive de l'enregistreur Sylence le 04/08/2021. _____	38

d'une simulation de bruit généré par le trafic maritime avec 37 bateaux à un instant T. chaque icone jaune sur la carte présente l'emplacement d'un bateau sur le réseau AIS. _____ 40

Figure 29 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 80% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été). _____ 43

Figure 30 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 50% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été). _____ 45

Figure 31 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 5% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été). _____ 47

Résumé non technique de l'étude

Contexte

Deux entreprises françaises, EDF et Engie disposaient de concessions dans le Raz Blanchard pour l'installation de deux fermes hydroliennes, mais elles ont abandonné leur projet respectif suite à l'abandon de leur partenaire industriel en charge de la fabrication des turbines à savoir :

- Naval Group pour EDF
- GE-Alstom pour Engie

En décembre 2020, la société de projet Parc hydrolien Normandie Hydro initialement créée par EDF-EN, titulaire de la concession, a été reprise dans sa totalité par HydroQuest et a été renommée FloWatt.

Le projet FloWatt consiste à immerger 7 hydroliennes, conçues par HydroQuest, qui seront connectées au réseau public de distribution ENEDIS dans le périmètre de la concession existante, dans le Raz Blanchard entre Aurigny et le Cap de la Hague. Pour ce projet d'une puissance de 17,5 MW, HydroQuest s'est allié au groupe Qair, un producteur d'énergie renouvelable présent dans une douzaine de pays sur 3 continents différents.

FloWatt SAS est titulaire :

- D'une concession d'utilisation du domaine public maritime en dehors des ports (CUDPM) du 23/03/2017 dont le délai de mise en service a été prorogé de 3 ans par arrêté du 19/03/2020.
- d'une autorisation environnementale unique (AE) du 24/03/2017, prorogée de 3 ans par arrêté du 19/03/2020.

L'article 9 de cet arrêté décrit les suivis des effets du projet sur l'environnement. Ces suivis concernent plusieurs compartiments et doivent être réalisés selon le principe BACI avant et pendant les travaux d'installation du projet éolien, puis pendant la phase d'exploitation du projet.

La société SINAY a réalisé un état de référence acoustique dans la zone du futur parc d'hydrolienne de Raz Blanchard. Cet état initial permet de caractériser et quantifier les différentes sources de bruit et de connaître la distribution statistique du bruit dans la zone d'étude.

La prorogation de ce délai est autorisée conformément aux éléments techniques et engagements figurant dans la convention de concession. Par ailleurs, l'autorité environnementale demande au titulaire des études complémentaires pour servir d'argumentaire à un dossier réglementaire d'examen au cas par cas. En particulier, il est demandé de réaliser une étude acoustique comprenant :

- Un état initial
- Une modélisation de bruit des hydroliennes en fonctionnement
- Une étude des effets sur les mammifères marins

Ce document se concentre principalement sur l'état initial. Les autres parties (modélisation et effets sur les mammifères marins) feront l'objet de document à part.

Méthodologie

La présente étude s'intègre dans une démarche de type BACI effectuée par divers opérateurs au cours du temps. SINAY intervient en tant qu'auteur de l'état initial et de l'étude d'impact acoustique afin de définir les grands axes des suivis à mettre en place avant, pendant et après les travaux d'installation du parc d'hydrolienne.

SINAY et ses partenaires ont veillé à la reproductibilité des opérations entreprises afin d'améliorer la cohérence de la démarche à l'échelle de la vie du parc considéré dans le respect de l'application de la démarche BACI (Before-After-Control-Impact).

L'objectif du suivi acoustique, lié à l'article 9 de l'article L.214-3 du Code de l'Environnement, est de :

- Suivre le bruit ambiant sous-marin (MSu3a) ;
- Suivre l'occupation et les comportements des mammifères marins (MSu3b).

Opérationnel

Les résultats de cette étude sont basés sur des relevés issus d'une campagne de mesure acoustique réalisé le 04/08/2021.

Cette campagne a permis de recueillir un jeu de données statistiquement représentative :

- d'acoustique passive, pour mesurer le niveau de bruit de la zone du parc et dans la zone témoin ;
- d'acoustique active, pour calibrer le modèle de propagation qui va permettre de simuler le bruit ambiant de la zone d'étude.

Résultats des mesures du bruit

L'analyse des enregistrements menée par SINAY a montré un niveau de bruit sous-marin élevé (**RMS= 120 dB**). Les niveaux de bruit dans les plus basses fréquences sont plus élevés que le niveau de bruit dans le modèle de Wenz pour l'indice de trafic maritime 6. Ceci montre que le niveau de bruit anthropique est fort sur cette zone et que le trafic maritime domine toute la bande de fréquence de 1 Hz à 10 kHz.

Résultats de la cartographie du bruit

Le niveau de bruit ambiant est très impacté par le trafic maritime. Les analyses des résultats de modélisation dans la zone ont également permis de distinguer les bruits notables auxquels le secteur est exposé, à savoir, le bruit généré par les grands bateaux de commerces et trafic passager.

1 CONTEXTE ET ENJEUX

1.1 CONTEXTE SCIENTIFIQUE

Le bruit ambiant en milieu sous-marin subit une augmentation générale en relation avec le développement du trafic maritime dont, en particulier, celui du trafic marchand. Par exemple, le nombre total de navires commerciaux a doublé entre 1965 et 2003 et les projections prévoient que le tonnage transporté par ces grands navires de fret devrait encore doubler ou tripler d'ici à 2025 (Frisk, 2012). De plus, les bruits issus de la circulation maritime n'ont pas cessé d'évoluer durant les 20 dernières années (20 dB d'augmentation entre 1965 et 2003) (Andrew et al., 2002; McDonald et al., 2008). La contribution des pollutions acoustiques à la dégradation des habitats des cétacés avait été considérée comme secondaire jusqu'à une époque assez récente. Mais l'évidence de plusieurs événements graves liés au bruit anthropique ont amené les communautés militaires et industrielles à s'interroger, avec la communauté scientifique, sur les dangers potentiels de leurs activités. Cette démarche leur a permis de développer des pistes de recherche afin d'étudier les effets du bruit sur l'environnement marin ainsi que les solutions adéquates (Wartzok et al., 2003; Buckstaff, 2004; Wahlberg & Westerberg, 2005). L'examen des résultats récents permet de prendre en considération l'impact provoqué par les pollutions acoustiques sur les cétacés. Ils s'étendent de la simple perception jusqu'à la lésion traumatique grave, constatée dans certains cas d'intensité sonore très forte.

Ces résultats de recherche récents ont montré que les émissions sonores sous-marines des diverses activités humaines en milieu océanique (industrielles, de défense, scientifiques) posent le problème de leur impact sur les populations de mammifères marins, poissons et invertébrés (Thomsen et al., 2006; Mueller-Blenkle et al., 2010; A. Popper & Hawkins, 2012).

1.2 CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Le contexte réglementaire français relatif à la gestion du bruit sous-marin et de son impact sur l'environnement représente l'expression des engagements de la France à l'échelle internationale en matière de gestion, de protection et de valorisation de l'environnement marin et de son patrimoine naturel. Toutefois, il est important de souligner que les textes réglementaires pertinents pour les suivis liés aux projets industriels sont ceux qui abordent ces projets individuellement. Dans ce cas, les suivis et les mesures de réduction des impacts portent uniquement sur le projet visé et n'ont pas vocation à s'inscrire dans un programme plus vaste relatif à une approche écosystémique.

La mise en œuvre d'une approche écosystémique dans la gestion du milieu marin est un des principes fondamentaux d'autres instruments réglementaires, tels que la DCSMM. Les dispositions de cette directive ne s'appliquent pas aux suivis de l'environnement d'un projet industriel en mer. Or, l'impulsion du développement scientifique et technologique enclenchée par la DCSMM a été, et est toujours, bénéfique pour améliorer l'efficacité des suivis acoustiques lors de la construction et de l'exploitation des parcs éoliens en mer. La France est à la fois un état membre de l'Union européenne (UE) et partie prenante de plusieurs traités internationaux ayant compétence en protection de l'environnement marin :

- OSPAR, ou Convention Oslo-Paris, sur la protection de l'Atlantique Nord-Est contre les pollutions ;
- CIEM, Convention internationale pour l'exploration de la mer ;
- CBD, Convention sur la diversité biologique ;
- CMS, Convention sur la protection des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage ;

- ASCOBANS, Accord sur la conservation des petits cétacés de la mer Baltique, du nord-est de l'Atlantique et des mers d'Irlande et du Nord.

Toutes ces entités, y compris l'UE, disposent, en leur sein, d'un groupe de travail sur le bruit sous-marin. Ces groupes de travail coopèrent régulièrement pour définir les lignes directrices des programmes de suivi acoustique nécessaires à évaluer les effets d'un chantier maritime sur le milieu ainsi que l'impact sur la faune marine sensible au bruit.

1.3 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Afin de caractériser l'état initial à l'échelle de l'ensemble des secteurs impactés, la mise en place d'une campagne de mesure du bruit sous-marin a été requise. Elle fut effectuée au moyen d'enregistreurs automatiques et une cartographie du bruit ambiant a également été nécessaire. Les études sur le bruit sous-marins ont permis de réaliser un état des lieux des nuisances sonores, actuellement présentes dans la zone d'étude identifié pour ce projet.

Les objectifs de cette étude acoustique sont :

- Mesurer le niveau du bruit ambiant dans les futures zones de travaux dans la zone du futur parc d'hydroliennes.
- Cartographie du bruit ambiant avec une campagne calibration actif et passif.
- Présenter une étude statistique du niveau de bruit ambiant durant un ans de trafic maritime.

2 METHODOLOGIE

2.1.1 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

Tout d'abord, les données disponibles pour la détermination des sources de bruits actuelles sont identifiées et exploitées. En particulier, des données récentes relatives à la bathymétrie ainsi que des données sur les conditions de navigation mises à disposition de SINAY.

Notre méthodologie est constituée des 3 étapes présentées dans la figure suivante :

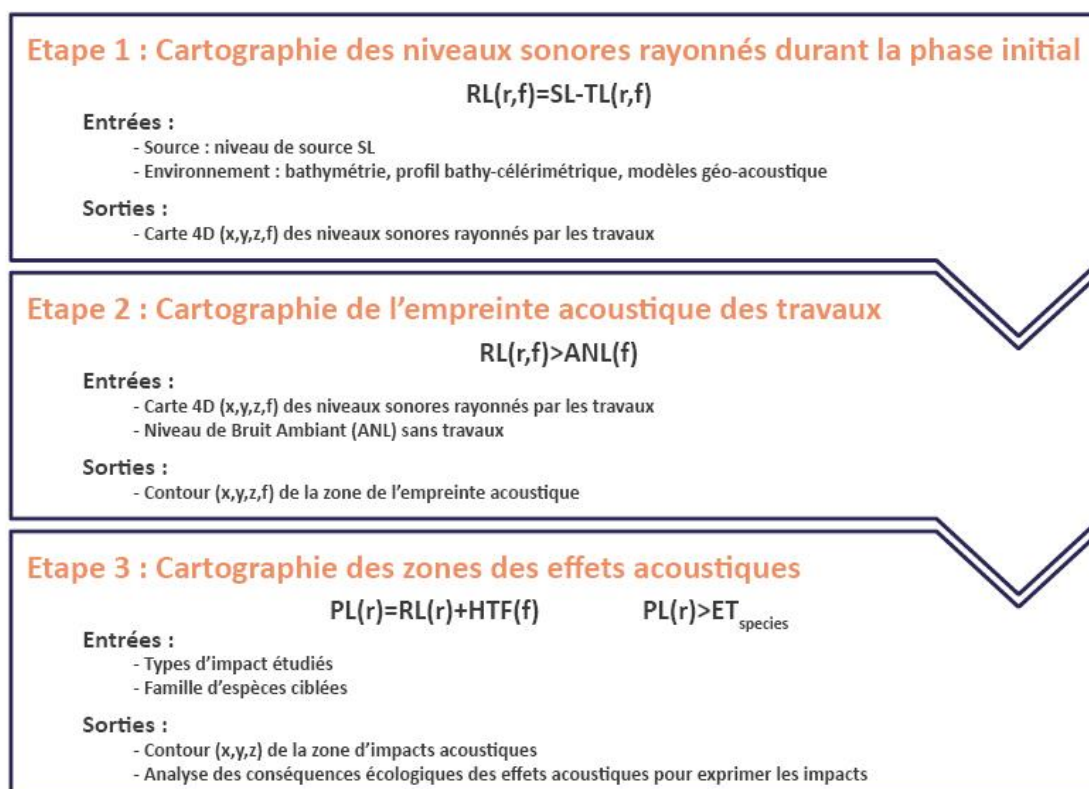


Figure 1 : Méthodologie de SINAY

2.1.1.1 Etape 1

La première étape consiste à cartographier les niveaux sonores rayonnés autour de la zone du futur parc d'hydrolienne pendant la phase initiale. Pour ce faire, nous utilisons un modèle de propagation acoustique ($RL(r,f)=SL - TL(r,f)$) qui permet de calculer les pertes de transmission (TL) et le niveau rayonné (RL) en tous points autour de la zone de travaux.

Les données d'entrée utilisées sont :

- La bathymétrie du site
- Les propriétés géo-acoustiques du fond
- Les profils célé-bathymétriques (acquisition *in situ*).
- La marée (marnage)
- Les données AIS (automatique identification system)

Une analyse bibliographique permet de préciser les calculs des pertes de transmission (TL) en les adaptant aux petits fonds, aux basses-fréquences et fréquences les plus hautes. Cette démarche

renforce l'adéquation entre le modèle et le site étudié. Son choix est particulièrement pertinent pour mettre en relation les données produites par SINAY, les données de la bibliographie et le modèle choisi.

2.1.1.2 Etape 2 :

La deuxième étape consiste à cartographier l'empreinte acoustique des travaux (hydroliennes en fonctionnement), c'est-à-dire la zone à l'intérieur de laquelle le niveau sonore rayonné par les travaux est supérieur au bruit ambiant naturel et susceptible de produire un effet acoustique impactant la faune marine.

2.1.1.3 Etape 3 :

Cette étape a pour but de délimiter l'aire à l'intérieur de laquelle le niveau perçu par les individus est supérieur au seuil d'effet propre à chaque espèce ciblée. La précision de ces zones d'effets acoustiques sur la faune marine à l'intérieur de l'empreinte acoustique des travaux est produite par le biais de cartographies propres à chaque famille d'espèces ciblées.



Figure 2 : Synthèse de la méthodologie mise en place par SINAY

Ce rapport se concentre sur l'étape 1. Les autres étapes seront développées dans le rapport dédié au effets sonores du parc hydrolien.

2.1.2 MÉTHODOLOGIE PROPOSÉE POUR EFFECTUER L'ETAPE 1

L'ambiance acoustique actuelle, c'est-à-dire l'état sonore initial, doit être caractérisée à partir

- Du recueil des données disponibles :
 - Biologiques ;
 - D'activités maritimes ;
 - Socio-économiques ;
 - ...
- Des résultats de mesures *in situ*, réalisées à l'aide d'enregistreurs d'acoustiques passifs et autonomes (hydrophones) ;

- Des mesures acoustiques actives qui sont également nécessaires (émissions de signaux calibrés et contrôlés) afin de caractériser la transmission des ondes sonores dans la zone d'étude.

Cette démarche aboutit à une représentation spatiale et statistique du bruit actuel en présentant la proportion du temps et de l'espace pour laquelle le bruit dépasse un seuil donné en tenant compte des variations saisonnières.

Cartographie du bruit ambiant

L'étude de l'état acoustique initial se réalise en 5 étapes menant à une cartographie.

1- Production de données brutes

- Mesures de données *in situ*
- Exploitation de bases de données

Les paramètres influant sur la propagation acoustique sont pris en compte :

- La célérité ;
 - Température ;
 - Salinité ;
 - Profondeur ;
- La nature des fonds ;
- La bathymétrie ;
- Le marnage.

SINAY produit les données de mesure les plus précis possibles afin de permettre, d'une part une modélisation fine et, d'autre part, de rechercher la résolution la plus fine possible des bases de données exploitées.

2- Identification des sources de bruit

Les cartes sonores sont établies en prenant en compte les deux principaux contributeurs de bruit ambiant.

- Le trafic maritime
- Le vent (état de la mer)

Ces données sont acquises par SINAY au moyen de flux en temps réel produits par deux réseaux dont SINAY est déjà contributeur depuis l'installation d'une antenne AIS. Ces données sont structurées dans un second temps dans la plateforme SINAY pour être directement analysées par des algorithmes de calcul automatisés pour la modélisation du bruit sous-marin.

3- Calibration du modèle

Les données produites à partir des mesures *in situ* sont utilisées pour calibrer le modèle établi selon des méthodes acoustiques passives et actives.

- **Active** : Caractérisation des paramètres réels du milieu de propagation.
- **Passive** : Comparaison des résultats de simulation avec les valeurs réelles.

La précision du modèle est fournie notamment par le calcul de l'incertitude qui valide la qualité des calculs effectués.

4- Identification du niveau de bruit

A partir des résultats de mesures in-situ, l'état initial du bruit ambiant est décrit au moyen d'indicateurs :

- RMS ;
- SPL ;
- SEL ;
- DSP.

La moyenne et l'écart type est calculé pour chaque paramètre.

Les résultats de mesure sont comparés avec le modèle de Wenz pour produire le niveau de bruit ambiant pour chaque bande de fréquence en fonction :

- Indice du trafic ;
- Indice de la vitesse du vent.

5- Cartographie statistique du bruit ambiant

Pour plus de précision, deux paramètres statistiques indispensables pour chaque saison sont produits :

- Percentile 10%, 50% et 90%
- Moyen

Chacun de ces paramètres est calculé pour chaque

- Niveau de profondeur
- Bande de fréquence de tiers d'octave.

3 MESURE DU BRUIT AMBIANT

3.1 MATÉRIEL UTILISÉ POUR LA MESURE DE L'AMBIANCE SONORE

3.1.1 LES ENREGISTREUR RTSYS AVEC HYDROPHONE HDI-99-HF

Afin de pouvoir évaluer les effets sonores des projets dans la zone d'étude, il est nécessaire d'établir un état acoustique initiale dans la zone d'étude. Cette démarche consiste à mesurer l'ambiance sonore habituellement présente à l'échelle des points de mesures.

Pour réaliser des enregistrements acoustiques de qualité, les équipements suivants ont été déployés :

- Enregistreur RTsys de type Sylence EA-SDALP ;
- Hydrophones HDI-99-HF.

Le **tableau** ci-dessous présente les caractéristiques et paramètres des enregistreurs.

Cet appareil, système autonome enregistrant numériquement les sons sous-marins, sont constitués d'un hydrophone (microphone sous-marin) et d'un enregistreur de données (carte électronique et d'un compartiment pour les piles). Ils peuvent être déployés pendant de longues périodes en adaptant le nombre de piles utilisées et le mode d'enregistrement choisi.

La chaîne d'acquisition possède plusieurs qualités remarquables qui font qu'elle est parfaitement adaptée aux besoins du suivi acoustiques pour le projet :

- Autonomie de plusieurs mois permettant des mesures sur des données écologiquement significatives ;
- Calibrée ;
- Large bande fréquentielle d'écoute pour permettre la mesure simultanée des sons de cétacés (moyennes et hautes fréquences) et les sons anthropiques (basses fréquences) ;
- Faible bruit permettant de mesurer des signaux de petites amplitudes et donc d'optimiser les distances de détection ;
- Grande dynamique d'acquisition (24 bits) permettant de mesurer des signaux de faibles amplitudes (signaux biologiques) en présence de signaux forts (passage de bateaux).

L'amplificateur ajustable qui équipe la carte électronique permet de choisir le gain entre 0 et 15 dB. Comme nos appareils sont mouillés dans une zone caractérisée par niveaux sonores relativement élevés et vues les capacités des hydrophones, nous avons réglé les gains de nos appareils à 0 dB. Plus la valeur de Gain est élevée plus la sensibilité de l'hydrophone aux sons augmente. Ce qui nous permet d'augmenter la probabilité d'enregistrer les faibles sons émis par des espèces présentes sur la zone d'étude, en contrepartie, la valeur de la saturation de l'hydrophone diminue. L'hydrophone HTI-99-HF est conçu pour les mesures de fréquence jusqu'à 150 kHz. Il permet ainsi de capter le bruit ambiant, le bruit anthropique et l'ensemble des signaux de mammifères marins.

Caractéristiques et paramétrages des enregistreurs RTsys

Sylence EA-SDALP



Caractéristiques	
Format de l'enregistrement	24 Bits
Stockage	Cartes SD
Format fichiers	
Plage de fréquence	Audio
Amplificateur (gain)	[3 Hz à 250 kHz]
NB batteries Alcaline	0 à 15 dB
Mode d'enregistrement	15
Taux d'échantillonnage	Continu / Echelonné
Autonomie d'enregistrement sur la plage [3 Hz à 150 kHz] / fréquence d'échantillonnage (%)	256 kHz Jusqu'à 6 mois à 39 kHz
Paramétrages	
Format de l'enregistrement	24 Bits
Mode d'enregistrement	Continu
Plage de fréquence	[3 Hz à 150 kHz]
Amplificateur (gain)	14,7 dB
Autonomie d'enregistrement réelle [3 Hz à 150 kHz] / fréquence d'échantillonnage	26 jours
Dimensions	
Diamètre	90 mm
Longueur	430 mm
Poids	4,5 kg (air) / 1,4 kg (eau)
Profondeur max	250 m

Figure 3 : Synthèse des caractéristiques et paramètres des enregistreurs RTsys déployés.

Dans le cadre des processus qualité de SINAY, les enregistreurs et hydrophones sont systématiquement testés et contrôlés avant leur déploiement dans un plan d'eau (bassin de Calix à Caen) proche du siège de l'entreprise. Les points de contrôle sont la charge des piles, les cartes SSD, l'étanchéité, la configuration et les enregistrements à l'aide d'émetteurs acoustiques. Les tests sont documentés par un rapport, des photos et vidéos qui sont transmises au maître d'ouvrage

3.2 EVOLUTION DU NIVEAU DE BRUIT DANS LA ZONE D'ÉTUDE DURANT LA PÉRIODE DES ENREGISTREMENTS

Pour chaque période de mesures nous évaluons les séries temporelles et les distributions statistiques (moyenne, écart-type et percentiles) des descripteurs des niveaux sonores reçus (RL : Received Level) et du bruit de fond (ANL : Ambient Noise Level, niveau sonore reçu minoré des sources sonores individualisables).

Les sons mesurés et le bruit de fond sont chiffrés par plusieurs descripteurs dont la liste est recommandée par les références de la communauté (Popper et al., 2014; Southall et al., 2019) pour étudier les impacts des sons anthropiques sur la faune :

- SPL rms (Sound Pressure Level root mean square) large bande [5 Hz, 125 kHz] dB re. 1 μ Pa,
- SPL - peak (Sound Pressure Level peak) large bande [5 Hz, 125 kHz] dB re. 1 μ Pa,
- SEL (Sound Exposure Level) large bande [5 Hz 125 kHz] dB re. 1 μ Pa²s, avec un pas de 10 secondes.
- DSP (Densité Spectrale de Puissance) (dB re. 1 μ Pa²/Hz) entre 5 Hz et 125 kHz.
- Spectre tiers d'octave

3.2.1 QUANTIFICATION DES NIVEAUX DE BRUIT

Le niveau SPL RMS renseigne sur le niveau efficace acoustique moyen contenu dans un signal. Cet indicateur est utile pour calculer la moyenne des valeurs de la pression acoustique sur une période donnée pour déterminer le niveau sonore dans cet intervalle du temps. Le RMS est très utile pour pouvoir comparer les niveaux de bruit moyen produits pendant la phase des travaux (fonctionnement des hydroliennes) et durant la phase initiale.

Le niveau SPL- peak renseigne sur les niveaux maximaux de pression sonore. A l'inverse du RMS qui lisse les valeurs sur un intervalle du temps, cet indicateur nous permet de quantifier le niveau de bruit généré par un événement sonore court. Le SPL peak est un indicateur utile pour les mesures de bruit impulsif (explosion, battage de pieux, déroctage, etc..).

Le niveau SEL renseigne sur le niveau d'exposition sonore durant un intervalle de temps. Elle correspond à l'énergie totale cumulée du bruit, produite dans une période donnée.

Pour calculer le SEL, un intervalle très fin de dix secondes a été choisi, afin de voir avec précision l'effet des événements de courte durée. Chaque point sur les courbes présentées ici est calculé à partir de dix secondes d'enregistrement.

Il faut d'abord souligner la limite d'enregistrement de notre hydrophone qui est de 172 dB en crête pour le **Sylence EA-SDALP**. En effet, ces appareils sont équipés d'un hydrophone d'une sensibilité de -165 dBV / μPa et mesure sur une plage d'amplitude de 2.5 V. Comme les gains de nos appareils sont réglés à 0 dB, le niveau crête de saturation est donné par l'équation du SONAR suivante :

$$20\text{Log}_{10}\left[2.5v \ 10^{\frac{165}{20}} \ 10^{\frac{0}{20}}\right] = 172 \text{ dB } \mu\text{Pa}$$

La figure suivante présente des échantillons de l'évolution des niveaux RMS, du signal enregistré par l'appareil dans la zone d'étude pour la période d'enregistrement d'environ 8 h. Sur chaque figure, la période couverte est mentionnée, la valeur moyenne et l'écart-type sont également donnés.

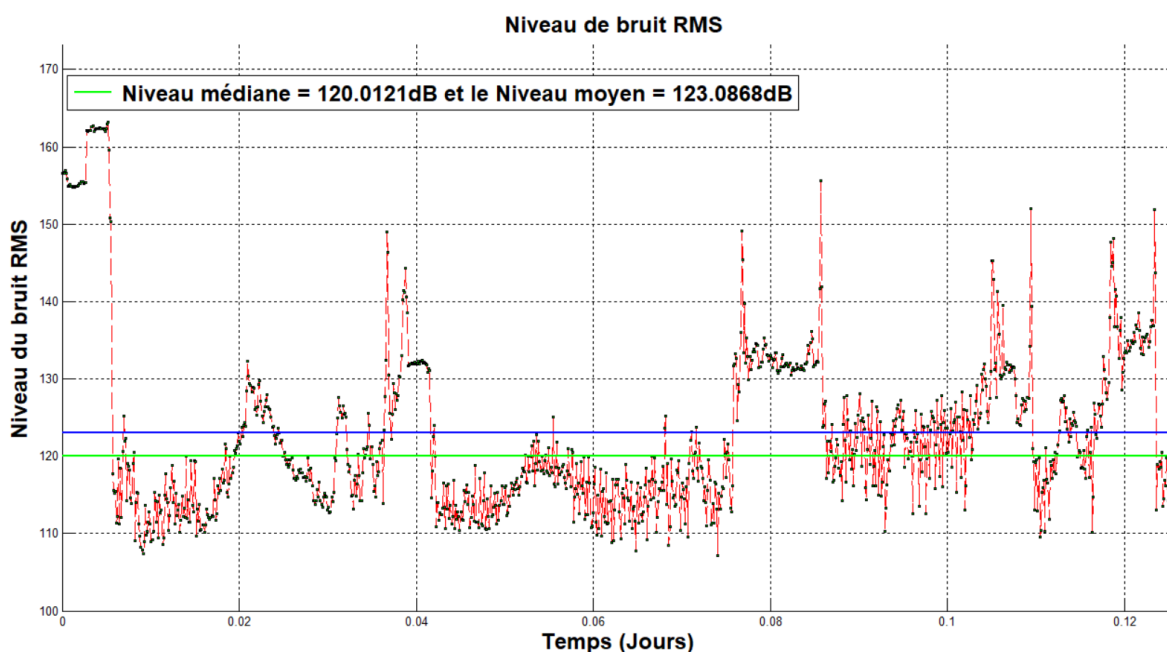


Figure 4 : Niveau de bruit RMS enregistré dans la zone d'étude le 04/08/2021. La ligne bleu présente la moyenne du niveau de bruit durant cette période et la ligne verte présente la médiane du bruit durant cette période.

ANALYSE DES RÉSULTATS DE MESURE

Le niveau sonore mesuré pendant la période d'enregistrement montre un bruit permanent présentant une variabilité dépendant essentiellement des activités anthropiques en relation avec le trafic maritime, des passages des navires comme les cargos et les Ferries.

Les résultats de cette étape montrent que certaines périodes sont plus bruyantes que d'autres, ce qui est justifié par le fait que le passage des grands navires de commerce contribue constamment. Nous considérons que le niveau de bruit moyen sur cette zone est de 120 dB (la médiane)

Remarque : afin d'éviter les artéfact sonores produits par notre embarcation, les moteurs sont mis à l'arrêt lors des enregistrements.

3.2.2 ANALYSES TEMPS-FREQUENCES

Dans cette étude nous utilisons le modèle de Wenz comme référence pour évaluer le niveau du bruit du trafic maritime et le bruit ambiant.

Les résultats des recherches récentes sur le bruit ambiant, après traitement approprié, sont comparés sur la base des spectres de pression dans la bande de fréquences 1 Hz à 20 kHz. Plusieurs sources possibles sont examinées pour déterminer l'origine la plus probable du bruit observé.

En règle générale, le bruit ambiant est composé d'au moins quatre composantes qui se chevauchent (Figure 5) :

- Les fluctuations de la pression turbulente effective dans la bande allant de 1 Hz à 100 Hz ;
- Le bruit dépendant du vent, des bulles et des aérosols résultant principalement de l'agitation en surface, 50 Hz à 20 kHz ;
- Le trafic océanique, 10 Hz à 1000 Hz. Les caractéristiques de spectre de chaque composant et du composite sont présentées ;
- Des sources supplémentaires, notamment celles ayant des effets intermittents et locaux, sont également abordées.

En résumé, le modèle de Wenz présente les caractéristiques les plus répandues et dominantes du bruit ambiant dans l'océan.

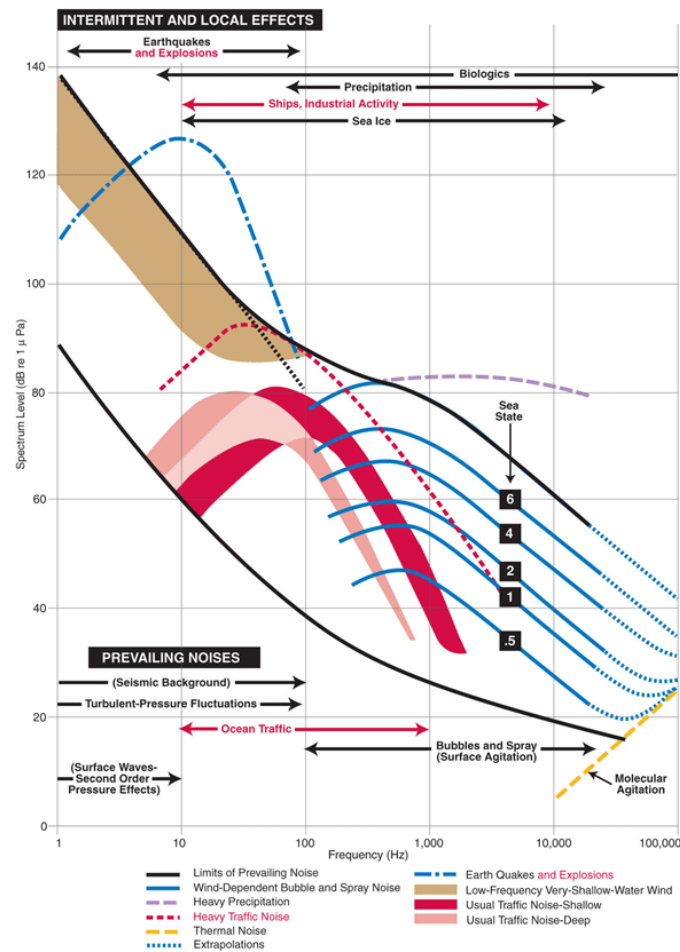


Figure 5 : Modèle de Wenz

3.2.2.1 Analyse des résultats de mesures de la zone d'étude

Les résultats présentés jusqu'ici fournissent une vue globale de l'évolution du niveau du bruit à l'échelle de la zone d'étude. Afin d'avoir une idée précise du niveau de bruit moyen sur toute la période avec la distribution fréquentielle de l'énergie, nous avons calculé le spectre moyen pour des échantillons de signaux enregistrés. Le modèle de Wenz (indice de trafic de 1 à 7 et vitesse du vent de 5 à 35 m/s) est associé à chaque spectre moyen afin de connaître la nature de bruit.

Il est tout d'abord possible de remarquer que les densités spectrales de puissances moyennes ne présentent pas toutes un profil comparable au bruit ambiant typique. Cela est dû à deux facteurs :

- **Le premier facteur** est la profondeur de l'eau, les enregistrements sont effectués dans des petits fonds, ceux-ci favorisent l'absorption des basses fréquences par les sédiments en raison des multiples réflexions qu'ils provoquent ;
- **Le deuxième facteur** est le nombre de sources anthropiques. Le niveau de bruit reste élevé pour les moyennes fréquences entre 2 kHz et 10 kHz en raison du grand nombre de bateaux qui passent à côté de l'enregistreur.

La **figure 6** montre que le niveau de bruit est situé entre 110 dB re 1 μ Pa @1m et 120 dB re 1 μ Pa @1m pendant 20 % du temps, dans les très basses fréquences (< 20 Hz). Ce niveau décroît avec une pente d'environ 30 dB décade pour se situer entre 80 dB et 90 dB dans la plage fréquentielle 30 Hz à 1 kHz. Ce dernier niveau reste relativement faible en lien avec la forte absorption du terrain des basses fréquences.

Dans la plage fréquentielle 1 kHz - 10 kHz, le bruit décroît linéairement jusqu'à atteindre les 65 dB re 1 μ Pa @1m. Sur cette bande de fréquence le bruit anthropique domine le bruit de fond, car durant cette période la vitesse du vent ne dépasse pas les 10 m/s, ce qui correspond à des niveaux de bruit plus faibles. Or le niveau de bruit enregistré dépasse l'indice de 35 m/s. Cela n'est donc pas lié à l'agitation générée en surface par le vent mais au bruit produit par le trafic maritime.

La **figure 6** montre aussi que le niveau de bruit dans les plus basses fréquences (<30 Hz) est plus élevé que le niveau de bruit dans le modèle de Wenz pour l'indice de trafic 7. Le niveau de bruit est le même ou plus fort que l'indice de trafic maximal sur la bande de fréquence [30 à 100 Hz]. Ces résultats sont retrouvés pendant toute la période de l'enregistrement. Ceci montre que le niveau de bruit anthropique est fort sur cette zone et que le trafic maritime domine toute la bande fréquence de 1 Hz à 10 kHz.

Ici, la définition donnée par la norme internationale ISO 1996-1 a été appliquée : 2003 (E), définissant les percentiles comme les niveaux de dépassement. Selon cette définition, le percentile N est le niveau de bruit dépassé pour N % du temps de la période d'étude. Par conséquent, les niveaux exprimés en percentiles montrent pour chaque courbe combien de temps le niveau de bruit est dépassé au cours de la période d'enregistrement.

A partir de la définition des percentiles, le niveau 80 % présente le niveau du bruit ambiant sans la contribution du trafic maritime. Le niveau 50% présente la médiane du niveau de bruit sur la zone d'étude, et 10% présente le niveau au moment du passage des bateaux autour de la zone d'étude.

Les spectres mesurés (50 % et 50 %) sont globalement compatibles avec le modèle de Wenz pour les niveau et forme. Cependant pour le percentile 10 %, le niveau enregistré est bien supérieur au modèle d'environ 20 dB, ce qui est expliqué par la forte densité de trafic sur la zone.

La **Figure 7** présentent la distribution de la moyenne des niveaux DSP sur les tiers d'octaves jusqu'à 10 kHz. Sur toutes les figures des tiers d'octaves, il est possible de constater que sur les basses fréquences (< 10 Hz) les niveaux sont forts. Le niveau des tiers d'octaves à partir de 10 Hz jusqu'aux les 1,2 kHz, monte à un niveau entre 85 et 98 dB. Ces valeurs valident bien l'hypothèse du bruit anthropique prédominant durant les périodes d'enregistrements. Cela permet aussi de caractériser les niveaux de bruit sur chaque bande de fréquence durant la phase initiale.

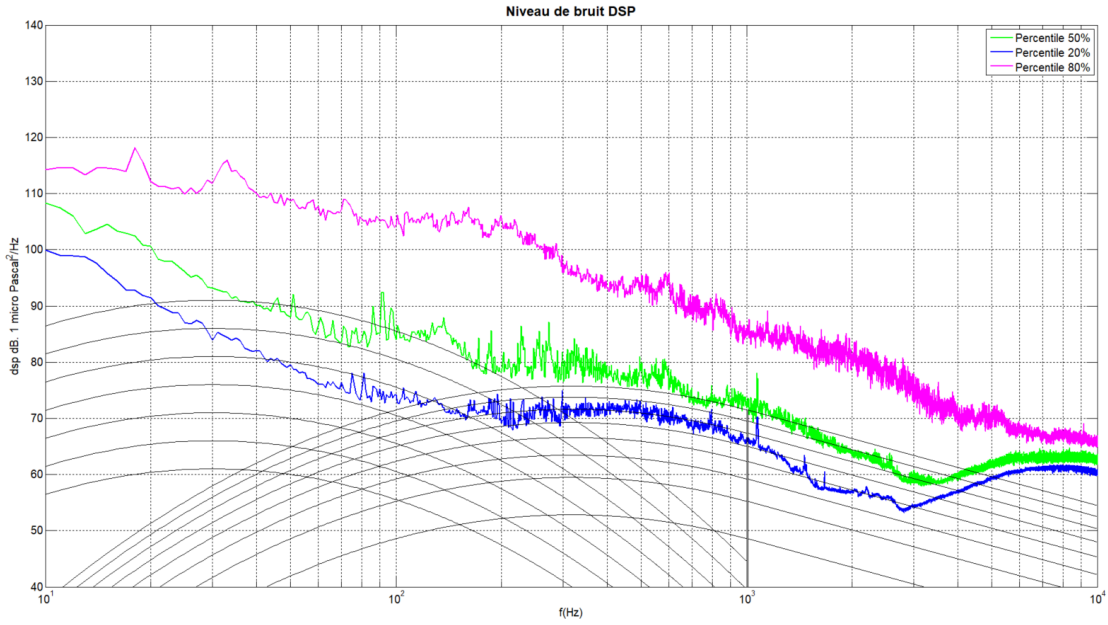


Figure 6: Niveau DSP en percentiles .vs le modèle de Wenz

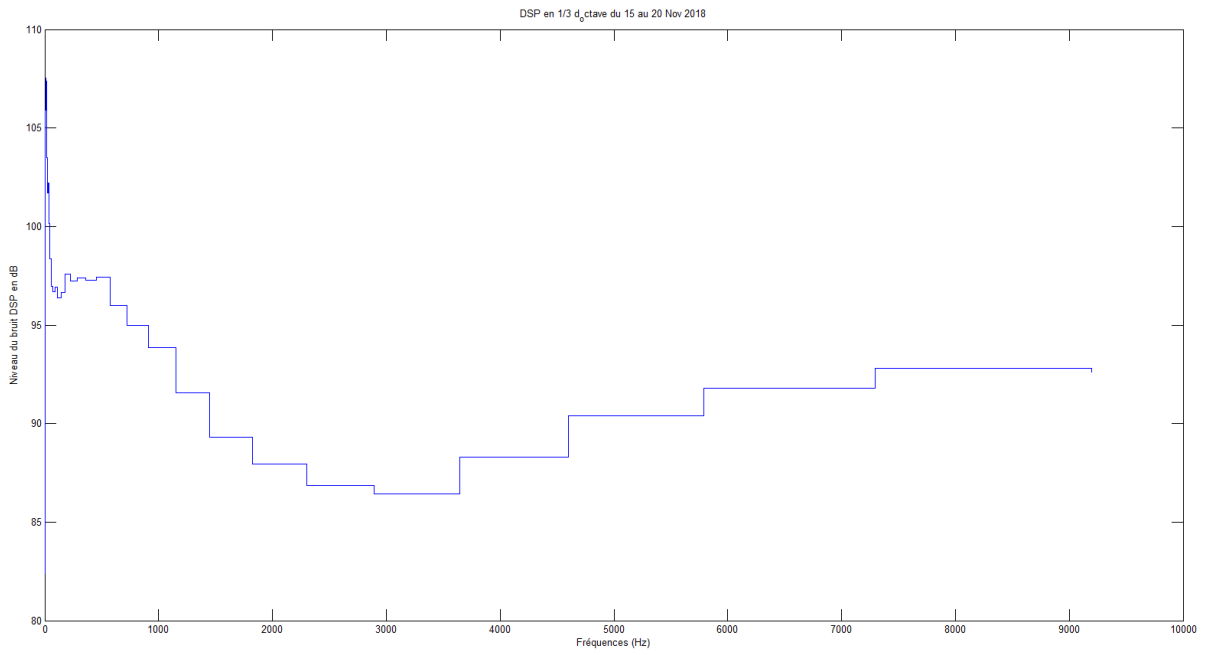


Figure 7 : Niveau du bruit DSP tiers d'octave dans la zone d'étude.

4 MODELISATION DU BRUIT AMBIANT

4.1 INTRODUCTION À LA MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU BRUIT

Le bruit ambiant est la résultante des bruits produits par de nombreuses sources sonores en mer (voir figure 4). Il est possible de distinguer des sources de bruit naturelles, biologiques et anthropiques. Le bruit issu de sources naturelles est produit par des processus physiques : l'activité tectonique (volcans sous-marins, tremblements de terre, etc.), le vent, les vagues ainsi que la pluie en frappant la mer en surface.

Les sources sonores biologiques proviennent des animaux capables de vocaliser ou de produire des bruits au travers de mécanismes très différents. Parmi eux, on peut trouver les mammifères marins et certaines espèces de crevettes et de poissons. Le bruit d'origine anthropique est généré par les activités de navigation commerciale, militaire et de loisir, ainsi que par des ouvrages d'aménagement en mer ou encore par des opérations de recherche et exploitation des ressources marines.

Avec la modélisation numérique, nous réalisons une cartographie statistique du bruit ambiant de l'état initial avec différents indicateurs dont, en particulier, le DSP et par percentile. La cartographie du bruit du trafic maritime par simulation est une tâche complexe reposant sur de nombreux intrants environnementaux, des descriptions de la distribution spatio-temporelle des navires et de leur niveau d'intensité de la source, des hypothèses simplificatrices et des paramètres du modèle. Les principaux contributeurs de bruit ambiant considérés dans cette étude pour l'établissement des cartes sonores du bruit ambiant sont le trafic maritime et le vent (ou l'état de mer). Les principaux paramètres considérés pour l'influence de la propagation acoustique sont la célérité (liée à la température et la salinité), la nature des fonds, la bathymétrie et le marnage.

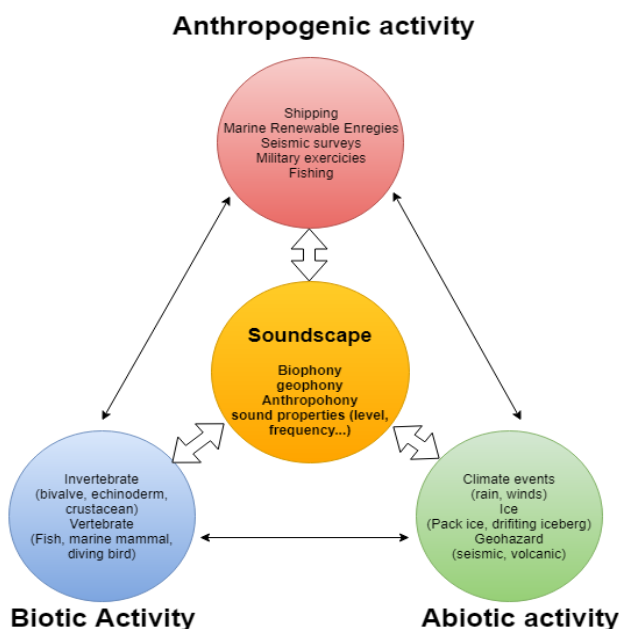


Figure 8 : Les 3 composantes d'un paysage acoustique

4.2 PRINCIPE DES ÉTUDES DE MODÉLISATION DU BRUIT SOUS-MARIN

La modélisation du bruit sous-marin et de la propagation des ondes acoustiques en mer consiste à calculer les valeurs d'atténuation des ondes tout au long de leur propagation dans l'environnement.

L'atténuation est la diminution de l'intensité acoustique ou du niveau de pression lors de la propagation d'une onde sonore dans un milieu entre deux points. Elle est causée par trois phénomènes indépendants :

- **La perte de divergence géométrique** qui est habituellement notée TL pour la perte de transmission. C'est l'énergie acoustique distribuée dans l'espace pendant la propagation de l'onde ;
- **L'absorption** qui est l'effet de la viscosité, de la relaxation moléculaire et de la friction inter-grains dans l'eau ou le sédiment. Plus la fréquence de propagation est élevée plus l'absorption du milieu est forte ;
- **Les interactions** avec les obstacles (une interface comme le fond de la mer ou un objet) dans l'eau qui génèrent une diffusion ou une réflexion.

Notre objectif principal consiste à modéliser les propagations des ondes acoustiques générées par les différents types de source de bruit dans une zone sélectionnée afin d'estimer le niveau du bruit total pour chaque point de la carte et à chaque niveau de profondeur en tenant compte des paramètres des milieux de propagation. Pour y parvenir, nous adoptons le plan suivant :

- Sélectionner une zone géographique d'étude ;
- Identifier les paramètres d'entrée du modèle de propagation ;
- Identifier les sources de bruit (Du Trafic Maritime dans notre cas) ;
- Choisir un modèle de propagation ;
- Calculer le niveau de bruit émis pour chaque source et son gabarit fréquentiel ;
- Calibrer le modèle avec des enregistrements *in situ* ;
- Additionner les pressions acoustiques de chaque point de la zone sélectionnée en 3D ;
- Faire une étude statistique du bruit en percentiles pour chaque bande de fréquence ;
- Etudier les corrélations des cartes de bruit avec la présence des mammifères marins.

Dans la figure Ci-dessous nous présentons l'organigramme du principe de modélisation du bruit généré par le trafic maritime et l'impact sur les différentes espèces présentes dans la zone d'étude.

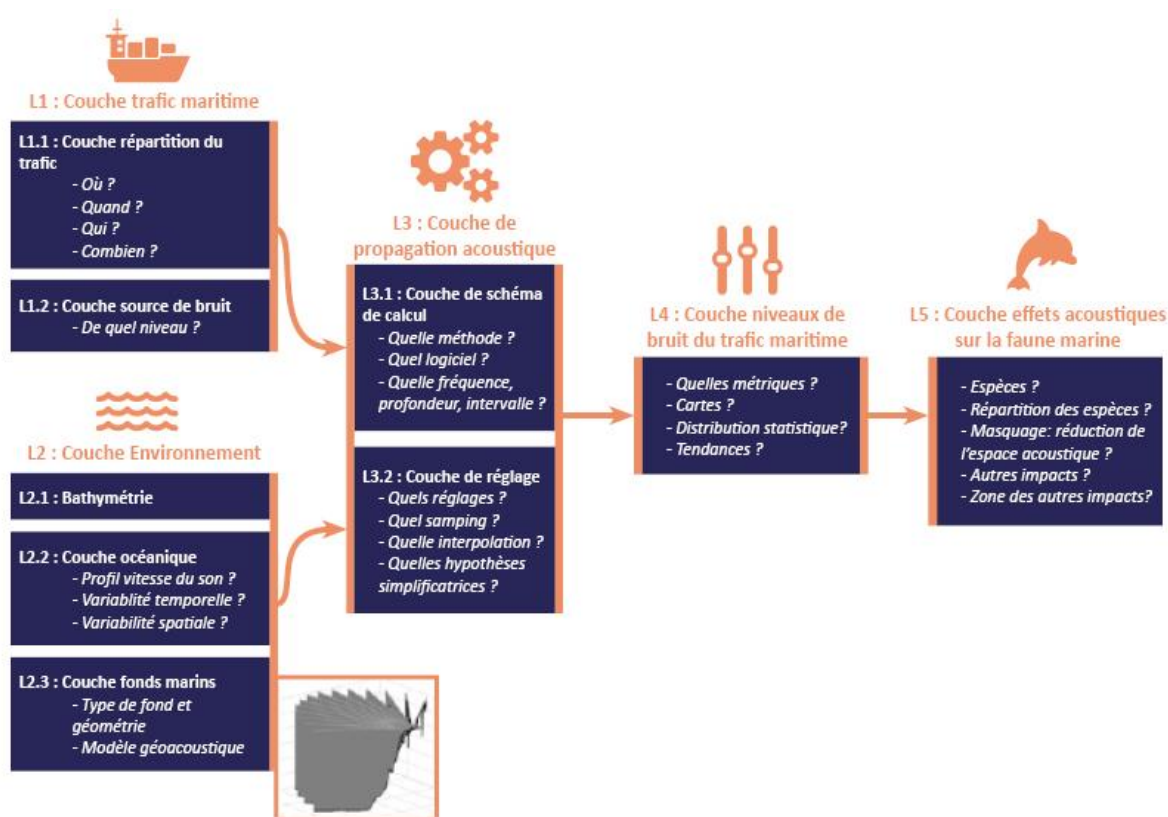


Figure 9 : Principe de modélisation du bruit anthropique à l'échelle d'une zone d'étude

4.3 LA ZONE DE MODELISATION

La connaissance de la zone d'étude acoustique (aire d'étude éloignée) est indispensable à la caractérisation de la propagation de bruit généré par les activités anthropiques comme le trafic maritime ou les travaux offshore ainsi qu'aux statistiques du bruit existant sur zone. Le choix de l'aire d'étude éloignée (voir Figure 10) permet aussi d'identifier les principales conditions environnementales de propagation, les sources de bruits associées aux types d'activité maritime et l'établissement des prévisions de distribution du bruit ambiant. Elles ont été calculées par rapport au point de localisation du futur parc d'hydrolienne. Un rayon de 50 km autour de la zone des travaux a été choisi car les pertes de transmission ($TL=20 \log_{10}(R)$) sont de l'ordre de 93 dB. Cette perte d'énergie acoustique ramène les niveaux de bruit des navires aux alentours de la zone à la valeur du bruit ambiant (Abiotic activity).

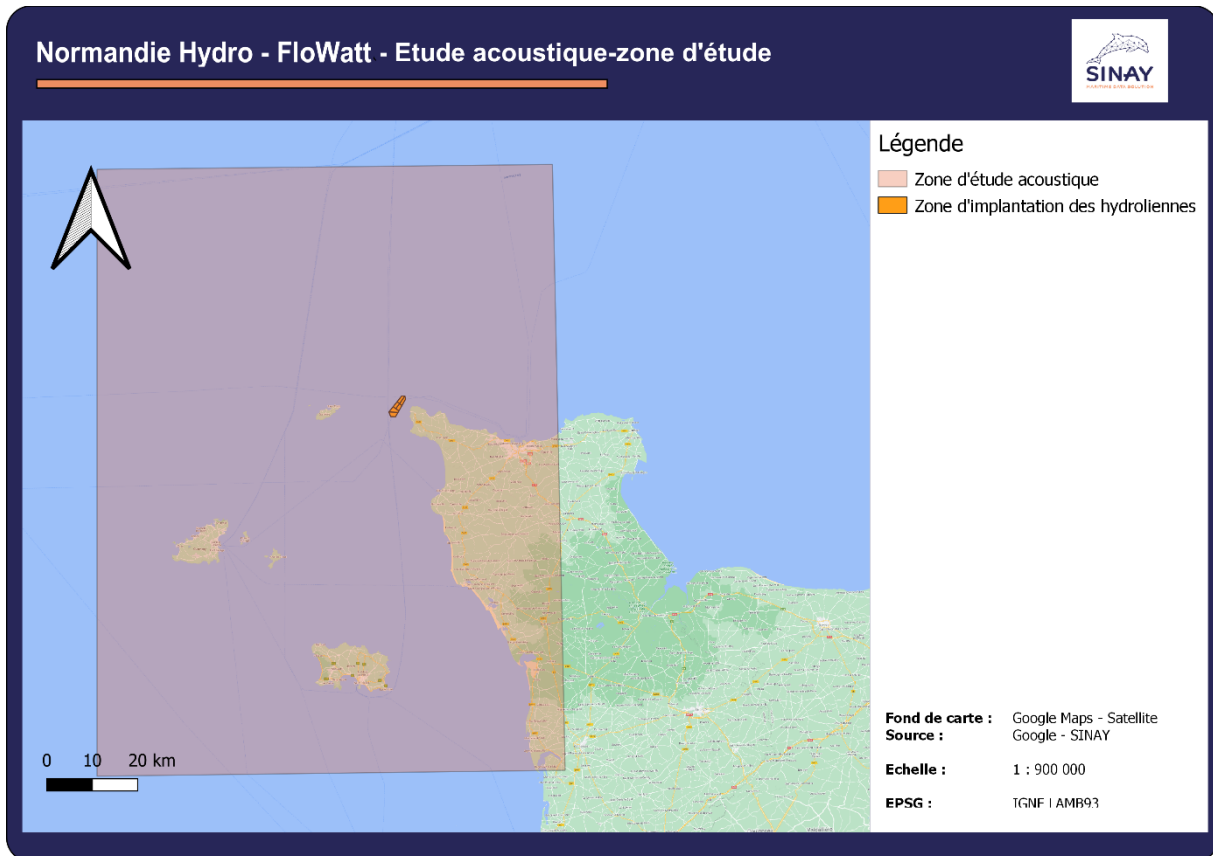


Figure 10: Zone de modélisation pour l'état de référence acoustique du projet Parc Hydrolien Normandie Hydro.

4.4 RECUEIL DES DONNEES D'ENTREE DU MODELE

4.4.1 LES DONNEES UTILISEES DANS LA MODELISATION DU BRUIT AMBIANT

Les paramètres de l'environnement et du trafic maritime, listés dans le tableau ci-dessous sont collectés à l'échelle de l'aire d'étude éloignée car :

- Ils ont des effets sur les conditions de propagation acoustique ;
- Ils génèrent des bruits propres ;
- Ils peuvent être corrélés à la présence de mammifères marins.

Types de données	Sources de données
------------------	--------------------

Types de données	Sources de données
AIS	Spire
Bathymétrie	Emodnet
Température	Mesures réalisées in-situ
Salinité	NOAA
Vent	SHOM
Précipitation	Copernicus
Marée	
Nature du fonds	

Figure 11: : Liste exhaustive des types et des sources de données

4.4.2 IDENTIFICATION DES SOURCES DE BRUIT

Comme tout environnement sous-marin, la zone d'étude de la ferme hydrolienne est un environnement relativement bruyant. Cet environnement présente une activité humaine quotidienne bruyante en lien avec le trafic maritime, les travaux, la pêche, etc. La **figure 12** présente les différents sons qui contribuent au bruit sous-marin. Les bruits anthropiques sont représentés en orange, les bruits d'origine naturelle en bleu et les bruits d'origine biologique en vert. Le niveau de bruit ambiant typique est également présenté sur cette figure. Il est également possible d'observer le spectre donnant le bruit ambiant en fonction des fréquences, illustré par un trait noir.

- Les principales sources naturelles contribuant à l'ambiance sonore de la zone d'étude :
 - L'agitation de la surface, liée à l'état de la mer et donc à la force du vent. Elle engendre un bruit ambiant doté d'une large gamme de fréquence allant de quelques centaines de Hertz à quelques dizaines de KiloHertz ;
 - La pluie, est également une source de bruit importante. Ce dernier est généré par les impacts des gouttes d'eau sur la surface de la mer. Le niveau du bruit ainsi créé est relativement élevé, il est situé dans la gamme de fréquence du bruit ambiant en mer ;
 - L'agitation thermique des molécules d'eau crée également un bruit. Il intervient à des fréquences relativement élevées, au-delà de 100 kHz.

En plus de ces différents bruits d'origine naturelle, certaines espèces animales telles que les cétacés, les poissons et les crustacés, constituent également une source de bruit que l'on appelle « bruits biologiques ». Ces derniers peuvent être composés de signaux impulsifs ou modulés plus ou moins importants selon l'espèce émettrice (ex : sifflements et clics des dauphins, clics de crevettes calqueuses, etc.).

Quant aux bruits d'origine humaine, dits anthropiques, ils viennent principalement, dans cette phase d'étude, du trafic maritime et des activités de pêche.

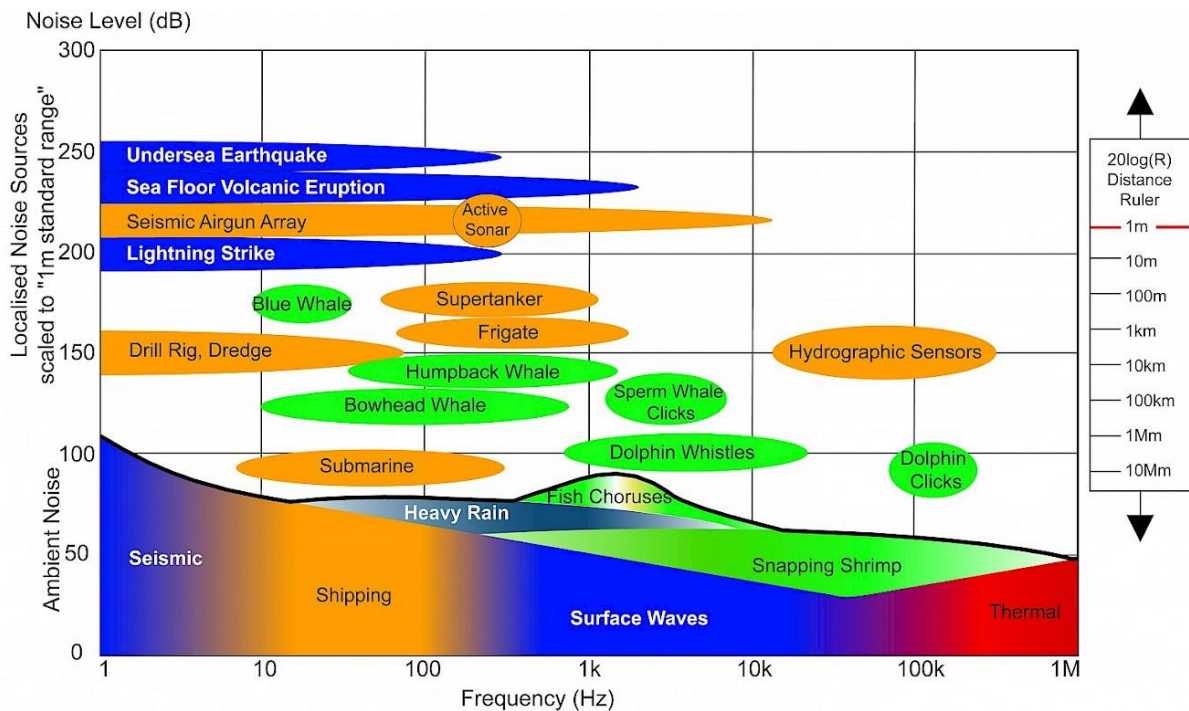


Figure 12 : Fréquences et niveau sonores de quelques sources acoustiques : sources anthropiques (orange), sources biologiques (vert) et abiotiques (bleu et rouge) (Boyd, 2008).

- Trafic maritime

Le trafic maritime est l'une des sources de bruit les **plus importantes**. **Les navires génèrent un bruit situé dans les basses fréquences. Le niveau de ce bruit dépend du type de navire, de sa taille et de sa vitesse. La zone d'étude est un lieu de passage de tous types de navires, des voiliers des plaisanciers jusqu'aux grands bateaux de commerce et de transport en passant par les navires de pêches (voir la Figure 18)**

- Fréquence de ces bruits anthropiques

Les effets des bruits anthropiques sont souvent étudiés pour évaluer leurs impacts potentiels sur la faune sous-marine. Dans ce genre d'étude, trois critères sont considérés :

- L'intensité ou le niveau du bruit généré ;
- Sa bande fréquentielle (bande des émissions sonores) ;
- Son étalement dans le temps.

4.4.3 LES DONNEES DE L'ENVIRONNEMENT

Les données environnementales décrivent le milieu de propagation des ondes acoustiques, plus ces données sont précises ou proches de la réalité, plus les résultats de la modélisation seront précis. C'est pour cette raison que les sources de ces bases de données et leurs résolutions sont essentielles pour une modulation efficace. Une calibration passive et active avec des mesures *in situ* permet de corriger et ajuster les paramètres de l'environnement.

Cette section a pour objectif de définir et détailler l'importance de chaque paramètre sur la propagation de l'onde acoustique ainsi que les sources de données utilisées dans cette étude.

- Bathymétrie

La propagation des ondes acoustiques dans l'océan peut être définie en deux phases principales : la propagation libre et les interactions avec les frontières et les obstacles. Lorsqu'une onde acoustique rencontre le fond, une partie est transmise au sédiment, tandis que l'autre partie est réfléchi. C'est pourquoi les pertes d'énergie dans les eaux peu profondes sont beaucoup plus importantes que dans les eaux profondes et donc le niveau de bruit est plus bas dans la zone peu profonde surtout pour les ondes de basse fréquence. La forme du fond est également importante. De nombreux phénomènes peuvent être considérés tels que la diffusion des ondes, la réflexion totale ainsi que l'angle d'incidence de l'onde dans les sédiments. Ceux-ci affectent la quantité d'énergie transmise et réfléchi. Par conséquent, la résolution des données bathymétriques est un paramètre important dans le choix de la base de données. Plusieurs sources proposent des données bathymétriques présentant des résolutions plus ou moins acceptables. La bathymétrie de la zone d'étude acoustique provient de la dalle bathymétrique MNT Bathymétrie Manche-Atlantique E4 2018 fournie par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Il s'agit d'une des meilleures résolutions disponibles ; elle est surtout assez fine par rapport à la taille de la zone d'étude.

- Nature du fond

L'influence du fond marin est beaucoup plus complexe que celle de la surface, de nombreux phénomènes se produisent simultanément : diffusion par le relief de l'interface du fond, la pénétration de l'onde incidente dans les sédiments, l'amortissement des sédiments, les réfractions et les réflexions dans les couches sédimentaires et l'atténuation des ondes P (longitudinales) et S (de cisaillement). Avec le type de sédiment nous pouvons appréhender les valeurs de la densité et le coefficient d'atténuation de l'onde acoustique dans ce milieu.

La Figure 13 suivante représente une synthèse cartographique de la nature sédimentaire des fonds de la Manche et de la Mer du Nord (réalisée à une échelle au 1/500 000). Cette carte peut être résumée ainsi (Claudel et al., 2015) :

- les sédiments sont majoritairement grossiers à très grossiers, graviers et cailloutis d'origine glaciaire, lessivés de leurs particules fines par les forts courants de marée du centre de la Manche ;
- les zones de sables constituent des bancs et des dunes : la construction de structures sédimentaires est favorisée à la limite Manche - Mer du Nord ;
- les dépôts permanents de vases et sables vaseux sont rares et limités aux zones protégées de la houle et des courants marins.

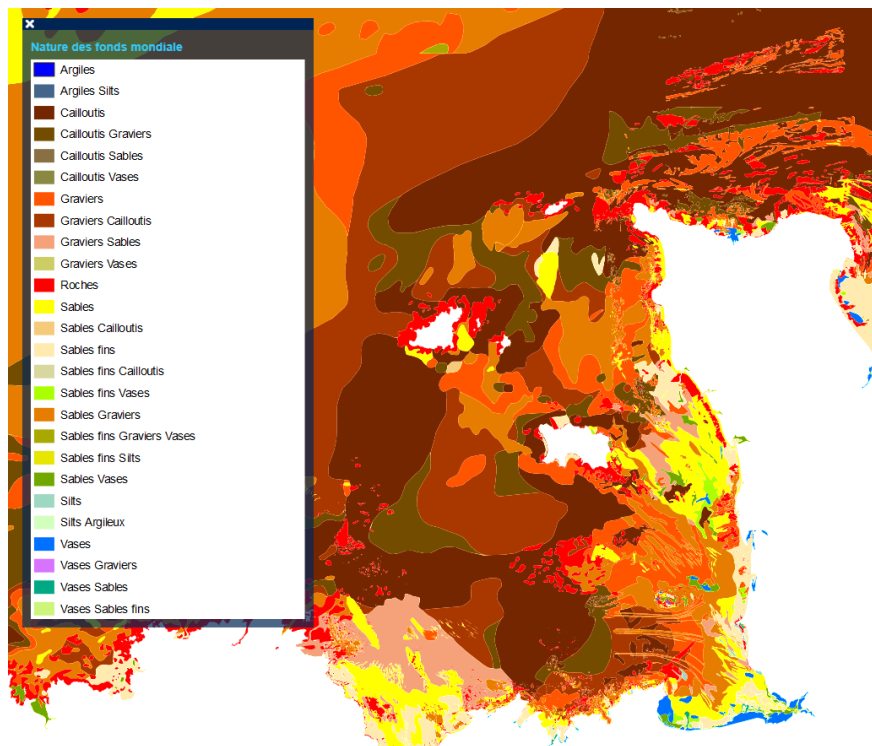


Figure 13 : Faciès morpho-sédimentaires de l'aire d'étude éloignée (SHOM 2010).

- Le profil de vitesse du son

Du fait de la limitation du milieu de propagation par la surface et le fond marin, l'onde acoustique subit des réflexions successives sur les interfaces. De plus, les variations de la vitesse du son peuvent provoquer des déformations des trajets d'ondes sonores. La vitesse du son dépend à la fois de la température, de la salinité et de la profondeur, et varie dans le même sens que ces trois grandeurs. C'est pour cette raison que la température et la salinité de la zone sont deux paramètres-clés pour le calcul du profil de vitesse du son dans le milieu de propagation.

Les données pour les paramètres physiques de la zone d'étude sont issues de la base de données Copernicus. Afin d'avoir les résultats les plus proches possibles des données réelles, le profil de vitesse est calculé pour chaque saison au cours de la période de l'étude. La Figure 14 ci-dessous montre la différence entre le profil de vitesse pour chaque saison, en bleu l'hiver, en vert le printemps, en rouge pour l'été et en jaune pour l'automne. La différence entre les valeurs maximales et minimales dépasse les 30 m/s d'où l'intérêt de calculer le profil de vitesse pour chaque simulation. Et sur tout que cette différence impact la direction et les angles de propagation des ondes acoustiques dans la zone d'étude.

La variation du profil de la vitesse entre la surface et le fond impact la direction de propagation vu que le milieu n'est plus homogène et donc cette variation impact la quantité de l'énergie sonore qui va pénétrer dans les sédiments et réfléchir à la surface. Les profils de vitesse de l'été et de l'automne montrent que la vitesse augmente vers le fond donc nous avons plus d'absorption dans les sédiments alors que les profils de l'hiver et du printemps sont plutôt inverses et améliorent la propagation des ondes, néanmoins cette variation n'impact pas le niveau de bruit de manière très significative vu que la profondeur de l'eau ne dépasse pas les 150 mètres.

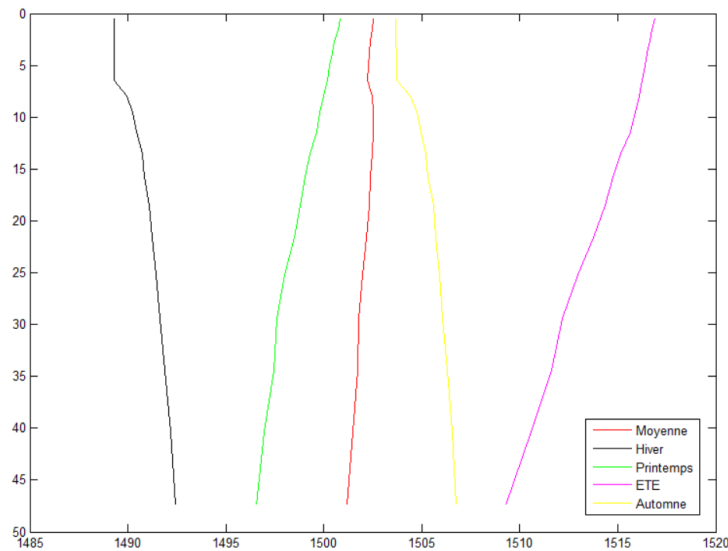


Figure 14: Les Profils de vitesse calculés pour chaque saison, en bleu l'hiver, en vert le printemps, en rouge pour l'été et en jaune pour l'automne.

4.4.4 LES DONNEES ANTHROPIQUES

- Automatic Identification System (AIS)

L'AIS est un système d'échange automatisé de messages entre navires par radio VHF. Généralement, ce système est utilisé pour éviter les collisions, identifier et localiser les informations. Les données AIS sont également utilisées pour la connaissance du domaine maritime, la recherche et le sauvetage, la surveillance de l'environnement et les applications de renseignement maritime. Ces positions AIS peuvent également être consultées sur le site [MarineTraffic](#) (Figure 15). Ce système permet de connaître l'identité, le statut, la position en temps quasi réel, ainsi que la taille, la vitesse, la charge et l'itinéraire des navires situés dans la zone. Ainsi, les données AIS sont structurées de manière à pouvoir être directement exploitées par des algorithmes de modélisation du bruit sous-marin. Grâce à l'installation d'antennes AIS, SINAY est contributeur de deux réseaux de distribution des données AIS. Cette situation offre un accès privilégié aux flux de données en temps réel. SINAY structure les données AIS dans sa plateforme de manière qu'elles soient directement exploitables par des algorithmes de calcul tels que les algorithmes de modélisation du bruit sous-marin. De plus, nous suivons plus particulièrement en temps réel les navires impliqués sur la zone d'études.

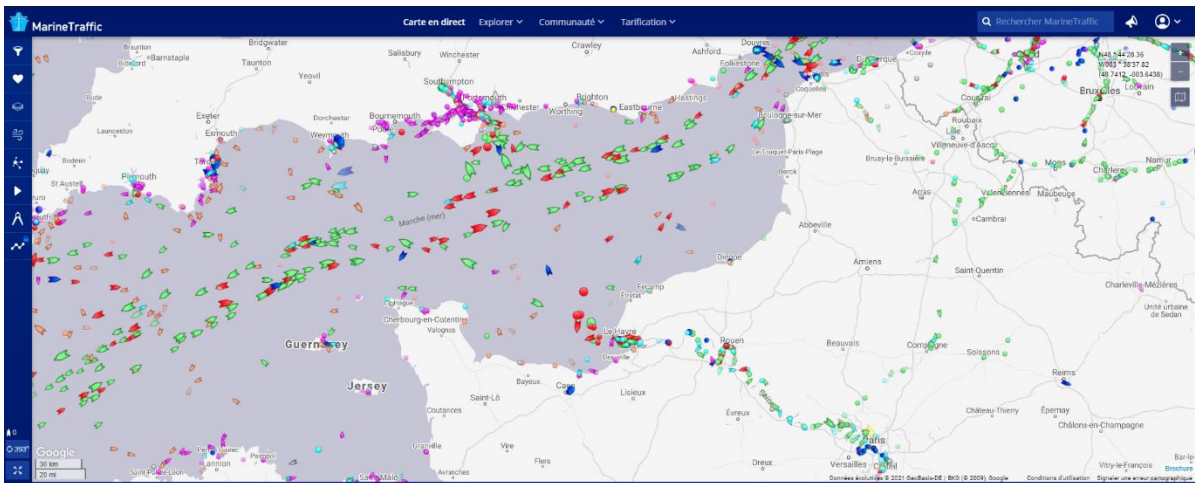


Figure 15: Un exemple des données AIS à un instant T de la Manche (source MarineTraffic.com).

4.4.5 LES DONNEES D'ENTRÉE DES SOURCES SONORES

Dans cette étude de l'état de référence, aucune activité anthropique spécifique n'a été communiquée. Nous nous concentrons sur le bruit généré par le trafic maritime et le bruit du vent dans la zone d'étude et sur un rayon de 60 km autour de cette zone.

Les sources sonores utilisées dans les modèles de propagation sont caractérisées à partir de la littérature scientifique, des enregistrements *in situ* effectués par SINAY au cours de ses différentes campagnes et sur des modèles d'estimation.

Nature du bruit	Publications sources
Bruit généré par le vent	(Wenz, 1962)
Bruit généré par les navires	(Arveson & Vendittis, 2000; Wales & Heitmeyer, 2002; Hildebrand, 2009; McKenna et al., 2012; Maglio, 2013; Merchant et al., 2013)

Figure 16: Liste des publications utilisées pour estimer SL le niveau du bruit généré par le vent et les navires.

« Les sons naturels de l'océan sont produits par le vent, les vagues, les précipitations, les événements sismiques naturels et les créatures, qui viennent créer un environnement bruyant » (Tavolga, 1967; Wenz, 1962). Pour prédire le niveau du bruit ambiant généré par les conditions météo, et surtout le vent, nous utilisons le modèle de Wenz. Ce modèle nous permet de représenter des spectres moyens de bruit ambiant généré par le vent pour différents niveaux d'expression, et de l'état de la mer (ou des vitesses de vent de 1 jusqu'à 35 par pas de 5). Ci-dessous, la figure 17 montre un exemple de niveau de bruit généré pour différentes vitesses du vent de 1 à 35 m/s avec un intervalle de 5 m/s.

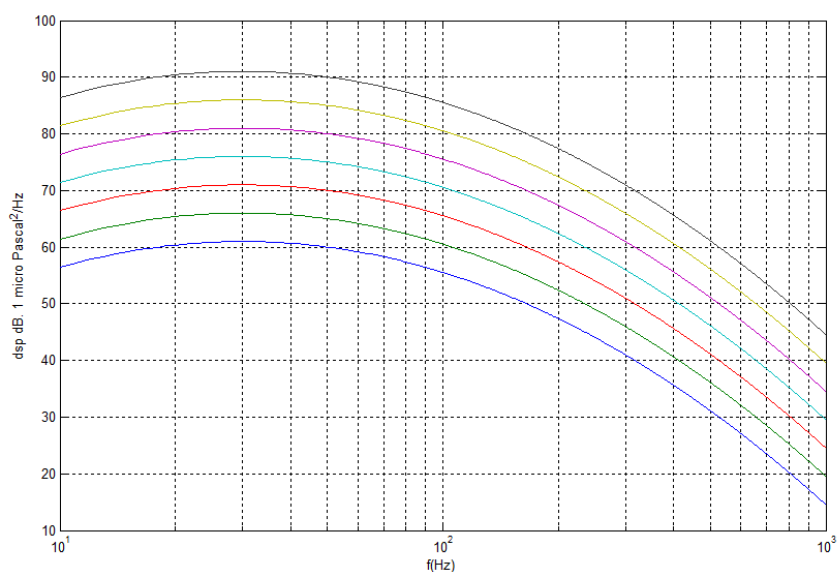


Figure 17 : Niveau de bruit en fonction de la vitesse du vent.

A partir des enregistrements réalisés *in situ* dans la zone d'étude (sur les points de 1 à 7), nous avons constaté que dans la plupart du temps le bruit du vent est négligeable par rapport au niveau de bruit rayonné par le trafic maritime, vu que la différence du niveau dépasse les 10 dB.

C'est la raison pour laquelle nous négligeons le bruit du vent dans notre modèle pour cette étude.

- Bruit du trafic maritime :

Les autres projets menés par SINAY dans différentes zones de la Manche, montrent bien que cette région marine est un système fortement dominé par des bruits anthropiques, en particulier le bruit causé par le trafic maritime avec la présence d'une voie de navigation majeure au niveau mondial. Sur cette zone, une variété de chantiers portuaires et offshore vient s'additionner pour générer de la pollution sonore sous-marine, en continu ou par intermittence. Cette contribution pourrait être augmentée par la construction de parcs éoliens dans les mois et années à venir.

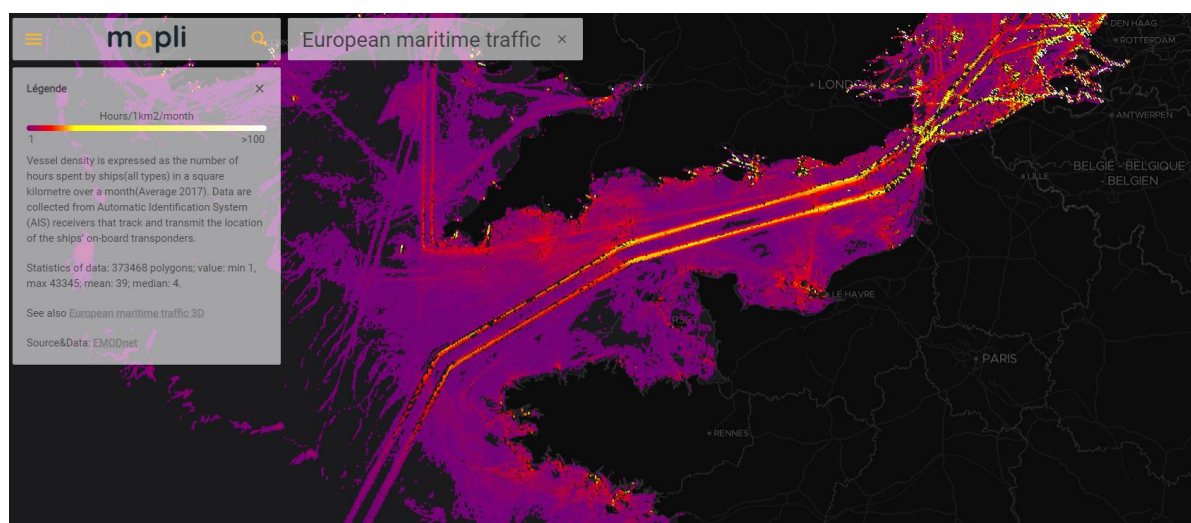


Figure 18: Densité du trafic maritime dans la Manche Mer du Nord en 2017 (Source&Data : EMODnet).

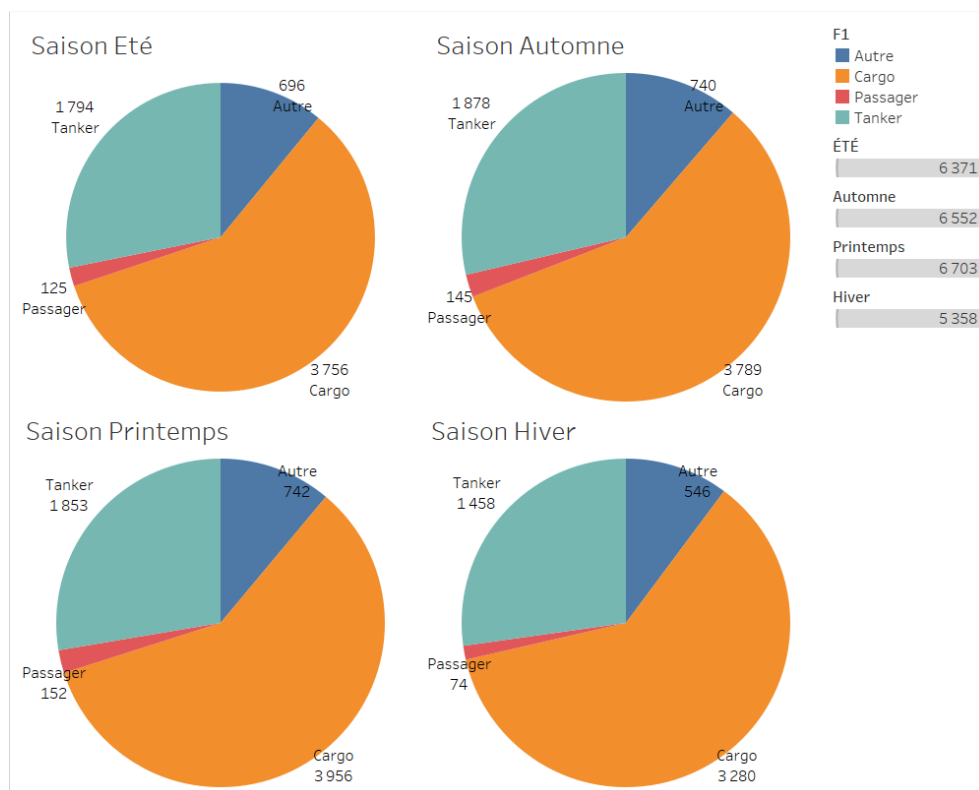


Figure 19: Statistique des nombres et types des bateaux présents dans la manche sur chaque saison de l'année 2019.

Le niveau source (SL) est l'entrée du modèle pour prévoir le bruit de la navigation dans l'océan. Plusieurs phénomènes physiques peuvent générer du bruit dans le déplacement d'un navire. Par exemple l'effet de la cavitation, de la vibration de la ligne d'arbre, de la vibration de la machine tournante transmise par la coque etc (**voir la figure ci-dessous**). Chacun de ces phénomènes produit un bruit sur une bande de fréquence différente et avec un niveau différent. Ce qui nous intéresse dans cette étude sont les basses et moyennes fréquences qui ont le niveau le plus élevé et qui se propagent mieux dans le milieu. Nous nous concentrons alors sur le bruit des hélices des navires qui génèrent le plus de bruit situé dans les basses fréquences avec l'amplitude la plus élevée. Le niveau de ce bruit dépend du type de navire, de sa taille et de sa vitesse.



Figure 20: Liste de source de bruit lors de déplacement d'un navire.

La zone d'étude est un lieu de passage de tous types de navires : des voiliers et bateaux de pêche jusqu'aux grands bateaux de commerce et de transport passagers. Pour effectuer des mesures efficaces du niveau de bruit généré réellement par chaque type de bateau, il faut suivre un protocole standard, difficile à réaliser, car il nécessite une certaine profondeur (environ 150 m) qui dépasse largement le niveau de profondeur dans la zone d'étude (maximum 45 m). Pour ces raisons, nous utilisons des modèles qui simulent le niveau de source, de plus cette démarche a montré son efficacité dans plusieurs études ((Gassmann et al., 2017; Simard et al., 2016).

Liste non-exhaustive des noms des modèles utilisés aujourd'hui :

- Recall of ANSI standard;
- Biases and limitations of SL collection in shallow water;
- Ross model;
- Randi model;
- Wales and Heitmeyer;
- Simard *et al.*,

Le graphique suivant illustre des gabarits acoustiques (SL) utilisés pour mesurer le niveau d'émission SL d'un bateau avec les différents types de modèles utilisés dans la littérature.

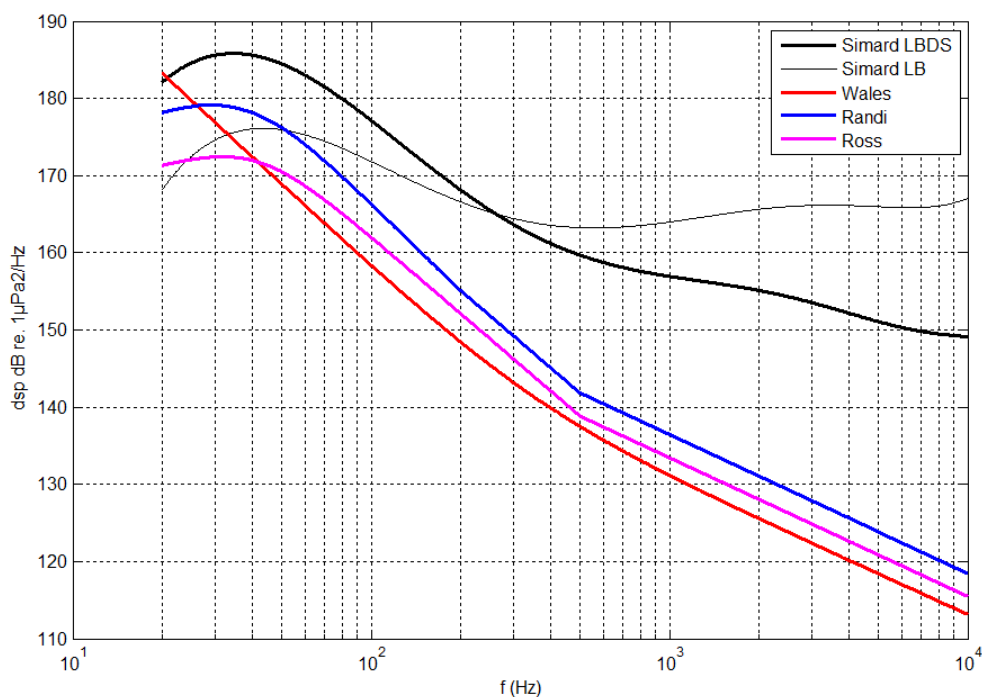


Figure 21 : Niveau d'émission DSP d'un bateau estimé avec les différentes approches présentes dans la littérature.

Compte tenu du nombre de méthodes proposées, les méthodes les plus efficaces ont été sélectionnées pour l'état de référence. Après une recherche bibliographique, il est constaté que chaque méthode présente des avantages par rapport aux autres, en relation avec l'état de la mer, les informations disponibles sur le navire, la profondeur de l'eau, la distance de mesure, etc. Le choix du modèle a été effectué en fonction des retours d'expérience que nous avons en fonction de la localisation de la zone d'étude, en utilisant les données de calibration (voir partie calibration).

Le modèle final a été choisi après une calibration passive en utilisant les données enregistrées sur la zone d'étude. Nous avons comparé les niveaux de bruit sur la zone d'étude avec les niveaux SL des bateaux générés avec chaque type de modèle présent dans la liste ci-dessus. Pour cette calibration nous avons pris en compte les bateaux passés à proximité de nos enregistreurs afin d'éviter l'impact du milieu de propagation. Le modèle le plus proche des niveaux enregistrés dans les basses fréquences a été Randi et Simard pour et hautes fréquences.

Dans ce projet, nous utiliserons alors les modèles de Randi et Simard respectivement pour les basses et hautes fréquences.

4.5 CHOIX DU MODELE DE PROPAGATION

Il existe plusieurs méthodes mathématiques pour résoudre l'équation d'onde, pour calculer les pertes de transmission et tenir compte des phénomènes physiques de la propagation de l'onde acoustique. Les méthodes diffèrent car elles sont spécialisées pour l'environnement dépendant du

champ lointain et du champ proche, « Range dépendant (RD) »¹ ou « Range indépendant (RI)² » ; cf tableau ci-dessous (Farcas et al., 2016)

Le choix du modèle de propagation est directement lié à la nature et à la profondeur du fond. Les méthodes de modélisation les plus adaptées pour cette étude sont consignées dans le tableau ci-dessous (petit fond (< 50 m) dans le cas de RD est l'équation parabolique pour les basses fréquences, et le tracé de rayons pour les hautes fréquences).

Les approches	Algorithme de modélisation	Applications							
		Zone peu profonde				Zone profonde			
		Basses Fréquences		Hautes Fréquences		Basses Fréquences		Hautes Fréquences	
		RI	RD	RI	RD	RI	RD	RI	RD
Tracé de rayons	Bellhop (Porter et Liu)								
Mode Normaux	Kraken (Porter)								
Équation parabolique	RAM (Collins)								

Adéquat

Pas adéquat

Figure 22: Comparaison d'efficacité des différentes méthodes de modélisation dans les différentes conditions de fonds et de sources

4.6 CALIBRATION ACTIVE

L'obtention d'une modélisation calibrée nécessite de procéder à une phase de mesures actives à l'échelle de la zone étudiée. Cette dernière consiste à faire se propager dans la zone ciblée, via la chaîne de calibration, des signaux acoustiques dont le niveau et la forme sont connus et contrôlés par ordinateur.

Ci-dessous quelques exemples de signaux émis et leurs niveaux d'émission (**figures 23 et 24**)

¹ Variation des paramètres du milieu de propagation en fonction de la distance

² Les paramètres du milieu de propagation ne varient pas avec la distance

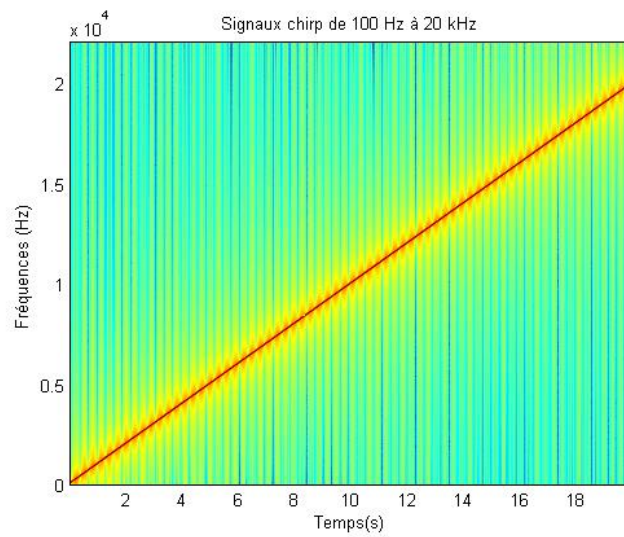


Figure 23 : la figure illustre le spectrogramme du Signal Chirp (signal modulé en fréquence) de 100 Hz à 20 KHz pour trouver la fonction du transfert de toutes les fréquences du milieu de propagation. Les couleurs présentent l'intensité du signal. Plus la couleur est rouge plus l'intensité du signal est élevée.

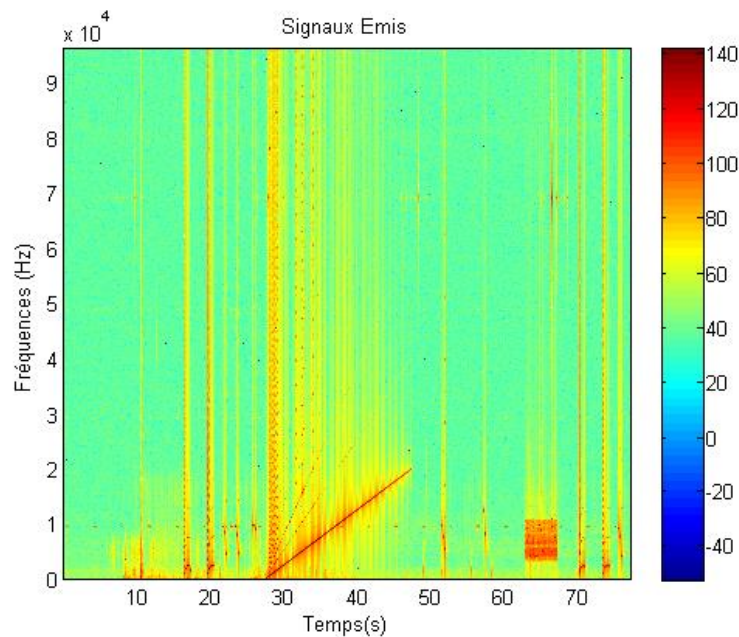


Figure 24: La séquence des signaux envoyé pour chaque point mesuré à 1 m de l'émetteur (Lubell), la figure illustre le spectrogramme des différents types de signaux envoyés

La séquence est constituée d'un ensemble de signaux naturels comme des sifflements de dauphin et des signaux artificiels comme des signaux modulés en fréquence. La durée de chaque séquence est d'environ une minute. Les émissions sont réalisées à partir d'un ensemble de positions (voir **figure 26-27**) choisies (15, 50, 100, 200, 450 m) à différents volumes sonores et sont captées par un enregistreur. La calibration in situ des enregistreurs s'est déroulée le 04/08/2021. La comparaison des niveaux des résultats modélisés avec les niveaux réellement mesurés permet d'identifier les paramètres du milieu et donc de calibrer le modèle.

- Matériels utilisés pour la calibration active (**figure 25**)
 - Enregistreur autonome ;
 - Transmetteur Lubel© (A) ;
 - Système de contrôle des émissions par ordinateur (B).

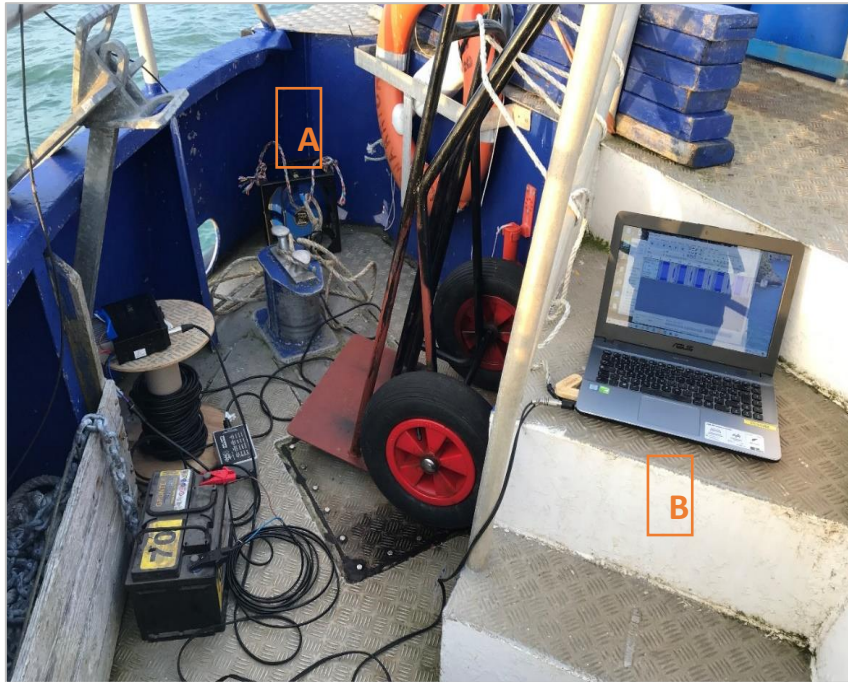


Figure 25 : Illustration du matériel utilisé pour la calibration active des enregistreurs.

- Campagnes de calibration

L'ensemble des enregistreurs déployés au cours de cette étude ont été soumis à une calibration in situ. Les figures 26 et 27 ci-dessous, illustrent les points d'émission pour la calibration active.

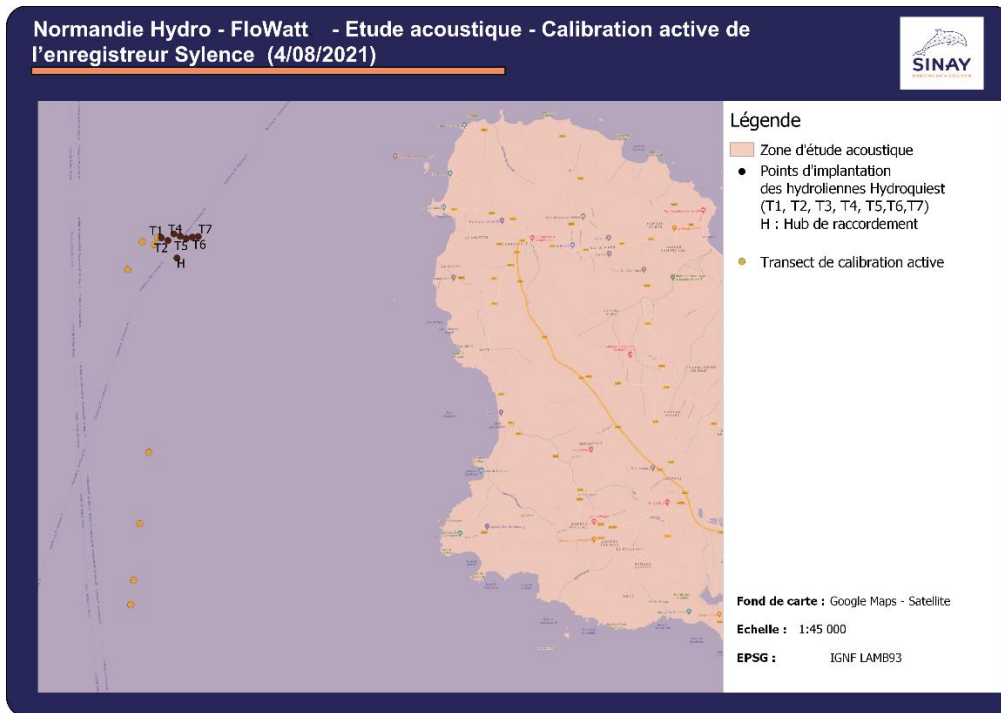


Figure 26: Calibration active de l'enregistreur Sylence le 04/08/2021.

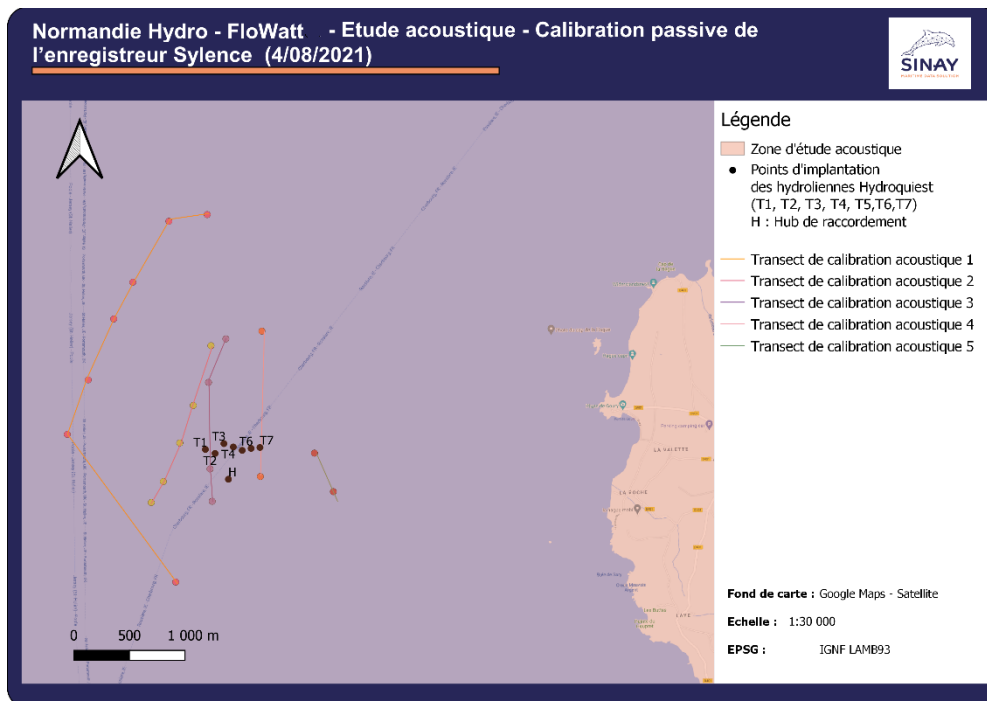


Figure 27 : Calibration passive de l'enregistreur Sylence le 04/08/2021.

4.7 CALIBRATION PASSIVE

Cette phase consiste à enregistrer et caractériser les signaux émis in situ (niveau et fréquence de bruit rayonné) durant la phase initiale pour calibrer et valider les résultats de modélisation.

Les résultats de modélisation aux mesures ponctuelles réalisées ont été comparés afin de les valider à l'échelle de toute la zone étudiée. En effet, ce mode opératoire permet de valider le modèle et ainsi de produire des cartographies sonores calibrées représentatives à l'échelle locale.

Pour cette tâche, il est nécessaire de sélectionner tous les bateaux qui sont passés à côté de l'enregistreur, de 7 km à quelques centaines de mètres, durant la période d'enregistrement. Des mesures du niveau de bruit émis pour chaque type de bateau sont mesurés sur toute les bandes de tiers d'octaves (< 6 kHz). Ensuite les niveaux SL générés sont calculés pour chaque modèle : Randi, Ross, Wales et Simard. Les résultats de chaque modèle par rapport au niveau enregistré à chaque fréquence ont pu être comparés. Il a été constaté que les résultats des modèles sont proches des valeurs réelles mais à des fréquences différentes. Par exemple pour les basses fréquences (<150 Hz) ce sont les modèles de Ross et Randi qui correspondent le mieux aux données réelles, le modèle de Wales est le plus adapté de 150 à 200 Hz et le modèle de Simard pour les fréquences supérieures à 200 Hz.

4.8 RESULTATS DE LA MODELISATION

La modélisation du bruit ambiant sur la zone d'étude est effectuée à l'échelle d'un an de trafic maritime, du 01/01/19 jusqu'à 31/12/19. Une simulation du niveau de bruit sur toute la hauteur d'eau est exécutée pour chaque scénario. Ces scénarios prennent en considération l'ensemble des navires présents sur la zone d'étude durant un intervalle de temps de 20 minutes. Avec ces échantillons, des cartes sont produites toutes les 23 heures sur la totalité de la période.

La **Figure 28** présente un exemple de résultat de simulation de bruit généré par le trafic maritime, à la surface à un instant T. Elle indique la distribution spatiale du bruit ambiant à l'échelle de la zone d'étude. Cet exemple permet de montrer un scénario typique de bruits de bateaux et l'effet de chaque type, taille et vitesse, de navire sur la zone d'étude.

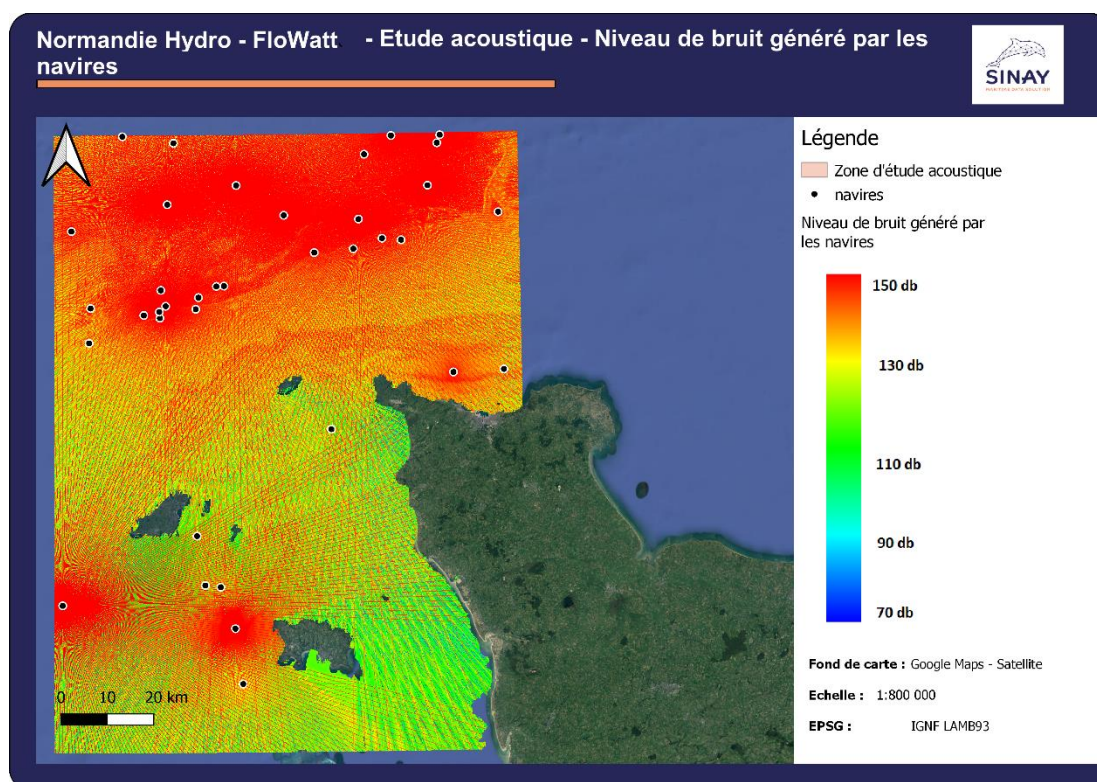


Figure 28 : Illustration d'une simulation de bruit généré par le trafic maritime avec 37 bateaux à un instant T. chaque icône jaune sur la carte présente l'emplacement d'un bateau sur le réseau AIS.

Comme l'illustre la figure, les niveaux de bruit sont bas (< 80 dB), sur les côtes vu la faible hauteur d'eau et la forte absorption du milieu des basses fréquences. Le niveau de bruit est assez élevé autour des sources (> 140 dB), et la propagation des ondes est importante surtout pour les grands navires avec des rayons de 10 km autour de la source avec un niveau qui dépasse les 110 dB.

La présence de plusieurs bateaux impacte le bruit ambiant de toute la partie nord et au milieu du chenal de la zone d'étude. Sur le reste de la zone d'étude le bruit est hétérogène, ceci est dû à la distribution aléatoire des bateaux et surtout à la bathymétrie.

Les cartes générées, pour chaque scénario des données AIS, sont disponibles en format Png, KML et KMZ. Chaque carte présente le bruit généré par un ou plusieurs bateaux présents au même moment sur la zone d'étude.

Afin d'avoir une vision plus fine de la distribution spatiale du bruit durant toute la période de l'étude, l'ensemble des cartes calculées ont été étudiées avec des méthodes statistiques. Pour cela, les cartes de bruit dans la zone d'étude sont établies et présentées par percentile. Leur définition est donnée par la norme internationale ISO 1996-1 : 2003 (E), spécifiant les percentiles comme les niveaux de dépassement. Selon cette définition, le percentile N est le niveau de bruit dépassé pendant N % du temps de la période d'étude. Par conséquent, les niveaux exprimés en percentiles montrent pour chaque point de la zone d'étude combien de temps un niveau de bruit est dépassé au cours de la période d'étude.

Des calculs statistiques réalisés sont basés sur les résultats des percentiles pour chaque saison de l'année 2019.

Les résultats ci-dessous présentent :

- Les percentiles 80 (Figure 29),

- Les percentiles 50 (Figure 30),
- Les percentiles 50 (Figure 31).

Explication pour le percentile 50 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 50% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été).

Les niveaux de bruit dépassent le niveau présenté respectivement pendant 80 %, 50 % et 5 % du temps. Ces figures présentent le niveau de bruit à la surface dans la bande de fréquence de [63 Hz à 4 kHz].

Remarque :

Les études réalisées avec ces modèles de simulation donnent une idée globale sur le niveau du bruit généré par le trafic maritime pendant la période sélectionnée. Cependant, il est important de considérer que le niveau du bruit calculé avec les modèles de simulation ne sont pas comparables avec les résultats de mesures pendant un enregistrement complet, pour plusieurs raisons :

- 1- Pour comparer les résultats de mesures avec les modèles il faut reprendre un scénario à un instant précis comme nous l'avons fait pour la calibration.
- 2- Ces études statistiques sont basées sur des échantillons des scénarios et non pas sur toute la période.
- 3- Pour chaque point de la carte, la contribution de bruit des navires sur la zone est uniquement prise en compte. Les moments du silence ou il y a la contribution du bruit naturel n'ont pas été retenus.

Quel que soit la période ou la saison, les résultats d'étude de bruit sont hétérogènes, ceci est dû au nombre de bateaux présents sur la zone, leur distribution aléatoire, et à la bathymétrie. Cependant il est possible de remarquer les effets de la variation de la bathymétrie sur la propagation des ondes acoustiques ainsi que les routes maritimes. L'intensité du bruit est proportionnelle à la profondeur.

De plus, une légère différence des niveaux de bruit entre les saisons est constatée, notamment sur les percentiles 50% et 80%. Ceci est dû à l'accroissement du trafic maritime tel que celui lié à la plaisance et passages de ferry. Les effets de thermocline (variation rapide de la température de surface) n'affectent pas les résultats à cause de la faible profondeur de la zone.

Les résultats des modèles montrent que pour toutes les saisons le bruit dans le chenal dépasse les 90 dB pendant 80% du temps. Cette zone est affichée en bleu pour le percentile 80%, en vert pour le percentile 50% et en rouge pour les percentiles 5%.

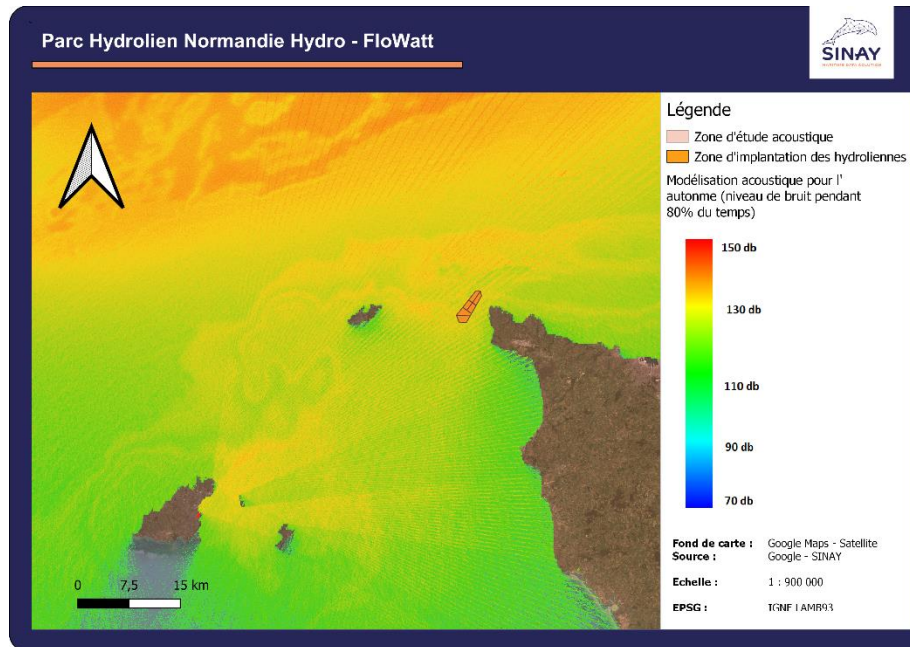
Cette étude statistique sur la zone éloignée permet de conclure que le bruit généré par le trafic maritime est plus élevé sur les côtés nord de la partie nord de la zone d'étude, à la sortie du chenal et sur la route maritime principale avec environ 15/20 dB de plus pour les percentiles 50% (médiane comparée au reste de la zone). Sur le reste de la zone les niveaux de bruit les plus élevés sont dans les zones les plus profondes. L'augmentation du niveau de profondeur réduit le nombre des multiples réflexions sur le fond et favorise la propagation des ondes de basses fréquences qui ont le niveau le plus élevé.

Le niveau de bruit généré par les bateaux, sur toutes les bandes de basses et moyennes fréquences, domine 90% du temps le niveau de bruit naturel (vent et houle) sur une grande partie de la zone d'étude (voir étude fréquentielle). Les niveaux du bruit sur la zone du parc est d'environ 110 dB pendant 80% du temps, d'environ 130 dB pendant 50% du temps et supérieur à 150 dB pendant 5% du temps.

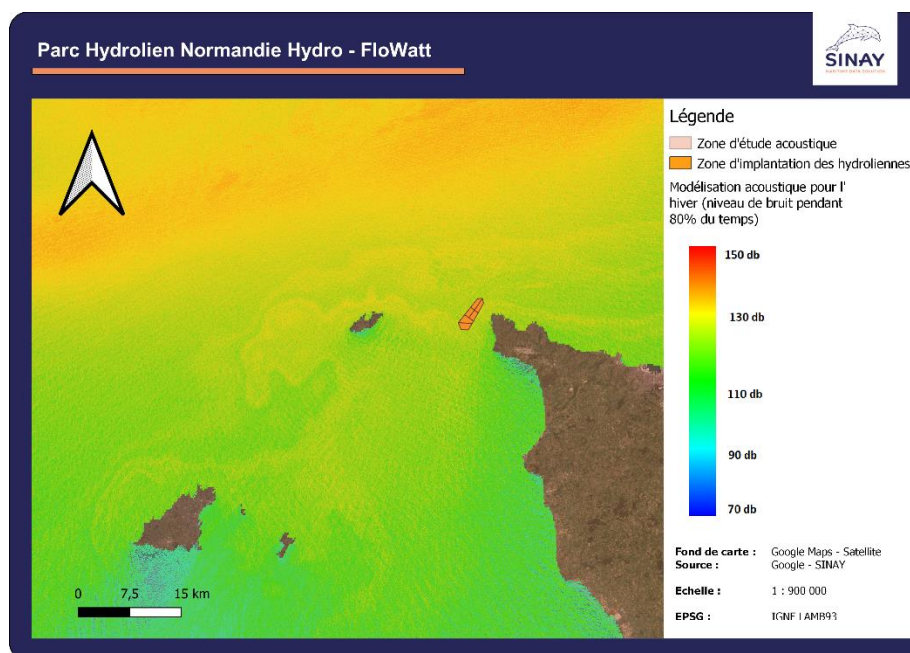
Percentile
80 %

Le niveau du bruit dépasse le niveau en dB indiqué sur la carte pendant 80% du temps

AUTOMNE



HIVER



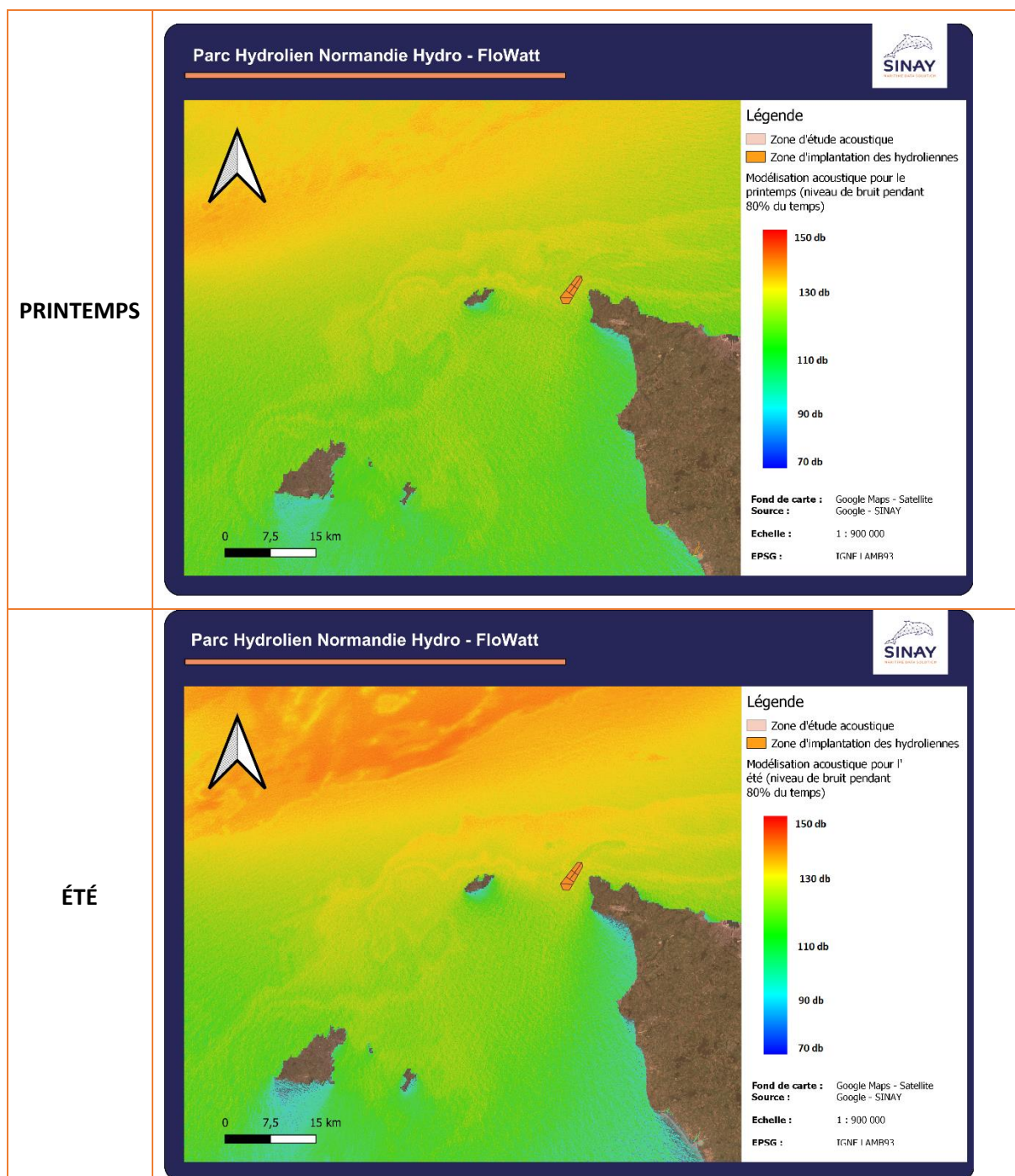
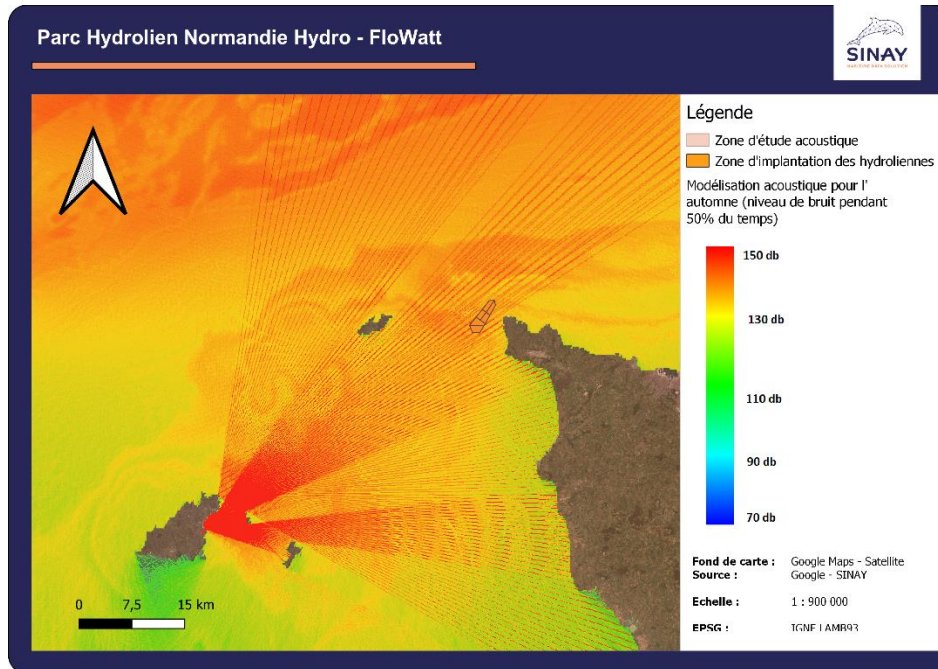


Figure 29 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 80% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été).

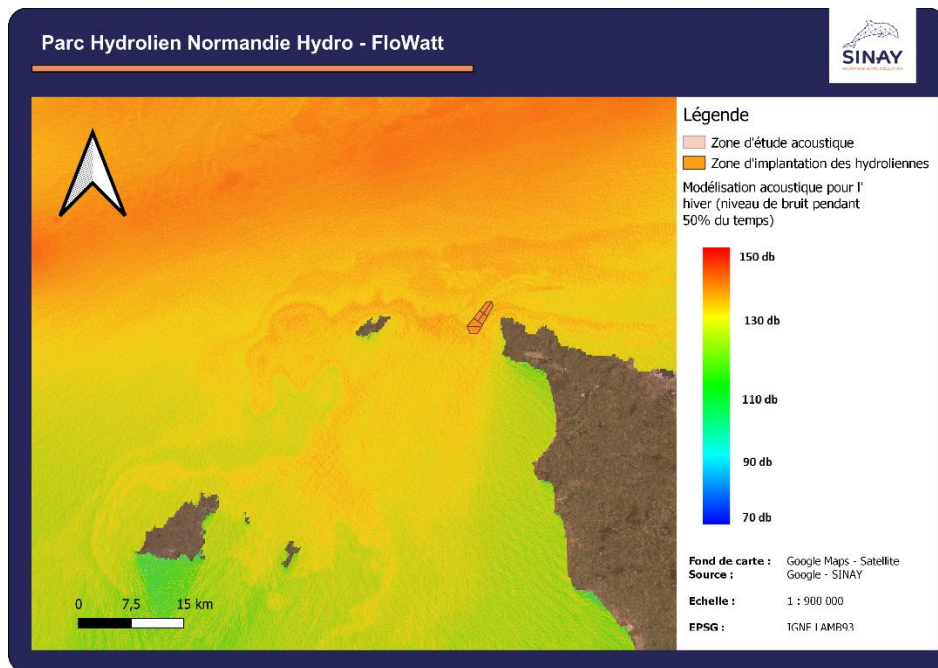
Percentile Le niveau du bruit dépasse le niveau en dB indiqué sur la carte pendant 50% du temps

50 %

AUTOMNE



HIVER



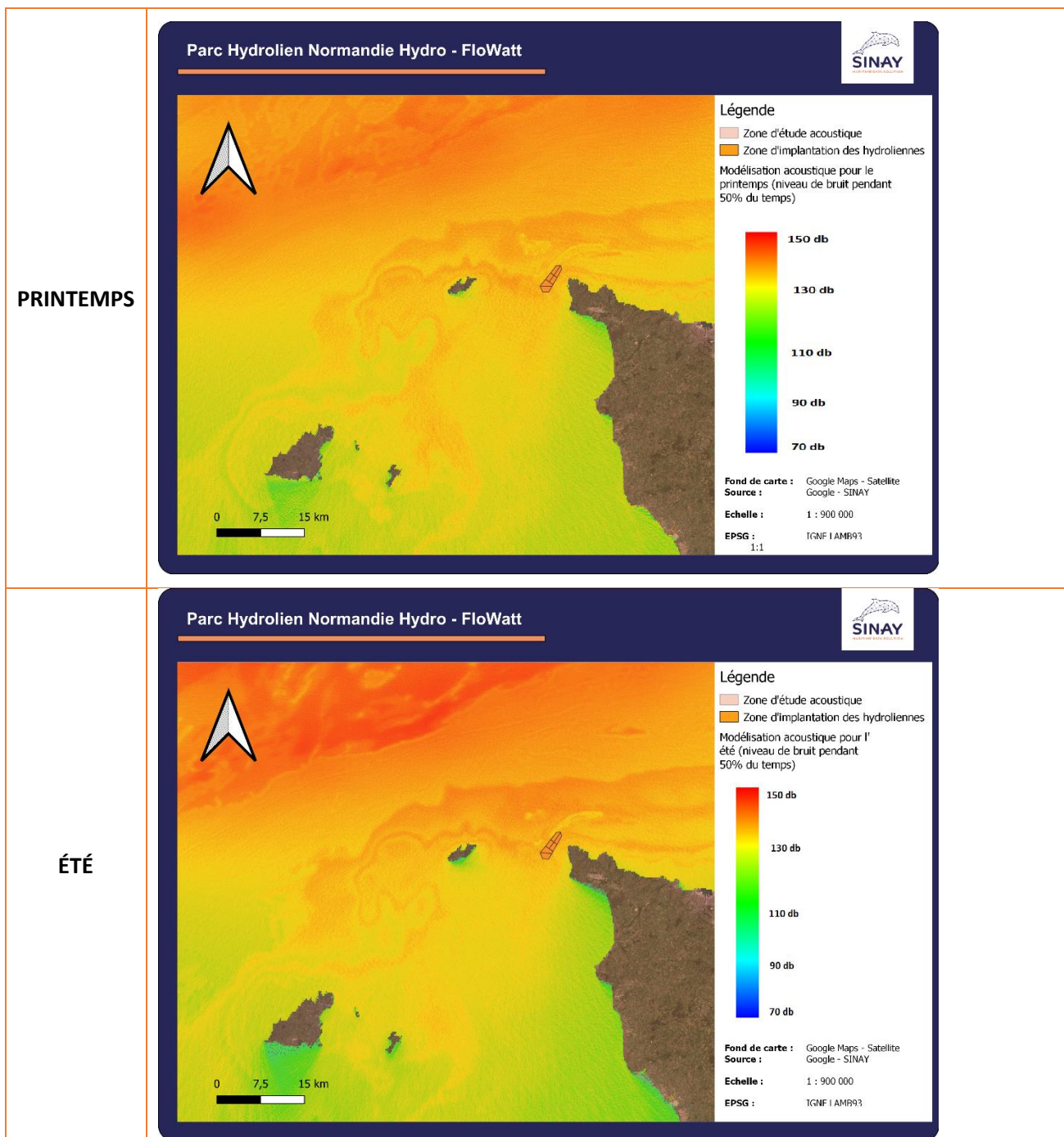
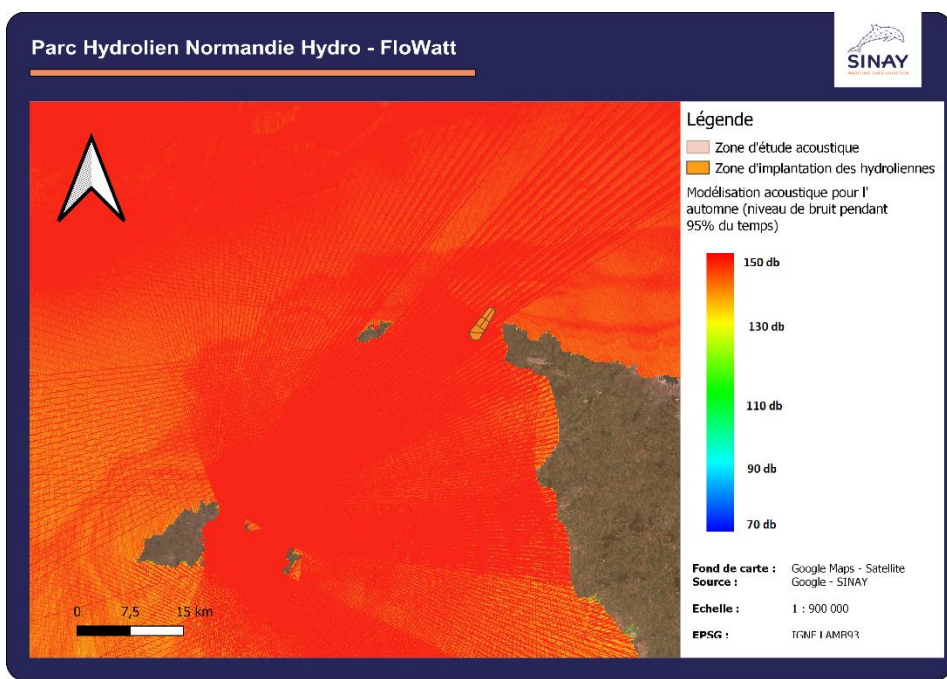


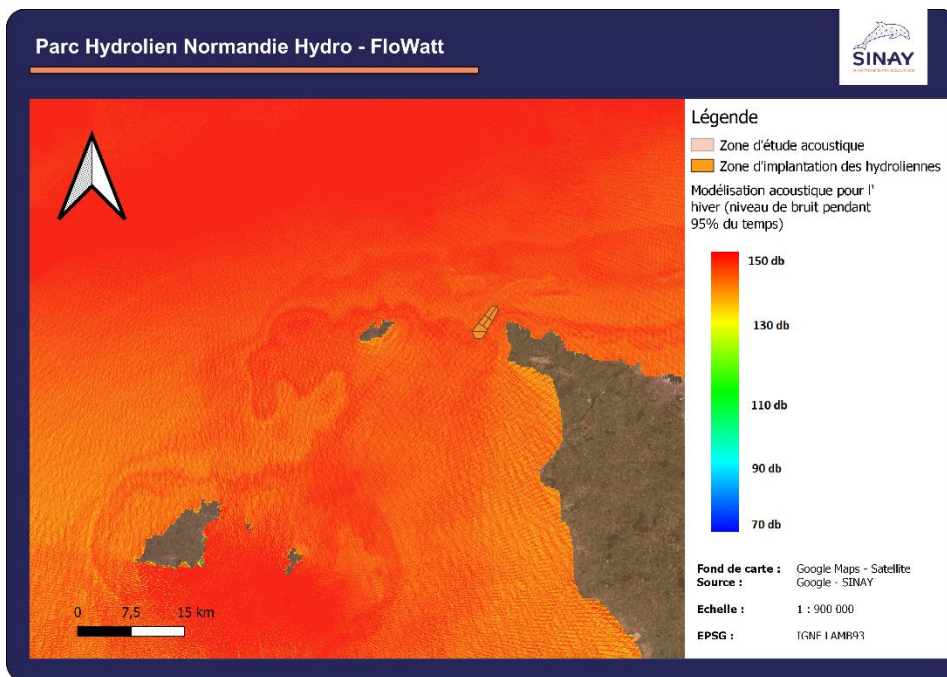
Figure 30 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 50% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été).

<p>Percentile 5 %</p>	<p>Le niveau du bruit dépasse le niveau en dB indiqué sur la carte pendant 5% du temps</p>
----------------------------------	---

AUTOMNE



HIVER



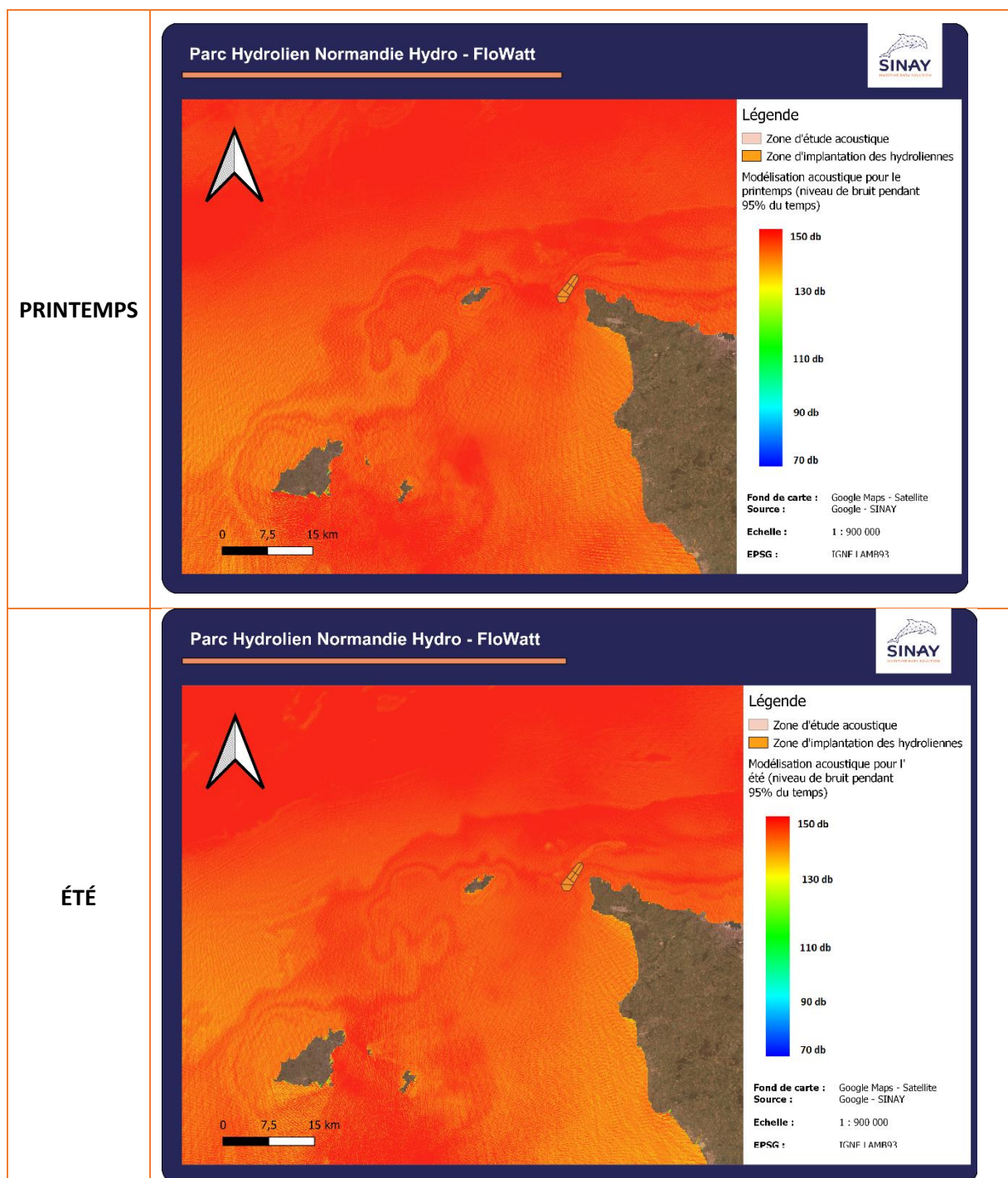


Figure 31 : Modélisation du niveau de bruit dépassant le niveau indiqué pendant 5% du temps pour les différentes saisons (automne, hiver, printemps et été).

5 CONCLUSION

Ce rapport est consacré à la caractérisation du niveau de bruit ambiant l'état initial dans la zone du futur parc d'hydrolienne. Les moyens matériels, le protocole et la méthodologie appliqués y sont décrits. Cette étude a permis l'analyse de l'ambiance sonore régnant dans la zone de projet. Pour ce faire, un enregistreur autonome de type RTsys a été déployés dans la zone de projet pour échantillonner le niveau de bruit ambiant. Des campagnes de calibration, active et passive, sont effectuées à l'échelle de la zone d'étude pour déterminer avec le maximum de précision les paramètres du milieu de propagation et les niveaux des sources de bruit anthropiques. Finalement, une étude du bruit anthropique est réalisée avec des modélisations du bruit généré par l'ensemble des navires présents sur la zone d'étude durant une année 2019.

Les méthodes d'analyses utilisées ont permis de mesurer l'évolution du niveau de bruit dans la zone d'étude, de caractériser les bruits typiques auxquels la vie marine est exposée quotidiennement et de connaître le niveau du bruit moyen.

Les analyses des résultats de modélisation dans la zone ont permis de distinguer les bruits notables auxquels le secteur est exposé, à savoir, le bruit généré par les grands bateaux comme les cargos et les Ferries. Les paramètres du milieu de propagation des ondes acoustiques dans les zones d'étude ont montré une forte absorption des basses fréquences et une réponse plus favorable pour les propagations des ondes de moyennes et hautes fréquences. Ceci est dû surtout aux faibles profondeurs de la zone d'étude <150 mètres.

Les bruits de navires de commerce, constituent une source importante de bruit mais ne dépassent pas 180 dB (crête) PTS (Permanent Threshold Shift) ou TTS (Temporary Threshold Shift), Pour ce dernier bruit, une étude de plusieurs passages est nécessaire pour estimer son importance, puisqu'il est étroitement lié à plusieurs paramètres variables du navire (tel que le régime moteur).

Cette étude nous a bien permis de caractériser l'ambiance sonore initiale de la zone du futur parc d'hydrolienne. Elle permet ainsi de fournir des informations importantes pour la phase d'évaluation de l'impact du bruit des futurs travaux.