



MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Parc éolien au large de la Bretagne Sud (AO5) – état actuel de l’environnement

Protocole relatif au compartiment
« Bruit sous-marin »



Mars 2022

REVISIONS

Version	Date	Description	Auteurs	Relecteur
1.0	01/03/2022	Première version complète	Achraf DRIRA - SINAY Mathieu JACOB - SINAY Laura Couraud - SINAY	Alessio MAGLIO - SINAY
2.0	12/03/2022	Intégration premiers commentaires reçus par AMO, déplacement du point témoin (SINAY3) à nord-ouest de la zone du parc	Alessio MAGLIO	Alessio MAGLIO - SINAY Mathieu JACOB - SINAY
3.0	31/03/2022	Intégration dernières remarques reçues par AMO, ajout de 3 points de mesure et mutualisation des plans d'échantillonnage SINAY-TBM	Achraf DRIRA - SINAY Alessio MAGLIO - SINAY	Alessio MAGLIO - SINAY Mathieu JACOB - SINAY
4.0	02/05/2022	Intégration remarques de CréOcéan et Cohabys	Achraf DRIRA - SINAY	Mathieu JACOB - SINAY
5.0	12/05/2022	Intégration remarques de CréOcéan et Cohabys	Achraf DRIRA - SINAY	Mathieu JACOB - SINAY
6.0	14/10/2022	Evolution du protocole BACI vers BAG	Mathieu JACOB - SINAY	Alessio MAGLIO - SINAY
7.0	15/11/2022	Evolution du protocole BACI vers BAG	Mathieu JACOB - SINAY	G. BLONDEAU - SINAY
8.0	03/03/2023	Evolution du protocole BAG vers BACI et réponses aux commentaires	Laura COURAUD SINAY	– Mathieu JACOB - SINAY
9.0	15/05/2023	Reprise des derniers commentaires de COHABYS	Mathieu JACOB - SINAY	Mathieu JACOB - SINAY
10.0	20/06/2023	Actualisation de la carte avec la représentation des différentes zones	Mathieu JACOB - SINAY	Mathieu JACOB - SINAY

COORDONNEES

Siège social	Directrice de projet
SETEC Energie Environnement Immeuble Central Seine 42 - 52 quai de la Rapée - CS 71230 75583 PARIS CEDEX 12	Françoise LEVEQUE Directrice de projet ZA La Grande Halte 29940 LA FORET FOUESNANT FRANCE

FRANCE

Tél +33 1 82 51 55 55

Fax +33 1 82 51 55 56

environnement@setec.com

www.setec.com

Tél +33 2 98 51 41 75

Fax +33 2 98 51 41 55

francoise.leveque@setec.com

POINTS CLES	5
RESUME	6
1. OBJECTIFS	7
2. APPROCHE GLOBALE	8
3. MOYENS MATERIELS	12
3.1 Instruments de mesure du bruit sous-marin et réglages	12
3.1 Détecteur de clics d'écholocation	15
3.2 Ligne de mouillage	17
3.3 Moyens nautiques	18
4. EQUIPE ET RESPONSABILITES	20
5. METHODE DE DEROULEMENT D'UNE CAMPAGNE TERRAIN	21
6. PROCEDURES OPERATIONNELLES POUR LA MOBILISATION, MAINTENANCE ET DEMOBILISATION DU MATERIEL	22
7. PARAMETRES DE DEPLOIEMENT	23
7.1 Les positions des instruments	23
8. SAUVEGARDE ET PREPARATION POUR LA VERIFICATION ET L'EXPLOITATION	25
9. DESCRIPTION DES METHODES ET OUTILS D'ANALYSE	26
9.1 Analyses pour l'étude du bruit sous-marin	26
9.2 Algorithmes de détections de signaux biologiques	27
9.3 Présence, fréquentation et comportement des cétacés	29
10. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	31
10.1 Littérature scientifique	31
10.2 Publications SINAY et CHORUS sur la détection et classification des vocalises de cétacés	33
11. ANNEXES	34
11.1 Annexe 1 – Méthode de travail sécurisée	34
11.2 Annexe 2 – Procédure opérationnelles	35
11.3 Annexe 3 – Facteurs considérés pour le choix des points de déploiement des enregistreurs	36
11.4 Annexe 4 Calibration du modèle de propagation	38

POINTS CLES

Protocole de collecte et exploitation des données		
Bruit sous-marin		
Approche	BACI - <i>Before After Control Impact</i>	(Green 1979) (Underwood 1991) (Benhemma-Le Gall et al., 2021)
Nb de points de mesure	Zone impact : 2 points Zone témoin : 1 point	3 points exploitables
Durée d'enregistrement	12 mois	
Dates début et fin	Novembre 2022 – Octobre 2023	
Instruments de mesure	RTsys SILENCE LP	Instruments de remplacement disponibles
Duty cycle	100%	
Plage de fréquence d'enregistrement	[3 Hz, 180 kHz]	Permet de détecter l'ensemble des vocalises des cétacés
Sauvegarde des données	Espace dédié et sécurisé dans Hub digital SINAY, réplication x3 pour réduire risques de perte	
Méthodes et outils et traitements de données	MATLAB : pré-traitements et traitement du signal, algorithmes de détection et classification de sources de bruit développés en interne, analyses de bruit R : analyses statistiques (type ANOVA) et modélisation (GLM, GAM) relevant de l'approche BAG Hub digital SINAY : modèles de propagation sonore et cartographie de bruit	
Format de restitution	Cartographies sonores ; graphiques de l'évolution des niveaux de bruit dans le temps ; indicateurs statistiques des niveaux de bruit (moyenne, médiane, percentiles)	Logiciels SIG à l'appui (QGIS)
Ecoute passive des mammifères marins		
Approche	BAG <i>Before After Gradient</i>	(Secor, 2018) (Benhemma-Le Gall et al., 2021)
Nb de points de mesure	Zone impact : 4 points Zone témoin : 2 points 1 directrice pour l'étude sur gradients spatiaux	2 points exploitables en plus en coordination avec TBM-Environnement sur la même zone
Durée d'enregistrement	12 mois pour hydrophones – 24 mois pour C-POD	
Dates début et fin	Novembre 2022 – Octobre 2023 pour hydrophones – Octobre 2024 pour C-POD	
Instruments de mesure	RTsys SILENCE LP équipé d'hydrophone COLMAR GP1190 et C-POD 3 points avec double instrument 3 points avec CPOD uniquement	Instruments de remplacement disponibles
Duty cycle	RTsys 100%, CPOD 100%	
Sauvegarde des données	Espace dédié et sécurisé dans Hub digital SINAY, réplication x3 pour réduire risque de perte	
Outils et traitements de données	MATLAB : pré-traitements et traitement du signal, algorithmes de détection et classification de mammifères marin développés en interne Algorithmes PAM Guard : algorithmes de détection et classification de cétacés C-POD.exe : traitement des données et détections issues des CPOD R : analyses statistiques et modélisation relevant de l'approche BAG	
Format de restitution	Graphiques et statistiques des taux de détection de cétacés dans le temps ; graphiques, statistiques et cartographies de la distribution spatiale des détections ; tableaux synthétiques des résultats des modèles relevant de la méthode BAG : identification des variables ayant un effet significatif	Logiciels SIG à l'appui

RESUME

Ce document décrit et justifie les choix méthodologiques et matériels du protocole de collecte de données proposé par Sinay pour l'étude du bruit sous-marin et des mammifères marins par acoustique passive. Il anticipe finalement la description des méthodes d'analyse et exploitation cartographique des données. Les objectifs de la collecte de données sont la description de l'état actuel du bruit ambiant sous-marin et de la fréquentation des cétacés par écoute passive. L'aire d'étude se situe sur la zone du 5^{ème} appel d'offre de l'Etat pour la construction de parcs éoliens en mer (Sud Bretagne).

Pour atteindre ces objectifs nous allons utiliser une approche hybride BACI-BAG (BACI = *Before After Control Impact* (Green, 1979) ; BAG = *Before After Gradient* (Bailey et al., 2014; Secor, 2018). La différence entre les deux approches réside dans le nombre de points de mesure : 2 points (1 point 'témoin' et 1 point 'impact') pour l'approche BACI ; plusieurs points pour BAG, établis de façon à détecter les variations des paramètres mesurés sur un gradient spatial. À la suite de l'étape de synthèse bibliographique et lors de la phase de discussion avec l'AMO et d'autres parties prenantes, SINAY a engagé des discussions avec la société TBM-Environnement, en charge de l'étude du bruit sous-marin et des mammifères marins par acoustique passive sur la zone de raccordement électrique adjacente à notre aire d'étude. SINAY et TBM ont convenu de mettre en place un échange informel et régulier entre les deux sociétés afin de coopérer lors de la réalisation de l'étude de l'état actuel.

Six points de mesure sont proposés par SINAY : quatre points de mesure en zone 'impact' et deux points en zone 'témoin' entourant le site rapproché du parc éolien. Chaque point témoin sera à environ 20 km du périmètre du parc. Cette distance est indiquée dans plusieurs études comme limite de détection des impacts du bruit sous-marin sur le marsouin commun en phase de travaux (Brandt et al., 2012, 2009a; Tougaard et al., 2009) et il est donc pertinent d'instrumenter autour de cette distance. Deux instruments (RTsys Sylence LP couplé à un hydrophone type COLMAR GP1190, et un C-POD) sont déployés sur deux points en zone « impact » et sur un point « témoin ». Sur les trois autres points, seuls seront déployés des CPOD. Également, trois autres enregistreurs large-bande sont déployés par TBM entre la zone du parc éolien et la côte. Le plan global permet d'identifier au moins trois directrices sur lesquelles il sera possible de mener des analyses statistiques spatiales robustes relevant de la méthode BAG. Ce plan permet la mise en œuvre simultanée de l'approche BACI pour le bruit sous-marin et BAG pour les mammifères marins. Ce système permet également la calibration des C-PODS et réduit, pour les points où deux instruments sont déployés, le risque d'absence de données lié à une panne ou endommagement du matériel.

Les réglages utilisés pour les enregistreurs large bande permettront d'enregistrer à la fois le bruit anthropique et l'activité bioacoustique des mammifères marins. Les algorithmes de SINAY permettent de détecter et extraire les clics des marsouins et delphinidés, ainsi que les sifflements de ces derniers, mais aussi les clics de cachalots, les signaux basse fréquence des rorquals et les vocalises des phoques. Ils permettent également la détection et la description des bruits émis par les navires et ainsi que d'autres sources anthropiques. Les données issues des C-PODS permettront aussi d'obtenir des indicateurs de présence de marsouin et de delphinidés. L'utilisation simultanée de deux instruments sur le même point permettra d'inter-calibrer les détections de signaux biologiques et de détecter d'éventuel faux positifs ou dysfonctionnements. Des taux de corrections peuvent être appliqués ensuite à tous les C-PODS, ce qui va augmenter la qualité des résultats de l'étude en particulier pour les données issues des C-PODS « seuls ». Le déploiement se fait sur une période de 12 mois pour les hydrophones et de 24 mois pour les C-PODS, avec un « Duty Cycle » de 100% pour les enregistreurs large bande, en continu pour les C-PODS (*Duty cycle 100%, non réglable*). Les enregistreurs sont relevés tous les mois environ, les C-PODS tous les 4 mois.

Le bateau utilisé est le Minibex mis à disposition par la société *Ship as a Services*. Ce navire possède toutes les caractéristiques nécessaires pour garantir la réussite du travail de terrain dans des conditions confortables. Le type de mouillage est adaptée aux conditions environnementales, principalement la profondeur, les courants, le trafic maritime sur zone.

L'équipe de terrain SINAY est composée d'un chef de projet, un chef de mission et un technicien maritime. L'équipe totale comprend aussi deux experts en acoustique sous-marin et mammifères marins, et le personnel en charge de la direction des opérations maritimes.

Les données collectées par le biais de ce protocole permettront de calibrer un modèle de propagation acoustique pour produire des cartographies sonores sous-marines, de détailler le paysage sonore, et de décrire la présence de cétacés via des indicateurs d'activité bioacoustique. **L'ensemble des éléments constituant ce protocole est détaillé dans les différents chapitres et annexes de ce document.**

1. OBJECTIFS

Le protocole mis en œuvre a pour but de collecter les données acoustiques nécessaires à caractériser l'état actuel des conditions de bruit ambiant sous-marin ainsi que de la présence de mammifères marins. Ce protocole est basé sur la mutualisation des moyens nécessaires pour atteindre ces objectifs.

Pour ce faire, des enregistrements seront effectués afin de :

1. Mesurer le bruit ambiant. Le bruit sera décrit en niveau de pression sonore, niveau de pic de pression sonore, niveau d'exposition sonore par unité de temps (1 s) et niveau d'exposition sonore cumulé sur une période de 24h. En ce qui concerne la terminologie et la symbologie employée, nous utilisons la notation ISO 18405: 2017 *Underwater acoustics — Terminology* (Ainslie et al., 2021).
2. Décrire le paysage sonore et identifier les sources de bruit contribuant au bruit ambiant global. Les sources anthropiques, naturelles et biologiques seront identifiées et illustrées.
3. Calibrer un modèle de propagation acoustique pour dériver des cartographies sonores. Le modèle est utilisé pour produire des cartographies sonores de la zone. Les cartographies montrent les niveaux d'exposition sonore à fine échelle spatiale (*résolution spatiale = 100 m*) et à différentes saisons.
4. Documenter la présence et l'utilisation de la zone par les mammifères marins à fine échelle spatio-temporelle. Pour ce faire, des indicateurs d'activité bioacoustique seront calculés en phase d'analyse, et principalement le taux de détection de clic d'écholocation par unité de temps (*minute, heure, jour, semaine*) sur les différentes périodes de déploiement. Le temps d'attente entre deux détections pourra être également exploité. En utilisant ces indicateurs comme variable explicative, des modèles empiriques seront utilisés, toujours en phase d'analyse, pour étudier les facteurs environnementaux ayant un effet sur l'activité bioacoustique des mammifères marins sur la zone.

Les méthodes détaillées pour l'analyse des données sont présentées au chapitre 9.

2. APPROCHE GLOBALE

Du fait de la mutualisation souhaitée entre étude du bruit sous-marin et étude des mammifères marins par acoustique passive, et afin d'inclure les éléments de variabilité temporelle et spatiale, l'approche hybride BACI-BAG est adoptée; l'approche BACI (*Before After Control Impact*) est considérée adéquate pour l'étude du bruit ambiant, alors que l'approche BAG (*Before After Gradient*) est plus indiquée pour les mammifères marins (Bailey et al., 2014; Brandt et al., 2016; Mikkelsen et al., 2016; Secor, 2018; Thompson et al., 2010).

L'approche BACI est basée sur l'œuvre de Green (1979) et prévoit la comparaison des paramètres mesurés dans deux situations géographiques et deux moments différents :

- Une zone impactée (généralement proche des travaux) ;
- Une zone témoin (non impactée, normalement loin des travaux) ;
- Avant que les impacts se vérifient (c'est à dire avant les travaux) ;
- Après le début des activités ayant un impact potentiel.

L'approche BACI apparait adéquate pour le bruit ambiant surtout en raison de l'objectif principal des mesures qui est la calibration d'un modèle de propagation acoustique. Celui-ci sert ensuite pour produire des cartographies de l'ambiance sonore sous-marine qui auront une fine résolution spatiale et temporelle. Cela implique que les cartographies peuvent ensuite servir pour détecter des gradients d'effets sonores, alors que seulement deux points de mesure sont utilisés. L'utilisation des modèles de propagation acoustique permet de réduire le nombre de points de mesure nécessaires à décrire l'ambiance sonore d'une zone, tout en conservant une résolution spatiale et temporelle fine. L'approche BAG est considérée ici comme une évolution de BACI et prévoit plusieurs sites de contrôle et/ou d'impact établis sur un gradient spatial. En effet, l'analyse des données pour décrire l'état actuel pour ces espèces nécessite de modèles statistiques empiriques qui ont généralement besoin de beaucoup de données de terrain sur une grande emprise spatiale pour être fiables. L'approche BAG servira pour détecter des gradients d'effets sonores sur la présence de mammifères marins.

Afin de pouvoir produire ces modélisations, un modèle de propagation acoustique doit être calibrer via des données collectées in situ. La modélisation ainsi produite permettra d'éditer une cartographie du bruit ambiant avec une maille carré de 100m par 100m. chaque maille pourra alors être considérée comme un site de contrôle ou bien d'impact. Ainsi cette cartographie permettra d'obtenir un nombre très élevé de sites, que l'on pourrait donc appeler « sites virtuels », et dont le nombre est égal au nombre de mailles utilisé.

Cela permet d'obtenir une large couverture sans avoir besoin de déployer des milliers de points de mesures in situ.

À la suite de l'étape de synthèse bibliographique et lors de la phase de discussion avec l'AMO et d'autres parties prenantes, SINAY a engagé des discussions avec la société TBM-Environnement, en charge de l'étude du bruit sous-marin et des mammifères marins par acoustique passive sur la zone de raccordement électrique adjacente à notre aire d'étude. SINAY et TBM ont convenu de mettre en place un échange informel et régulier entre les deux sociétés afin de :

- Proposer et mettre en œuvre un plan d'échantillonnage cohérent et robuste, en collaboration avec TBM (les périodes d'enregistrement de TBM diffèrent de celles de SINAY);
- Partager des informations et des données afin d'effectuer des calculs comparables concernant les indicateurs de bruit et d'activité bioacoustique ;
- Effectuer des analyses statistiques robustes sur les gradients spatiaux construits avec les points de mesures des deux sociétés.

Sur la base de ces éléments, **un plan d'échantillonnage avec six points est proposé : 3 points avec double instrumentation (enregistreur large bande RTsys + C-PODS), 3 points avec C-PODS seuls.**

Les instruments déployés par TBM apportent des infos complémentaires sur des périodes non échantillonnées par Sinay.

Concernant l'emplacement des capteurs, nous savons aujourd'hui que certains travaux de construction d'un parc (*battage de pieux*) engendrent un déplacement des populations de marsouin qui est bien visible sur un rayon de 20 km, mais aussi au-delà avec des pointes à 40 km (*Brandt et al., 2009; Dähne et al., 2013; Tougaard et al., 2009*). La zone témoin doit donc être identifiée à une distance d'au moins 20 km, les autres stations pouvant être placées sur une directrice allant vers le centre de la zone du futur parc éolien. Une directrice parallèle au trait de côte est envisagée afin de cibler les espèces ayant des habitudes côtières, pour qui l'impact pourrait être plus fort au vu de la position de la zone du futur parc éolien.

En ce qui concerne les mammifères marins, ce plan est cohérent avec d'autres études en Europe, réalisées majoritairement avec des détecteurs de clic (*type C-POD ou T-POD*): 3 T-PODs pour l'étude de (*Tougaard et al., 2009*) sur le parc Horns Rev I; 5 C-PODs pour l'étude de (*Brandt et al., 2009b*) sur les parcs FINO III et Horns Rev II ; puis 6 pour les études de (*Brandt et al., 2009a*) sur les parcs Horns Rev I et Horns Rev II ; le programme français MARSAC avec 4 C-PODS déployées dans le bassin d'Arcachon et 4 dans la mer d'Iroise (*Samaran and Corman, 2013*); nous avons répertorié deux études menés sur le parc éolien en mer Beatrice, en Ecosse, réalisé avec 40 et 68 C-POD, ainsi que deux enregistreurs large bande (*Benhemma-Le Gall et al., 2021; Graham et al., 2019*).

Enfin, une considération liée à l'utilisation des C-PODS, car l'utilisation de cet instrument implique de focaliser certaines analyses sur les clics de marsouin alors que d'autres espèces sont présentes et produisent également d'autres types de signaux comme le sifflement :

La réalisation de l'état actuel s'insère dans une démarche environnementale ample visant non seulement à décrire les conditions actuelles au moyen d'indicateurs adaptés, mais surtout à atténuer les risques et les impacts potentiels induits par l'installation du parc éolien sur l'environnement marin. Une façon d'atteindre cet objectif de manière efficace est de focaliser les différentes étapes (*état actuel puis étude d'impact et suivis*) et les mesures *ERC* (*évitement, réduction, compensation*) sur les espèces les plus sensibles aux perturbations sonores. Nous avons défini le concept de « espèce plus sensible aux perturbation sonores » selon les critères suivants :

- 1) Une espèce est considéré **plus sensible** qu'une autre quand elle montre une **réponse négative** à des niveaux sonores plus faibles que les autres espèces (*qui sont donc moins sensibles*) pour une fréquence ou gamme de fréquence donnée. Pour chaque groupe acoustique de mammifères marins une échelle de perturbations existe présentant des seuils de dérangement par fréquences. Ces échelles sont également exprimées pour des bruits de type impulsionnel ou continu ;

	Type d'impact acoustique	Type de son	Cétacés sensibles aux basse fréquence	Cétacés sensibles aux moyenne fréquence	Cétacés sensibles aux haute fréquence	Pinnipède Phocidés
NOAA 2016	PTS	Impulsif	219 dB re.1µpa 183 dB re.1µpa ² s	230 dB re.1µpa 185 dB re.1µpa ² s	202 dB re.1µpa 155dB re.1µpa ² s	218 dB re.1µpa 185 dB re.1µpa ² s
		Non Impulsif	199 dB re.1µpa ² s	198 dB re.1µpa ² s	173 dB re.1µpa ² s	201 dB re.1µpa ² s
	TTS	Impulsif	204 dB re.1µpa 168 dB re.1µpa ² s	215 dB re.1µpa 170 dB re.1µpa ² s	187 dB re.1µpa 140 dB re.1µpa ² s	203 dB re.1µpa 170 dB re.1µpa ² s
		Non Impulsif	179 dB re.1µpa ² s	178 dB re.1µpa ² s	153 dB re.1µpa ² s	181 dB re.1µpa ² s

Figure 1: exemple de seuils de dérangements permettant de définir les espèces les plus sensibles et impactable sur zone (*Southall et al., 2019 et NOAA, 2018*).

- 2) Les termes « **réponse négative** » correspondent aux effets négatifs engendrés par le bruit sous-marin d'origine anthropique recensés en littérature scientifique et basés sur des données de terrain, y compris :
 - La fuite et l'évitement d'un site perturbé par des bruits d'origine anthropique
 - L'interruption du comportement de chasse
 - La réduction du temps de plongée
 - Les changements au niveau des paramètres bioacoustiques : taux de clic, durée des buzz, etc.
 - La perte temporaire de capacités auditives (TTS¹)
 - D'autres effets physiologiques tels que l'endommagement des tissus auditifs, les embolies causés par la remontée trop rapides en surface, et les autres effets détectables par nécropsie et/ou analyses d'échantillons biologiques.

Focaliser certaines analyses sur l'espèce la plus sensible est donc une manière d'atténuer les risques et les impacts potentiels induits par l'installation du parc éolien sur tous les cétacés, pour les raisons suivantes :

- Si pendant le suivi des travaux les effets sont assez forts pour impacter une espèce très sensible au bruit dans la gamme des fréquences générées par les travaux (*nous utilisons les seuils les plus bas*), des mesures seront déclenchés, ce qui protégera automatiquement les autres espèces ;
- Si en revanche les effets ne sont pas assez forts pour déranger une espèce très sensible, alors ils sont trop faibles aussi pour les autres espèces ;
- Ce raisonnement pour la phase de suivi est valable aussi pour l'analyse des impacts potentiels et la conception des mesures ERC, et évidemment pour la description de l'état actuel.
- Ces concepts s'adaptent très bien au cas des mammifères marins en relation aux effets du bruit sous-marin

Selon la littérature scientifique disponible aujourd'hui, 2 espèces vivant en Golfe de Gascogne montrent une sensibilité aux perturbations sonores particulièrement élevée, selon les définitions ci-dessus, et seraient donc des bons candidats :

- Le marsouin commun (*Benhemma-Le Gall et al., 2021; Brandt et al., 2018, 2016, 2012, 2009b; Carstensen et al., 2006; Dähne et al., 2013; Kastelein et al., 2020; Lucke et al., 2009a; Teilmann et al., 2002; Tougaard et al., 2009*)
- La baleine à bec de Cuvier (*Aguilar de Soto et al., 2006; Coomber et al., 2015; Deruiter et al., 2013; Martin et al., 2004; Pirota et al., 2012; Tyack et al., 2011; Vires, 2011*).

Parmi ces deux espèces, seul le marsouin commun sensible aux hautes fréquences, est confirmé régulièrement présent dans la zone d'étude.

Selon l'étude de Lucke *et al.* (2009) mais encore valable aujourd'hui, le marsouin commun se définit comme l'espèce présentant les seuils de dérangement les plus bas (*cf figure 1*) parmi les autres espèces.

Le marsouin commun est connu pour être une des espèces les plus sensibles au bruit sous-marin sur les hautes fréquences, et ceci à la fois pour le dérangement comportemental et les effets physiologiques (*Kastelein et al., 2020; Lucke et al., 2009b; Southall et al., 2007, 2019*). Il est dans la liste des espèces vulnérables déterminant la création de zones NATURA 2000 et présente un enjeu réel de conservation. Sa présence sur l'ensemble du Golfe de Gascogne, comprenant la zone de l'AO5, est documentée par plusieurs travaux et notamment les campagnes SAMM : 2700 individus estimés en hiver fréquentant

¹ La perte permanente de capacités auditives (PTS) est un effet qui n'a jamais été mesuré, ni sur des animaux captifs ni moins sur des animaux sauvages ; les niveaux d'exposition sonore qui engendrent un PTS recensés dans tous les travaux scientifiques portant sur le sujet sont en effet des niveaux estimés à partir des niveaux TTS que, eux, ont été mesurés sur des animaux captifs (*Southall et al., 2016, 2019, 2007*)

surtout les zones côtières, et plus de 13 000 individus estimés en été avec une présence aussi au large (*C. Lambert et al., 2016; Laran et al., 2017b*).

L'intérêt de l'utilisation du C-POD seul apparaît donc justifiée vis-à-vis de l'intérêt d'acquérir plus de données pour les analyses statistiques relevant de l'approche BAG, avec un instrument doté d'une plus grande autonomie par rapport aux enregistreurs large bande et qui présente aussi un plus faible coût d'exploitation.

Néanmoins, les autres espèces de mammifères marins seront étudiés à l'aide des enregistreurs large bande (*pendant la première année*) et de méthodes de traitement et analyses dédiés (*Cf Chapitre 9*).

3. MOYENS MATERIELS

3.1 INSTRUMENTS DE MESURE DU BRUIT SOUS-MARIN ET REGLAGES

Les instruments suivants seront utilisés :

- Enregistreur RTsys de type Sylence EA-SDALP ;
- Hydrophones COLMAR GP1190

Le matériel suivant est également disponible et permet de répondre aux mêmes exigences ; Il sera utilisé comme matériel de remplacement ou en cas de panne prolongée :

- Enregistreur RTsys de type EA-SD14 ;
- Enregistreur ABYSSENS de type DORI_recorder_Mc_LH ;
Hydrophones HDI-99-HF.

La chaîne d'acquisition est calibrée par le constructeur et possède les qualités nécessaires pour atteindre les objectifs du programme de suivi : autonomie, large bande, faible bruit propre, grande dynamique d'acquisition pour mesurer les signaux faibles (*signaux biologiques*) en présence de signaux forts (*passage de bateaux*).

Les enregistreurs peuvent mesurer le signal acoustique sur une bande de fréquences jusqu'à 250 kHz (*cf. tableau 1 ci-dessous - caractéristiques détaillées des enregistreurs et les réglages choisis*). La plage de fréquence est suffisante pour caractériser :

- Les signaux biologiques des mammifères marins ;
- Les niveaux de bruit ambiant naturel ;
- Les bruits anthropiques (*trafic maritime, activités de pêche par ex*).

Les marsouins communs émettent des impulsions à bande étroite avec des pics distincts à des fréquences comprises entre 110 et 160 kHz, principalement autour de 130 kHz, et une durée typique de 75 à 150 ms (*e.g. Amundin, 1991b ; Kamminga and Wiersma, 1981 ; Verboom and Kastelein, 1997 ; Villadsgaard et al., 2007*). L'emploi de l'hydrophone COLMAR GP1190 garanti une couverture de ces fréquences (*cf figure 2*). Pour les rorquals, les delphinidés et les baleines, la fréquence minimale à considérer est de 20 Hz. Le matériel sélectionné répond aux besoins de l'étude.

L'amplificateur ajustable qui équipe la carte électronique permet de choisir le gain entre 0, 14,7 et 18 dB. Comme nos appareils sont mouillés dans une zone relativement bruitée et vues les capacités des hydrophones, nous allons régler les gains de nos appareils à 14,7 dB.

REMARQUE : PLUS LA VALEUR DE GAIN EST ÉLEVÉE PLUS LA PROBABILITÉ DE DÉTECTER DES SONS FAIBLES ÉMIS PAR DES ESPÈCES PRÉSENTES SUR LA ZONE D'ÉTUDE AUGMENTE. EN CONTREPARTIE, LA VALEUR DE LA SATURATION DE L'HYDROPHONE DIMINUE. À TITRE D'EXEMPLE AVEC UN GAIN DE 14,7 POUR L'ENREGISTREUR RTSYS, LE PLUS HAUT NIVEAU QU'IL EST POSSIBLE D'ENREGISTRER EST DE 169 DB, CE QUI COUVRE PRATIQUEMENT L'ENSEMBLE DU BRUIT AMBIANT SAUF DANS DES CAS PARTICULIERS (PAR EXEMPLE LE PASSAGE D'UN CARGO JUSTE AU-DESSUS DE L'ENREGISTREUR PEUT SATURER L'ENREGISTREUR PENDANT UNE COURTE DURÉE). SI NOUS CHOISSONS LE GAIN DE 0 DB NOUS POUVONS ENREGISTRER JUSQU'À DES NIVEAUX TRÈS ÉLEVÉS (184 DB) MAIS EN DIMINUANT CONSIDÉRABLEMENT LA SENSIBILITÉ DE L'HYDROPHONE AUX SONS DE NIVEAU FAIBLE. LES HYDROPHONE COLMAR GP1190 ET HDI-99-HF SONT CONÇUS POUR LES MESURES DE FRÉQUENCES JUSQU'À 150 KHZ. ILS PERMETTENT DONC DE CAPTER LE BRUIT NATUREL, LE BRUIT ANTHROPIQUE ET L'ENSEMBLE DES SIGNAUX DE MAMMIFÈRES MARINS.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques détaillées des enregistreurs et les réglages choisis.

Tableau 1 : : Synthèse des caractéristiques et paramètres standards des enregistreurs (données fournisseurs).

	Sylence EA-SDALP (Enregistreur principal)	EA-SD14 (Remplacement en cas de besoin)	
			
Caractéristiques			
Format de l'enregistrement	24 Bits	16, 24, 32 Bits	
Stockage	Cartes SD	Disque dur	
Format fichiers	Audio	Audio	
Plage de fréquence	[3 Hz à 250 kHz]	[3 Hz à 150 kHz]	
Amplificateur (gain)	0 à 15 dB	0 à 15 dB	
NB batteries Alcaline	15	54	
Mode d'enregistrement	Continu / Echelonné	Echelonné	
Taux d'échantillonnage	256 kHz	312 kHz	
Autonomie d'enregistrement sur la plage [3 Hz à 150 kHz] / fréquence d'échantillonnage (%)	Jusqu'à 6 mois à 39 kHz	12 jours	100 %
		18 jours	75 %
		27 jours	50 %
		48 jours	25 %
Réglages choisis			
Format de l'enregistrement	24 Bits	24 Bits	
Duty cycle	30%	50%	
Plage de fréquence	[3 Hz à 150 kHz]	[3 Hz à 150 kHz]	
Amplificateur (gain)	14,7 dB	14,7 dB	
Autonomie d'enregistrement réelle [3 Hz à 150 kHz] / fréquence d'échantillonnage	2,5 mois	15 jours	
Dimensions			
Diamètre	90 mm	120 mm	
Longueur	430 mm	1210 mm	
Poids	4,5 kg (air) / 1,4 kg (eau)	20 kg (air) / 10 kg (eau)	
Profondeur max	250 m	200 m	

www.colmaritalia.it

Hydrophone GP1190



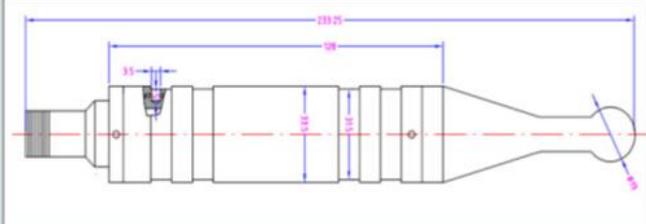
The GP1190 is a preamplified omnidirectional hydrophone, suitable for a wide range of applications requiring working frequencies up to the ultrasonic range (170 kHz). The device is a professional class measurement tool.



- High sensitivity
- Low self noise
- Working band up to 170 kHz
- Single or differential output
- Calibration input
- High quality of materials
- Gisma connector serie 35, 7 pin

Working band:	5 -170.000 Hz
High pass filter on preamplifier :	Customizable (on demand)
Balanced output sensitivity:	-172 dB re 1V/uPa @5kHz (customizable)
Single output sensitivity:	-178 dB re 1V/uPa @5kHz (customizable)
Directivity :	Spherical - Omnidirectional
Max working depth :	1000 m
Gain @5kHz:	26 dB (single output), 32dB (balanced output)
Equivalent input acoustic noise @5kHz:	38 dB re 1uPa / sqrtHz
Input impedance:	10 MOhm
Supply voltage range:	11.5 - 30 Vdc
Current consumption:	9 mA @ 12 Vdc
Output voltage swing:	6 Vpp (single output), 12 Vpp (balanced output)
Weight in air:	500 gr
Body construction:	Stainless steel AISI 316 or POMC with internal s.steel





CO.L.MAR. S.r.l. via delle Pianazze, 74 - 19136 La Spezia (Italy)
 Tel +39 0187 982590 Fax 943461 P.I.00742150113
 e-mail colmar@colmaritalia.it www.colmaritalia.it



Figure 2: caractéristique technique de l'hydrophone Colmar GP1190

	XS	S	M	L
References (base)	DORI_recorder_XS	DORI_recorder_Sb DORI_recorder_Sc	DORI_recorder_Mb DORI_recorder_Mc	DORI_recorder_Lb DORI_recorder_Lc
Acoustics				
ADC	24 bits			
Analogue bandwidth	2 Hz – 30 kHz (LF) OR 2 Hz- 250 kHz (HF)			
Dynamic range	110 dB			
High pass filter	10 Hz or 370 Hz (Software configurable)			
Gain	0 dB or 12 dB (Software configurable)			
Maximum acoustic level	185 dB (with 0 dB gain)			
User configuration				
Recording	Continuous, Scheduled, Duty cycling			
Storage	Raw data (.wav)			
Configuration	WiFi (without opening the recorder)			
Memory				
Type	Internal SD Card Storage			
Maximum storage	4 TB		10 TB	16 TB
Power				
Internal power	No internal power, external only	Rechargeable lithium battery or 10 C Cell	Rechargeable lithium battery or 24 D Cells	Rechargeable lithium battery or 48 D Cells
Autonomy for continuous recording				
Battery version	-	11 days	2,9 months	5,6 months
Cells version	-	17 days	3,4 months	6,9 months
Mechanical				
Diameter	90 mm		145 mm	
Length LF (HF : +23 mm)	150 mm (without connector)	277 mm	battery version: 490 mm	
Battery version weight			cells version: 392 mm	cells version: 576 mm
Cells version weight (with cells)	0.7 kg	1.5 kg	6.5 kg	9.0 kg
Pressure relief valve	Included			
Maximum operating depth*	300 m		250 m	
Available options				
Hydrophone** (mandatory option)	<ul style="list-style-type: none"> • Low frequency (LF) : Hydrophone HTI 96 MIN Low noise • High frequency (HF) : Hydrophone HTI 99 UHF SH = -185 dB re 1V/μPa			
Temperature sensor	Accuracy: ± 0.1 °C (between -5 to 50 °C); ± 0.5 °C (between -40 to 125 °C)			
Protective cage for hydrophone	Allows hydrophone shock protection. Increases the recorder LF length by 45 mm.			
Transport case	414 x 345 x 174 mm		cells version: 502 x 415 x 246 mm	687 x 528 x 276 mm
			battery version: 687 x 528 x 276 mm	
Vacuum kit	Compatible with all DORI recorders. Allows watertightness test.			

Figure 3 : le modèle ABYSSENS retenu pour l'AO5 est le DORI_recorder_Mc_LH équipé d'un hydrophone HTI99UHF couvrant 2Hz à 250KHz.

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 proche du siège de SINAY. 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 client.

3.1 DETECTEUR DE CLICS D'ÉCHOLOCATION

Le C-POD est un détecteur automatique de clics d'écholocation de cétacés. Cet instrument est composé d'un hydrophone et d'un système électronique embarqué doté d'un algorithme qui extrait les indicateurs d'activité bioacoustique. De cette manière, les enregistrements bruts ne sont pas conservés. Cette

caractéristique présente des points forts et points faibles. Les avantages et limites du C-POD sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Présentation du C-POD, avantages et limites.

C-POD-Dispositif pour enregistrer les clics des mammifères marins	
	
<ul style="list-style-type: none"> • Analyse robuste ; • Très nombreuses publications scientifiques prouvant sa validité ; • Vaste communauté d'utilisateurs ; • L'installation est compacte et robuste, le déploiement aisé ; • Grande capacité d'enregistrement et d'autonomie avec logistique réduite ; • Flottabilité positive du C-POD facilitant sa mise en œuvre. 	<ul style="list-style-type: none"> • Enregistrements bruts non accessibles ; • Algorithme de détection non accessible par la communauté scientifique ; • Détection des clics uniquement (sifflements et autres vocalises non détectés). • Les capteurs acoustiques sont optimisés spécifiquement pour la détection de marsouin ; les autres odontocètes sont détectés mais pas distingués au niveau de l'espèce. La différenciation marsouin et Dauphin est confirmée.

L'utilisation du C-POD en complément des enregistreurs RTsys sur les mêmes points de mouillage permet d'en réduire les points faibles et de pouvoir garantir la disponibilité de données en cas de panne d'un enregistreur RTsys (*et vice-versa*). De plus, la mutualisation C-POD et Enregistreur permet une comparaison des détections enregistrées par ces deux instruments en un même point et ainsi d'assurer une redondance, mais également un contrôle qualité des données acquises.

L'algorithme du C-POD est capable de distinguer les clics de marsouin commun de façon spécifique. Les clics d'écholocation des autres espèces sont déterminés à l'échelle de la famille (*delphinidés*).

Le C-POD permet de repérer l'activité bioacoustique d'écholocation dans un rayon de 300 mètres minimum (*le C-POD peut détecter jusqu'à 600 m, selon la profondeur et le bruit ambiant et la directivité de l'onde envoyé par le mammifère marin*). L'activité bioacoustique est mesurée par le nombre de clics par unité de temps. Des indicateurs de présence et fréquentation peuvent ensuite être dérivés (*Cf Chapitre 9*).

A chaque campagne, les C-PODS utilisés font l'objet d'une calibration pour identifier leur rayon de détection, mise au point par Cédric Gervaise pour l'Agence des Aires Marines Protégées dans le cadre du programme PACOMM : « C. Gervaise, O. Le Bot, F. Samaran, (2015), Définition et réalisation d'un protocole de calibration d'un détecteur de clics de cétacés de type C-POD pour le volet du projet PACOMM, Agence des Aires Marines Protégées. ». La méthode de calibration des C-PODS est jointe comme pièce séparée du protocole (***Annexe Calibration C-PODS_v2.pdf***).

3.2 LIGNE DE MOUILLAGE

Le schéma (*pas à l'échelle*) de la ligne de mouillage utilisée est illustré ci-après

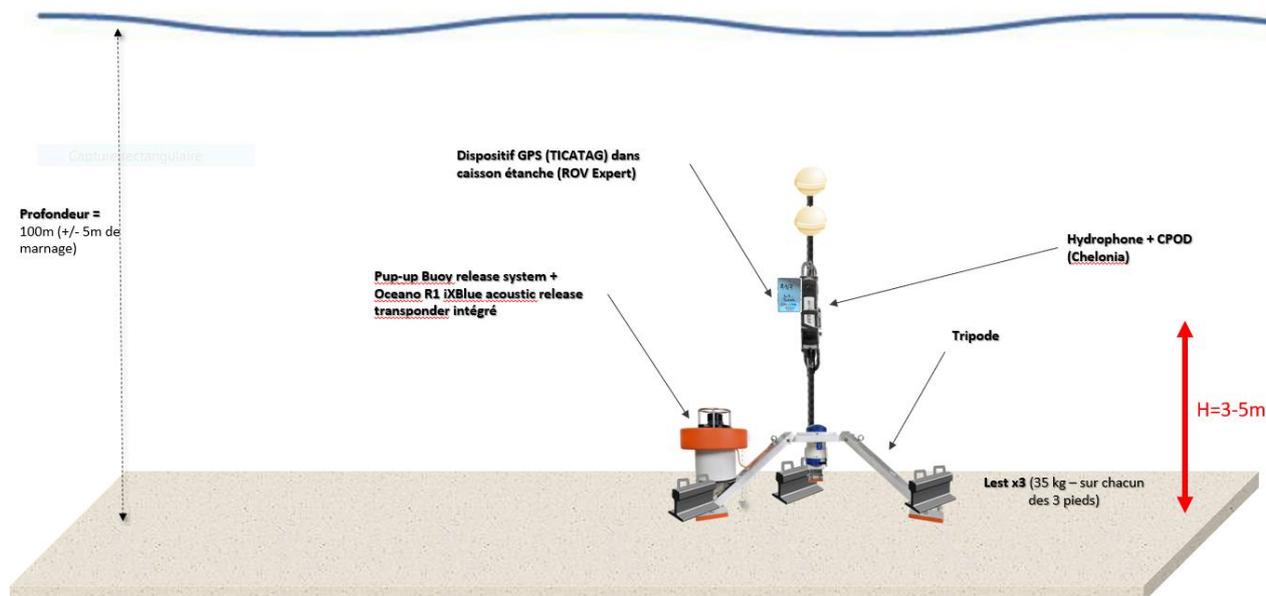


Figure 4 : Schéma ligne de mouillage déployé pour le suivi du bruit ambiant et détection des mammifères marins.

Les détails de la ligne de mouillage sont décrits ci-après :

Descriptif de chaque ligne de mouillage	
Profondeur des points de mouillage	Min = 60 m ; max = 90 m
Tripode métallique	130 kg par structure / envergure inférieur à 1 m
1 largeur acoustique Oceano R1 iXblue, inséré dans un Pup-Up Buoy PUB-ARC01AE de DeepBlue Technology, et télécommandé depuis la surface	
Bout principal reliant le tripode au matériel acoustique	Environ 3 m de longueur maximum
GPS Ticatag et caisson étanche (ROV Expert)	

Le déploiement est assuré sans "chute libre" et par l'emploi d'une boucle de largage relâché depuis le navire en surface.

Ce mode de déploiement bénéficie des retours d'expérience sur plusieurs projets réalisés par Sinay et déployé par des régimes de courant nettement supérieur à ceux rencontrés dans la zone d'étude Bretagne sud.

Aucun incident de retournement n'a encore été constaté avec ce type de mouillage. La commande de largage acoustique ainsi qu'une inspection complète est réalisée à bord du navire avant la mise à l'eau. L'ensemble du protocole de déploiement est consigné dans un TaskPlan, garant de la bonne mise en œuvre du mouillage instrumenté.

3.3 MOYENS NAUTIQUES

Le navire utilisé est le Minibex mis à disposition par la société Ship as a Service, basée à Lorient. Le navire dispose d'un bras mécanique d'une capacité de 5,5 tonnes et d'environ 20 m² de place sur le pont arrière. Ce navire dispose de 2 ponts de travail qui permettent de stocker 3 lignes de mouillage.



Figure 5 : Le Minibex (1).



Figure 6 : Le Minibex (2).

Caractéristiques principales

Longueur/largeur/tirant d'eau	30,00 m / 7,00 m / 2,50 m
Surface de la pontée	23 m ²
Jauge/Catégorie de navigation/Pavillon	147 UMS / 1 ^{ère} / Français
Année de construction	1987
Classification	BV I 3/3 * Coque - • Machine
Décision d'effectif	4 (Equipage) + 8 (Personnel spécial) 24/7 4 (Equipage) + 17 (Personnel spécial) à la journée jusqu'à 20 milles nautiques d'un abri.
Autonomie	2 000 Nq à 10 nd 3 500 Nq à 7,5 nd
Vitesse max/croisière	10 nd / 8 nd
Matériau de coque	Aluminium

Équipement et pont de levage

Portique de levage:	5 t SWL
Grue de pont:	1 t SWL
Treuil:	5 t SWL - 40 m/min 1.5 t SWL - 70 m/min
Protection de coque (NIBS)	
Pontée de travail avec planches martyrs	

Électronique et moyens de navigation & transmission

1 radio VHF GMDSS A3	1 balise EPIRB
1 Inmarsat C	1 récepteur NAVTEX
1 transmetteur AIS classe B	1 transpondeur HPR
2 radars avec ARPA	2 DGPS
1 gyro-compass	1 compas magnétique
1 auto-pilote	2 echo-sondeurs

4. EQUIPE ET RESPONSABILITES

Les ressources humaines intervenant directement ou indirectement dans les campagnes d'acquisition des données sont décrites dans le tableau ci-après.

Tableau 3. Equipe mobilisée sur le projet

Nom prénom	Qualité	Rôle dans les opérations	Certification Offshore (BOSIET)
Guillaume BLONDEAU	Directeur des opérations	Intervient en contrôle des démarches et des opérations.	Oui
Mathieu JACOB	Coordinateur programmes de suivis et études	Coordonne la gestion et l'avancement global du projet. Il prend le rôle de chef de projet en cas d'absence ponctuelle ou prolongée de la personne responsable.	Non
Florian LE BORGNE	Chef de mission	Chef de mission pour l'ensemble des campagnes. Il applique les procédures techniques et QSE de SINAY lors des opérations.	Oui
Achraf DRIRA	Docteur en acoustique sous-marine, expert traitement du signal et modèles de bruit, détection bioacoustiques	Cadrage scientifique de la collecte et le traitement des données acoustiques. Réalise les modèles et cartes sonores. Configure le matériel et réalise les tests avant déploiement. Il s'assure du bon fonctionnement des dispositifs de mesure.	Non
Alessio MAGLIO	Biologiste marin, expert pollution sonore sous-marine et cétacés	Cadrage scientifique de l'étude, conception du protocole et supervision de sa mise en œuvre, définition des analyses BAG, interprétation et remise en contexte.	Oui
Samuele Tecchio	Docteur en statistique appliqués à l'étude des écosystèmes	Cadrage scientifique des analyses, traitements statistiques et modèles BAG	Non
Autres salariés de SINAY	Technicien scientifique maritime embarqués	Ressource supplémentaire pouvant participer au besoin aux campagnes.	Les personnes embarquées chez SINAY pour ce projet disposent tous du BOSIET.

Si d'autres salariés de SINAY devaient intervenir en mer, le client est contacté en amont de la mission et SINAY fourni le certificat de la formation BOSIET ou réalise une demande de dérogation au près du client.

5. METHODE DE DEROULEMENT D'UNE CAMPAGNE TERRAIN

La méthode de travail est décrite à l'**Annexe 1 – Méthode de travail sécurisée**

6. PROCEDURES OPERATIONNELLES POUR LA MOBILISATION, MAINTENANCE ET DEMOBILISATION DU MATERIEL

Les procédures opérationnelles sont les suivantes :

- Mobilisation du matériel
- Démobilisation du matériel
- Maintenance du matériel en mer

Elles sont décrites en **Annexe 2 – Procédures opérationnelles**

7. PARAMETRES DE DEPLOIEMENT

En cohérence avec le protocole utilisé pour la zone de l'AO4, la durée d'enregistrement sur la zone de l'AO5 pour le matériel déployé par SINAY sera de 12 mois pour les hydrophones et de 24 mois pour les C-PODS afin de capter la variation saisonnière sans interruption et le *Duty cycle* sera de 100%.

7.1 LES POSITIONS DES INSTRUMENTS

Comme expliqué plus haut, le choix des points de déploiements est basé sur la conception d'une approche BAG. Un facteur majeur pour le positionnement des stations est donc la comparabilité des conditions dans les points impact et témoin. Cependant, d'autres facteurs et contraintes doivent être prise en considération et contribuent à déterminer le choix final :

- **La distribution du trafic de navires**, principal contributeur au bruit ambiant total. Nous recherchons en effet des positions où les signaux biologiques ne soient pas masqués par le bruit des navires ou d'autres activités humaines ;
- **La distribution du trafic de pêche, en particulier les chalutiers**, car il s'agit du principal facteur de risque de perte/endommagement du matériel ;
- **La bathymétrie et la géologie du fond**, afin d'avoir une représentativité de différentes conditions de propagation pour le bruit sous-marin ;
- Les **connaissances antérieures concernant la distribution et l'abondance des cétacés** sur la zone, pour éviter les biais liés à une mauvaise représentativité spatiale ;
- Les **connaissances à disposition concernant le rayon d'impact du bruit sur les cétacés**, pour délimiter dans l'espace le positionnement des stations témoin. Sur la base des connaissances à disposition, un déplacement de populations de marsouin est visible sur un rayon de 16-20 km en réponse au battage de pieux, mais aussi au-delà avec des pointes à 40 km (*Brandt et al., 2012; Dähne et al., 2013; Tougaard et al., 2009*). Au moins certaines stations témoins doivent donc être placés à une distance d'au moins 20 km.

L'**annexe 3** de ce document présente des cartographies concernant les contraintes majeures considérés dans le choix des points de mouillage.

Pour la zone « impact » nous avons choisi l'emplacement de deux lignes de mouillage (*Station A et Station B*) espacées d'environ 8 km, chacune avec double instrument : enregistreur large bande et un C-POD. Cet espacement est choisi en fonction des rayons de détection des signaux biologiques et anthropiques :

- Le rayon de détection pour les bateaux est de 4 km, les sifflements de 1 à 4 km selon le bruit ambiant et les clics de 500m à 1km (*retour d'expérience SINAY et CHORUS avec données d'enregistreurs large bande*). Un espacement de 8 km permet donc de détecter les passages et les trajectoires des navires et des mammifères marins entre le parc et la côte.

Nous avons choisi ensuite un point témoin (*Station Témoin*) loin de l'effet sonore du parc en construction et durant la phase d'exploitation, en tenant en compte de la distance (*16-20 km d'après les connaissances à disposition*) après laquelle les effets de la construction d'un parc éolien sur le marsouin diminuent. Cette station témoin est positionnées dans les mêmes conditions de bathymétrie que la zone impact et également hors de la zone potentielle de raccordement. Un C-POD est positionné sur le point « Station C » qui est mutualisé avec un enregistreur large bande déployé de TBM-Environnement sur le même point (*TBM2*). Finalement, deux C-PODS complémentaires (*Station O et Station L*) sont positionnés dans la zone d'impact. Ce dessin permet d'identifier pour l'étude statistique un gradient spatial.

La figure suivante montre le plan global d'implantation des stations.

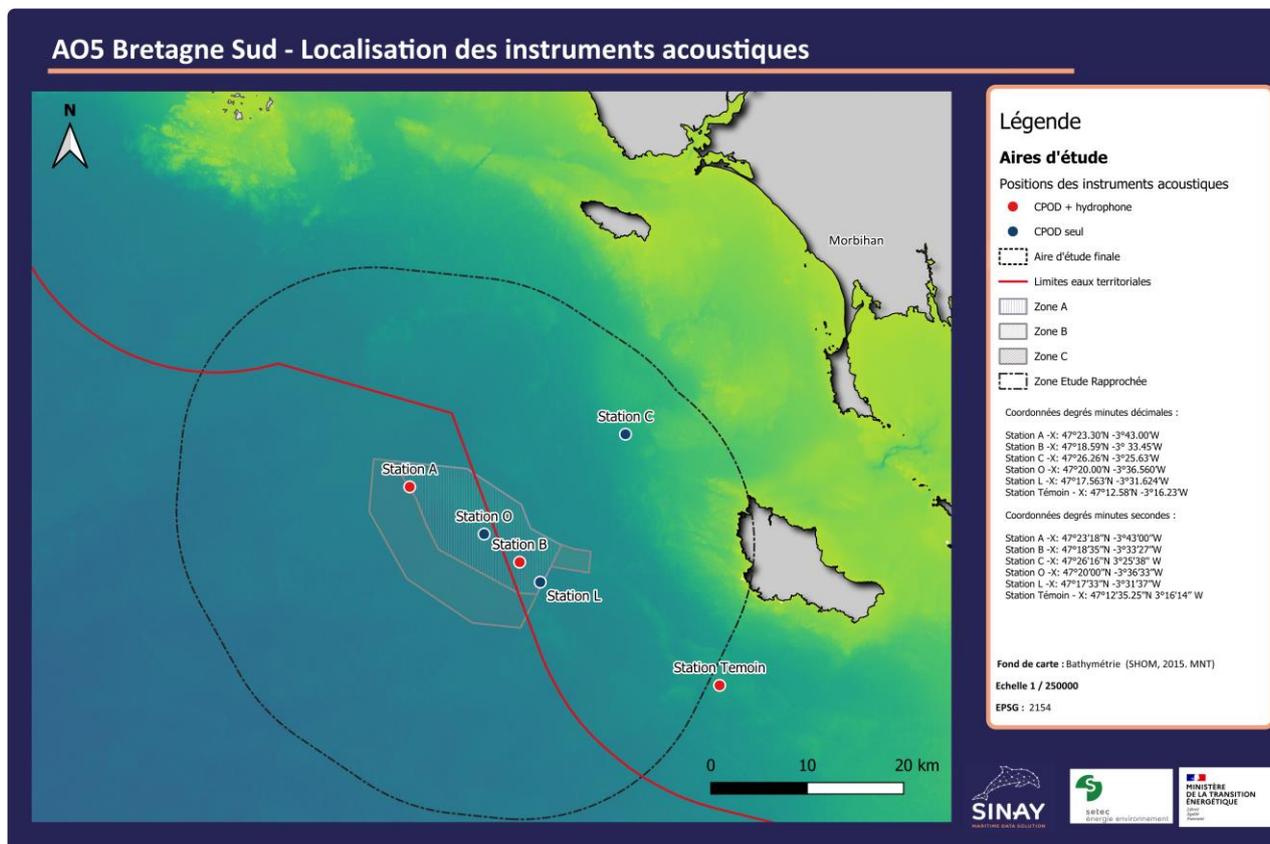


Figure 7 : Positionnement des instruments de mesure retenus par SINAY – mise à jour du 07/10/2022.

8. SAUVEGARDE ET PREPARATION POUR LA VERIFICATION ET L'EXPLOITATION

Le **Hub Sinay** sera utilisé pour le stockage des fichiers bruts. Les données brutes des enregistreurs RTsys sont des fichiers au format WAV ; les fichiers bruts des C-PODS sont des matrices avec des valeurs correspondant à l'activité bioacoustique enregistrée. Le C-POD produit des fichiers au format spécifique C-POD. Toutes ces données sont récupérées après ouverture des instruments et récupération des supports de stockage internes (*cartes SD dans les deux cas*). Lors de la maintenance des enregistreurs, les données collectées sur les cartes μ SD sont vérifiées grâce à l'application ABYSsens (visualisation du volume de données enregistrées) avant le changement des cartes. Puis les données dans les cartes SD sont chargées ensuite sur le Hub numérique de Sinay. **Celui-ci utilise un système de sauvegarde avec réplication des données (x3) qui réduit considérablement les risques de perte de données.**

9. DESCRIPTION DES METHODES ET OUTILS D'ANALYSE

9.1 ANALYSES POUR L'ÉTUDE DU BRUIT SOUS-MARIN

Au regard des analyses de bruit sous-marin, les **phases successives** sont les suivantes :

1. Vérification et pré-traitements des données des enregistreurs RTsys : Un acousticien expérimenté vérifie quelques fichiers audios (>1% du total des fichiers) et réalise un contrôle qualité des enregistrements. Il utilise pour cela des filtrages adaptés sur MATLAB, ainsi que le logiciel AUDACITY pour inspecter les spectrogrammes et écouter les fichiers audios.
2. Calcul des indicateurs du niveau de bruit : Les indicateurs d'intensité sonore et la répartition fréquentielle sont calculés au moyen d'algorithmes développés par les équipes Sinay et Chorus. Tous les algorithmes utilisés sont validés scientifiquement (*publications scientifiques listés au chapitre 10.2*) et implémentés en MATLAB. Les mesures in situ permettent également de caractériser et de quantifier les différentes sources à l'origine du bruit ambiant ainsi que de connaître la distribution statistique du niveau du bruit dans la zone. L'évolution du niveau du bruit est décrite avec différentes métriques : niveau d'exposition (L_E), niveau de pression sonore (L_p), pic de pression sonore (P_{pk}) et par différents indicateurs statistiques : niveau du bruit moyen, médian, percentiles ; Le niveau de chaque type de source est calculé : bruits anthropiques (*navires, sonar de pêche, travaux etc.*), biophoniques (*mammifères marins, poissons, crustacés, etc.*) et géophoniques (*vent, pluie, mouvements sismiques*). Ces traitements sont réalisés en environnement MATLAB.
3. Modélisation de la propagation sonore. La méthode de simulation de la propagation utilisée est une solution logicielle développée par SINAY (*Bouzidi et al., 2014; DRIRA et al., 2018; MAGLIO et al., 2015*) et basée sur l'équation parabolique (*Collins, 1993*). Le modèle de base utilisé est le modèle RAM, considéré comme une solution adéquate pour étudier les bruits basse fréquence sur le plateau continental (*Farcas et al., 2016*). Le Hub digital SINAY est utilisé pour la puissance de calcul nécessaire à exécuter les calculs de propagation. Les codes sont alimentés par les paramètres environnementaux de la zone de propagation comme la bathymétrie du site, les propriétés géo-acoustiques du fond et le profil bathycélérimétrique, etc. Ces données sont récoltées, nettoyées et standardisées depuis des BD certifiées comme le SHOM, Copernicus et EMODnet Les cinq étapes de modélisation du bruit ambiant sont résumées dans la figure ci-dessous.

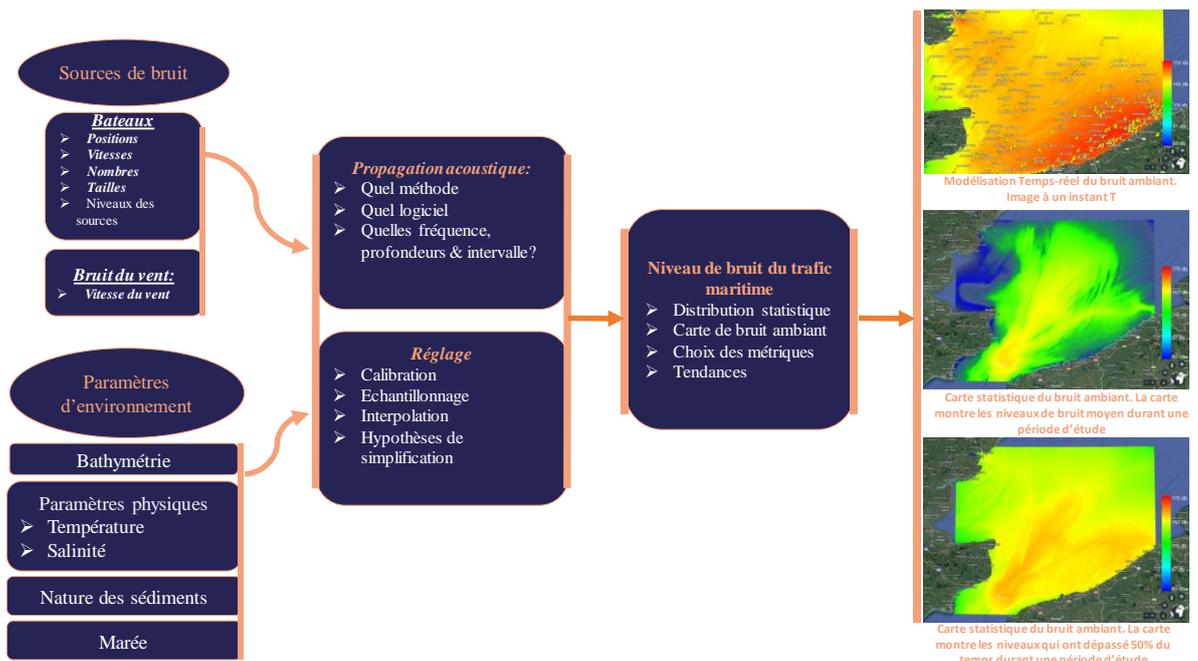


Figure 8. Etapes de modélisation

4. Calibration du modèle : Une calibration active et une calibration passive (*avec les enregistrements*) seront réalisées pour ajuster les estimations, fournir une estimation de l'incertitude associée aux modélisations effectuées, et produire un modèle plus précis. L'Annexe 4 dans ce document fournit une description détaillée de la méthode de calibration du modèle de propagation.
5. Tests statistiques *a posteriori* afin de vérifier les hypothèses de l'approche BACI. Les tests serviront à vérifier la condition que les zones *impact* et *témoin* présentent des caractéristiques comparables. Les analyses de la variance ANOVA ainsi que des régressions linéaires seront réalisées à cette fin à l'aide du logiciel R (*The Comprehensive R Archive Network* <https://cran.r-project.org>)
6. Présentation et interprétation des résultats :
 - a. Graphiques des évolutions des niveaux de bruit dans le temps,
 - b. Cartographies mensuelles des niveaux de bruit (*dB re 1 µPa*) en tiers d'octave jusqu'à 1kHz,
 - c. Cartographies mensuelles des indicateurs statistiques : 90^{ième}, 80^{ième}, 50^{ième}, 20^{ième} et 10^{ième} percentiles ; les deux premiers correspondant aux niveaux max, le 50^{ième} étant la médiane, et les deux derniers correspondant aux niveaux dominants. Les niveaux sont exprimés en dB re 1 µPa.

L'indicateur Lp (RMS) est retenu pour les 3 points ci-dessus.

Les niveaux sont large bande dans les graphiques et cartographies produites a. et c.

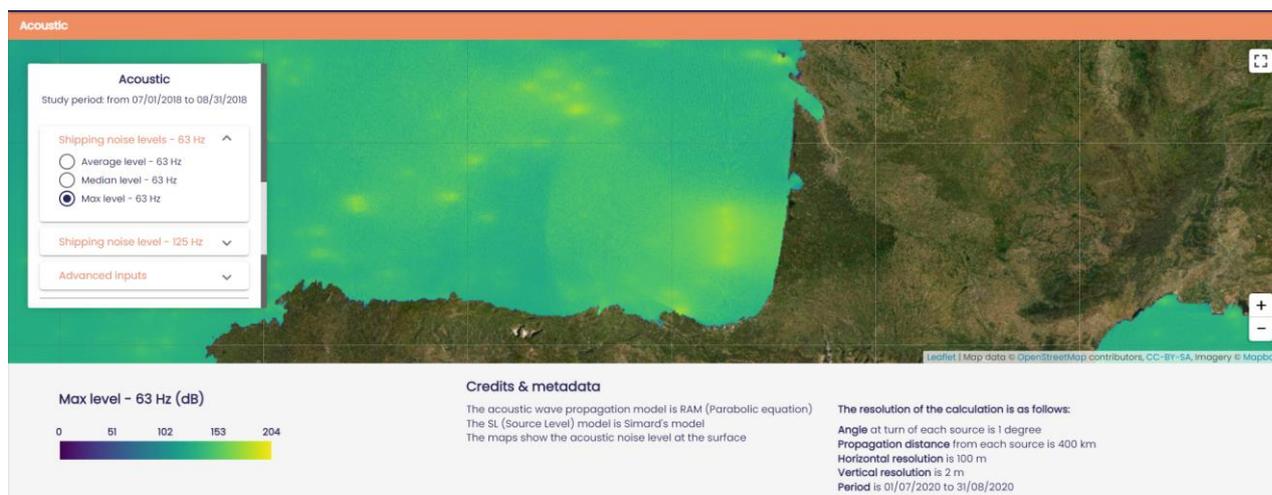


Figure 9. Exemple de cartographie sonore du bruit des navires dans le golfe de Gascogne (source : ©SINAY, 2021).

9.2 ALGORITHMES DE DETECTIONS DE SIGNAUX BIOLOGIQUES

Pour identifier les signaux des mammifères marins, SINAY utilise la méthode illustrée dans la figure ci-dessous (Fig. 10).

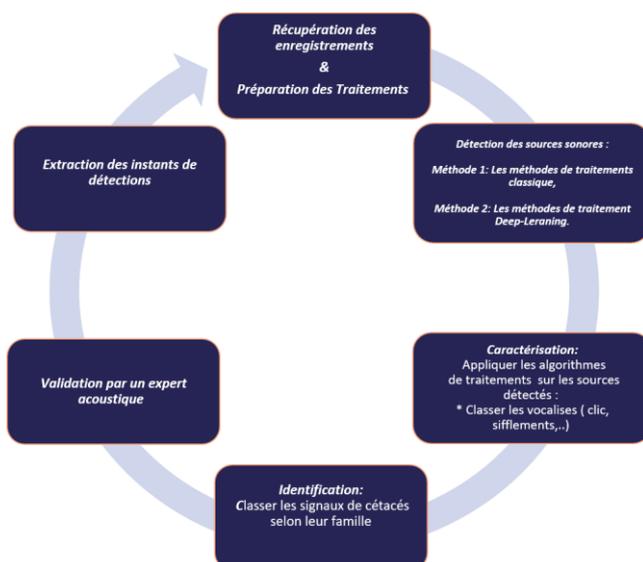


Figure 10. Méthode d'identification des signaux des mammifères marins contenus dans les fichiers audios.

Après avoir sélectionné les algorithmes de traitement (*PAMGUARD* ainsi que ceux développés par les équipes internes de *SINAY*), l'opérateur acoustique exécute les analyses automatisées sur le Hub digital *SINAY* qui exploite des serveurs de calculs puissants. De cette façon les grands volumes de données peuvent être traités bien plus rapidement qu'avec les méthodes traditionnelles. Trois étapes principales sont suivies :

- **Étape 1 : Détection des sources sonores.** La détection permet dans un premier temps de distinguer les signaux de types impulsifs (ex. : clics), modulés (ex. : sifflements) ou d'autres types (ex. : navires), etc.
- **Étape 2 : Caractérisation des sources sonores.** A partir de ces détections, une seconde série d'algorithmes est utilisée pour classer les vocalises (clic et sifflement) des espèces enregistrées.
- **Étape 3 : Identification.** Les algorithmes utilisés permettent à minima :
 - De distinguer les sources anthropiques, biologiques et naturelles ;
 - De classer les signaux des mammifères marins selon leur famille ;
 - D'identifier les espèces avec un intervalle de confiance pertinent (sup à 80 %).

A l'issue de ces trois phases, un expert acoustique supervise une vérification des analyses automatisées, plus particulièrement pour les détections dont l'intervalle de confiance est moindre. Il apporte son expérience et son expertise afin de juger de la pertinence de la classification. L'intervalle de confiance est fixé selon les résultats des tests durant la phase d'entraînement de l'algorithme, mais aussi selon les résultats sur la zone d'étude nous pouvons l'augmenter ou le réduire. Il évalue également le taux de fausses alarmes et le taux de détections manquées. En pratique, l'expert écoute les fichiers acoustiques et inspecte le spectrogramme à l'aide du logiciel *AUDACITY*.

En ce qui concerne les algorithmes, *SINAY* utilise à la fois des algorithmes de logiciels dédiés type *PAM Guard*, un logiciel libre et open source, téléchargeable à l'URL <https://www.pamguard.org>, ainsi que des algorithmes développés par l'équipe *SINAY* et par l'équipe *CHORUS* :

- **PAM Guard** est développé et maintenu par la société *SMRU Ltd (Sea Mammal Research Unit)*, spin-off de l'Université de Saint-Andrews en Ecosse, et est internationalement connu et utilisé depuis 2004. Les algorithmes disponibles avec *PAM Guard* sont des algorithmes « classiques » basés sur des traitements du signal dans l'espace-temps-fréquences. Ils permettent d'identifier les sifflements et les clics d'odontocètes, les clics de marsouin, les vocalises des mysticètes.
- Les algorithmes développés par **SINAY** et **CHORUS** appartiennent à deux familles : i) Traitements du signal conventionnel dans l'espace-temps-fréquences ; ii) Traitements du signal avec Intelligence Artificielle type Convolutional Neural Networks (*CNN*). Ils permettent de détecter et classer plusieurs

espèces de delphinidés et phoques. Les taux de convergences sur échantillons tests seront présentés dans un chapitre dédié au traitement des données lors du rapport intermédiaire.

- En ce qui concerne les **C-PODS**, les données recueillies sont analysées avec la suite logicielle adaptée aux C-PODS fournie par Chelonia Ltd. Les clics de cétacés sont détectés dans les fichiers audios (*non sauvegardés par l'instrument*), et classés afin de pouvoir distinguer marsouins, delphinidés, cachalots nains (*espèce rare*) et autres cétacés. Un contrôle qualité par un expert est effectué pour les deux phases du processus car elles peuvent générer certains « faux positifs ». Un taux de « faux positifs » est fourni comme mesure de la qualité des résultats.

L'ensemble de ces algorithmes permettent d'identifier les espèces et groupes suivants : mugissement des rorquals communs et rorquals bleu ; les clics et sifflements des grands dauphin, dauphin commun, dauphin bleu et blanc (*ces espèces sont discriminées acoustiquement*) ; les clics de marsouin commun ; les clics de cachalot et cachalot nain, les clics de baleine à bec, les vocalises des phoques.

Afin d'augmenter la robustesse aux analyses, une approche comparative des données des C-PODs et des enregistreurs est mise en place, elle permet ainsi de détecter la proportion de détections fausses chez le C-POD. Les étapes de la méthode sont les suivantes :

- **Etape 1 : Comparaison statistique des résultats des détections C-PODs vs enregistreurs** lorsque les 2 appareils sont déployés sur la même station.
- **Etape 2 : Analyse statistique pour essayer d'identifier une corrélation ou reproductivité.** Si tel était le cas alors les valeurs C-PODs pourraient être rectifiées par l'application d'une pondération.
- **Etape 3 Analyse projet/métier.** Identifier la correspondance en temps des fausses détections des C-PODs dans les enregistrements et identifier à quoi est lié cette fausse détection (ex : clic de chaîne)."

9.3 PRESENCE, FREQUENTATION ET COMPORTEMENT DES CETACES

Les données recueillies par les C-PODS sont analysées avec la suite logicielle adaptée aux C-PODS fournie par Chelonia Ltd. Les clics de cétacés sont détectés dans les fichiers audios (*non sauvegardés par l'instrument*), et classés afin de pouvoir distinguer marsouins, delphinidés, cachalots nains (*espèce rare*) et autres cétacés. Cette base sert pour réaliser les étapes suivantes, effectuées en environnement MATLAB :

- Calculer le nombre et taux de détection par unité de temps (*min, h, semaine, mois*); ainsi que l'intervalle entre détections par unité de temps ;
- Décrire les comportements selon les variations des paramètres bioacoustiques. Par exemple, des clics très rapprochés, généralement nommés *buzz*, correspondent généralement à un comportement de chasse. L'intervalle inter-clic (*ICI*) est analysé à cette fin. En effet les types de signaux sonores émis par les animaux varient en fonction de l'objectif : les signaux émis pour communiquer avec d'autres individus, pour s'orienter dans le milieu, pour chasser les proies ont des caractéristiques qu'il est possible de distinguer et classer.
- Analyser les corrélations entre présence de mammifères marins et variables environnementales, temporelles, spatiales, anthropiques. Des modèles statistiques sont appliqués (*type GLM, GAM mais aussi des méthodes d'intelligence artificielle type modèles GBM*) afin d'identifier quelles variables exercent un effet sur les taux de détection obtenus. Les variables suivantes sont testées :
 - Position géographique ;
 - Moment de la journée ;
 - Saisonnalité ;
 - Conditions météorologiques/océanographiques (*vent, courant, etc.*) ;
 - Variables d'origine anthropiques, y compris les niveaux de bruit estimés par les modèles de propagation, la densité de trafic maritime, autres travaux à proximité connus, etc.

Cette étape est très importante pour une correcte mise en œuvre de l'approche BAG. Elle doit permettre de comprendre deux aspects : i) que les positions 'impact' et les positions 'témoin' sont comparables et les variations observées dépendent des mêmes facteurs (*environnementales, temporelles, spatiales, anthropiques*) ; ii) quels facteurs ont un effet significatif (*en termes statistiques*). Les résultats de cette étape

seront donc nécessaires pour déterminer si les variations observées après démarrage des travaux dépendent de facteurs préexistants ou des travaux.

10. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

10.1 LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

- Aguilar de Soto, N., Johnson, M., Madsen, P.T., Tyack, P.L., Bocconcelli, A., Borsani, F.J., 2006. Does Intense Ship Noise Disrupt Foraging in Deep-Diving Cuvier'S Beaked Whales (*Ziphius Cavirostris*). *Mar Mamm Sci* 22, 690–699. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2006.00044.x>
- Ainslie, M.A., Halvorsen, M.B., Robinson, S.P., 2021. A Terminology Standard for Underwater Acoustics and the Benefits of International Standardization. *IEEE Journal of Oceanic Engineering PP*, 1–22. <https://doi.org/10.1109/JOE.2021.3085947>
- Bailey, H., Brookes, K.L., Thompson, P.M., 2014. Assessing environmental impacts of offshore wind farms: Lessons learned and recommendations for the future. *Aquat Biosyst* 10, 1–13. <https://doi.org/10.1186/2046-9063-10-8>
- Benhemma-Le Gall, A., Graham, I.M., Merchant, N.D., Thompson, P.M., 2021. Broad-Scale Responses of Harbor Porpoises to Pile-Driving and Vessel Activities During Offshore Windfarm Construction. *Front Mar Sci* 8, 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.664724>
- Bouzidi, M., Souami, Y., MAGLIO, A., 2014. Caractérisation de l'ambiance sonore au sein de la grande rade de Cherbourg, in: TETHIS EMR. Cherbourg, 9-11 April 2014.
- Brandt, M.J., Diederichs, A., Betke, K., Nehls, G., 2012. Effects of offshore pile driving on harbor porpoises (*Phocoena phocoena*). *Adv Exp Med Biol* 730, 281–284. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7311-5_62
- Brandt, M.J., Dragon, A.C., Diederichs, A., Bellmann, M.A., Wahl, V., Piper, W., Nabe-Nielsen, J., Nehls, G., 2018. Disturbance of harbour porpoises during construction of the first seven offshore wind farms in Germany. *Mar Ecol Prog Ser* 596, 213–232. <https://doi.org/10.3354/meps12560>
- Brandt, M.J., Dragon, A.-C., Diederichs, A., Schubert, A., Kosarev, V., Nehls, G., 2016. Effects of offshore pile driving on harbour porpoise abundance in the German Bight.
- Brandt, M.J., Nehls, G., Diederichs, A., 2009a. Investigations into the effects of pile driving at the offshore wind farm Horns Rev II and the FINO III research platform.
- Brandt, M.J., Nehls, G., Diederichs, A., 2009b. Harbour porpoise responses to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea.
- Carstensen, J., Henriksen, O.D., Teilmann, J., 2006. Impacts of offshore wind farm construction on harbour porpoises : acoustic monitoring of echo- location activity using porpoise detectors (T-PODs). *Mar Ecol Prog Ser* 321, 295–308.
- Castellote, M., 2009. Patrón migratorio, identidad poblacional e impacto del ruido en la comunicación del rorcual común (*Balaenoptera physalus* L. 1758) en el mar Mediterráneo occidental (Ph.D. Thesis). Universidad Complutense de Madrid.
- Castellote, M., Clark, C.W., Lammers, M.O., 2012. Acoustic and behavioural changes by fin whales (*Balaenoptera physalus*) in response to shipping and airgun noise. *Biol Conserv* 147, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.021>
- Collins, M.D., 1993. A split-step Pad{é} solution for the parabolic equation method. *J Acoust Soc Am* 93, 1736–1742.
- Coomber, F., Azzellino, A., David, L., Meglio, N. di, Labach, H., Origné, L., Amar, D., Agliati, P.O., Rosso, M., Tepish, P., Moulins, A., 2015. Noise impact on sperm whale (*P. macrocephalous*) and Cuvier's beaked whale (*Z. cavirostris*), estimated from the marine traffic.
- Dähne, M., Gilles, A., Lucke, K., Peschko, V., Adler, S., Krügel, K., Sundermeyer, J., Siebert, U., 2013. Effects of pile-driving on harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) at the first offshore wind farm in Germany. *Environmental Research Letters* 8, 025002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/025002>

- Deruiter, S.L., Southall, B.L., Calambokidis, J., Zimmer, W.M.X., Sadykova, D., Falcone, E. a, Friedlaender, A.S., Joseph, J.E., Moretti, D., Schorr, G.S., Thomas, L., Tyack, P.L., 2013. First direct measurements of behavioural responses by Cuvier's beaked whales to mid-frequency active sonar. *Biol Lett* 9, 20130223. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2013.0223>
- Dorémus, G., Serre, S., Authier, M., 2019. MEGASCOPE - Suivi de la distribution de la mégafaune marine en Manche, Atlantique et Méditerranée en 2017-2018.
- DRIRA, A., Bouzidi, M., MAGLIO, A., Pavan, G., Salivas, M., 2018. Modelling underwater sound fields from noise events contained in the ACCOBAMS impulsive noise register to address cumulative impact and acoustic pollution assessment, in: EEA Proceedings EURONOISE2018. Crete, pp. 2819–2824.
- Farcas, A., Thompson, P.M., Merchant, N.D., 2016. Underwater noise modelling for environmental impact assessment. *Environ Impact Assess Rev* 57, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.012>
- Graham, I.M., Merchant, N.D., Farcas, A., Barton, T.R., Cheney, B., Bono, S., Thompson, P.M., 2019. Harbour porpoise responses to pile-driving diminish over time. *R Soc Open Sci* 6. <https://doi.org/10.1098/rsos.190335>
- Kastelein, R.A., Helder-Hoek, L., Cornelisse, S.A., von Benda-Beckmann, A.M., Lam, F.-P.A., de Jong, C.A.F., Ketten, D.R., 2020. Lack of reproducibility of temporary hearing threshold shifts in a harbor porpoise after exposure to repeated airgun sounds. *J Acoust Soc Am* 148, 556–565. <https://doi.org/10.1121/10.0001668>
- Lambert, C., Laran, S., David, L., Dorémus, G., Pettex, E., Van Canneyt, O., Ridoux, V., 2016. How does ocean seasonality drive habitat preferences of highly mobile top predators? Part I: the north-western Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.06.012>
- Lambert, C, Pettex, E., Dorémus, G., Laran, S., Stéphan, E., Canneyt, O. Van, Ridoux, V., 2016. How does ocean seasonality drive habitat preferences of highly mobile top predators? Part II: The eastern North-Atlantic. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.06.011>
- Laran, S., Authier, M., Blanck, A., Doremus, G., Falchetto, H., Monestiez, P., Pettex, E., Stephan, E., Van Canneyt, O., Ridoux, V., 2017a. Seasonal distribution and abundance of cetaceans within French waters- Part II: The Bay of Biscay and the English Channel. *Deep Sea Res 2 Top Stud Oceanogr* 141, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.12.012>
- Laran, S., Pettex, E., Authier, M., Blanck, A., David, L., Dorémus, G., Falchetto, H., Monestiez, P., Van Canneyt, O., Ridoux, V., 2017b. Seasonal distribution and abundance of cetaceans within French waters- Part I: The North-Western Mediterranean, including the Pelagos sanctuary. *Deep Sea Res 2 Top Stud Oceanogr* 141, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2016.12.011>
- Lucke, K., Siebert, U., Lepper, P. a, Blanchet, M.-A., 2009a. Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli. *J Acoust Soc Am* 125, 4060–70. <https://doi.org/10.1121/1.3117443>
- Lucke, K., Siebert, U., Lepper, P.A., Blanchet, M.-A., 2009b. Temporary shift in masked hearing thresholds in a harbor porpoise (*Phocoena phocoena*) after exposure to seismic airgun stimuli . *J Acoust Soc Am* 125, 4060–4070. <https://doi.org/10.1121/1.3117443>
- MAGLIO, A., Soares, C., Bouzidi, M., Zabel, F., Souami, Y., Pavan, G., 2015. Mapping shipping noise in the Pelagos Sanctuary (French part) through acoustic modelling to assess potential impacts on marine mammals. *Scientific Reports of the Port-Cros national Park* 29, 167–185.
- Martin, V., Servidio, A., Garcia, S., 2004. Mass strandings of beaked whales in the Canary Islands, in: Evans, P.G.H., Miller, L.A. (Eds.), *Proceedings of the Workshop on Active Sonar and Cetaceans*. European Cetacean Society newsletter No 42, pp. 33–36.
- Pirotta, E., Milor, R., Quick, N., Moretti, D., di Marzio, N., Tyack, P., Boyd, I., Hastie, G., 2012. Vessel noise affects beaked whale behavior: results of a dedicated acoustic response study. *PLoS One* 7, e42535. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042535>

- Samaran, F., Corman, D., 2013. Mise en place d'un suivi par acoustique passive des marsouins communs le long des côtes françaises. Rapport de mise en place du pilote dans le cadre du programme d'acquisition de connaissances Natura 2000 en mer. 43.
- Secor, D.H., 2018. Priorities and challenges of monitoring designs – ecological impacts. Atlantic Offshore Renewable Energy Development and Fisheries Workshop. <https://doi.org/10.17226/25062>
- Southall, B., Nowacek, D.P., Miller, P., Tyack, P., 2016. Experimental field studies to measure behavioral responses of cetaceans to sonar. *Endanger Species Res* 31, 293–315. <https://doi.org/10.3354/esr00764>
- Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene, C.R.J., Kastak, D., Ketten, D.R., Miller, J.H., Nachtigall, P.E., Richardson, W.J., Thomas, J.A., Tyack, P.L., 2007. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendation. *Aquat Mamm* 33.
- Southall, B.L., Finneran, J.J., Reichmuth, C., Nachtigall, P.E., Ketten, D.R., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Nowacek, D.P., Tyack, P.L., 2019. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects 45, 125–232. <https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125>
- Teilmann, J., Carstensen, J., Skov, H., 2002. Monitoring effects of offshore windfarms on harbour porpoises using PODs (porpoise detectors) Technical report.
- Tougaard, J., Carstensen, J., Teilmann, J., Skov, H., Rasmussen, P., 2009. Pile driving zone of responsiveness extends beyond 20 km for harbor porpoises (*Phocoena phocoena* (L.)). *J Acoust Soc Am* 126, 11–14. <https://doi.org/10.1121/1.3132523>
- Tyack, P.L., Zimmer, W.M.X., Moretti, D., Southall, B.L., Claridge, D.E., Durban, J.W., Clark, C.W., D'Amico, A., DiMarzio, N., Jarvis, S., McCarthy, E., Morrissey, R., Ward, J., Boyd, I.L., 2011. Beaked whales respond to simulated and actual navy sonar. *PLoS One* 6, e17009. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017009>
- Vires, G., 2011. Echosounder Effects on Beaked Whales in the Tongue of the Ocean , Bahamas. Duke University.
- Weilgart, L., 2007. A Brief Review of Known Effects of Noise on Marine Mammals. *Int J Comp Psychol* 20, 159–168.

10.2 PUBLICATIONS SINAY ET CHORUS SUR LA DETECTION ET CLASSIFICATION DES VOCALISES DE CETACES

1. Belghith, E. H., Rioult, F. and Bouzidi, M. Acoustic diversity classifier for automated marine big data analysis. In: 2018 IEEE 30th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI). IEEE, 2018. p. 130-136.
2. Bouzidi, M., MAGLIO, A., Souami, Y., Loussert, A., Keryer, Gi., 2013. An automatic skeleton-based method for extracting dolphin whistles from spectrogram. A case study: Short-beaked common dolphin, in: 27th Conference of the European Cetacean Society. Setúbal, Portugal, 8-10 April 2013
3. Gervaise, Cédric. *Method and device for automatically detecting marine animals*. U.S. Patent No 9,429,666, 30 août 2016.
4. Dadouchi, F., Gervaise, C., Ioana, C., Huillery, J., & Mars, J. I. (2013). Automated segmentation of linear time-frequency representations of marine-mammal sounds. *J. Acoust. Soc. Am.* 134(3), 2546-2555.
5. Ioana, C., Gervaise, C., Stéphan, Y., & Mars, J. I. 2010. Analysis of underwater mammal vocalizations using time–frequency–phase tracker. *Applied Acoustics*, 71(11), 1070-1080

11. ANNEXES

11.1 ANNEXE 1 – METHODE DE TRAVAIL SECURISEE

Le système de gestion Sinay fournit des documents sur les processus et le soutien pour assurer des conditions de travail et une méthodologie sécuritaire.

Le processus suivant décrit les étapes du déploiement du projet :

- Procédure du projet : selon la méthode de l'énoncé, les ressources, la planification, les personnes-ressources et la méthodologie assignées au projet sont indiquées. Cette procédure est soumise au client pour validation. Tout écart par rapport au plan de tâches devra faire l'objet d'un formulaire de demande de changement et d'une analyse.
- Task Plan : liste de vérification étape par étape à suivre par l'équipe de Sinay. Tout écart par rapport au plan de tâches devra faire l'objet d'un formulaire de demande de changement et d'une analyse.
- Risk Assessment (RA) : répartit les étapes de chaque projet pour déterminer les sous-phases et les risques et les occurrences assignées. Pour chaque sous-phase, la mesure de réduction des risques est énoncée de façon à produire un risque résiduel fondé sur les données. Ce RA est communiqué à l'équipe opérationnelle. L'équipe opérationnelle doit examiner et modifier l'RA pour en assurer la pleine connaissance.
- Project Briefing : le chef de projet et toute l'équipe se réunissent en amont de la mission pour une séance d'information officielle. Procédure, plan de tâches et RA examinés et signés par chaque membre de l'équipe. Les comptes rendus de projets similaires antérieurs sont également examinés. Le briefing sur le projet suit une liste de contrôle pour s'assurer qu'aucune information n'est laissée de côté avant la mobilisation.
- Réunion de lancement des opérations (RLO) : Cette réunion est l'occasion d'exposer à l'ensemble des acteurs de terrain la procédure de déploiement du matériel, sa maintenance ou sa récupération, et d'identifier des interactions non anticipées avec des activités ou acteurs. Cette réunion est assurée par le chef de mission.
- La procédure SMS : est réalisée avant le départ et au retour au port. Le chef de mission envoie les sms au chef de projet (ou directeur des opérations), au responsable HSE et au responsable du projet client.
- Operation Report (DOR) : un registre opérationnel est tenu sur une base quotidienne par le chef de mission.
- Project Debrief : Le chef de projet et toute l'équipe se réunissent sous 48h après la mission pour échanger sur les différents aspects du déroulement de la campagne. Ce retour d'expérience est consigné, il sera évoqué lors du prochain Project Briefing afin d'assurer une amélioration continue de nos activités.

11.2 ANNEXE 2 – PROCEDURE OPERATIONNELLES

11.2.1 Mobilisation du matériel

Cette opération est déterminante pour la qualité des mesures. En effet, la ligne de mouillage doit être bien positionnée sur le fond pour une tenue optimale du matériel malgré les courants, et bien localisée sur le point prévu dans le protocole de mesure acoustique.

La mise à l'eau est réalisée par utilisation du portique du navire progressivement tout le long de la colonne d'eau. Cette manipulation permet de vigiler l'entortillement du dyneema et vise un positionnement optimal sur le fond de la station de mesure acoustique.

Les différentes étapes du déploiement sont décrites dans le un Task Plan des opérations (*disponible sur demande uniquement*).

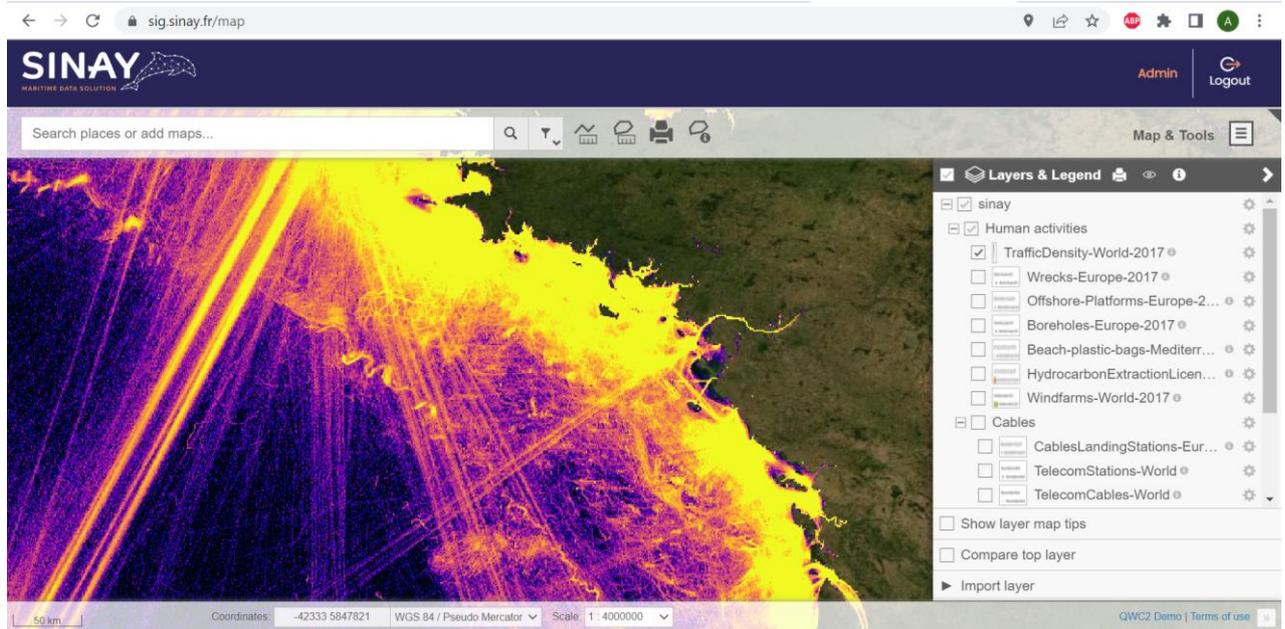
11.2.2 Démobilisation du matériel

Tout comme la mise à l'eau, cette opération est délicate en termes de sécurité. Tout est préparé et mis en œuvre pour sécuriser le matériel qui est remonté en plusieurs temps. L'ensemble du matériel de levage est contrôlé (*sangles, câbles*).

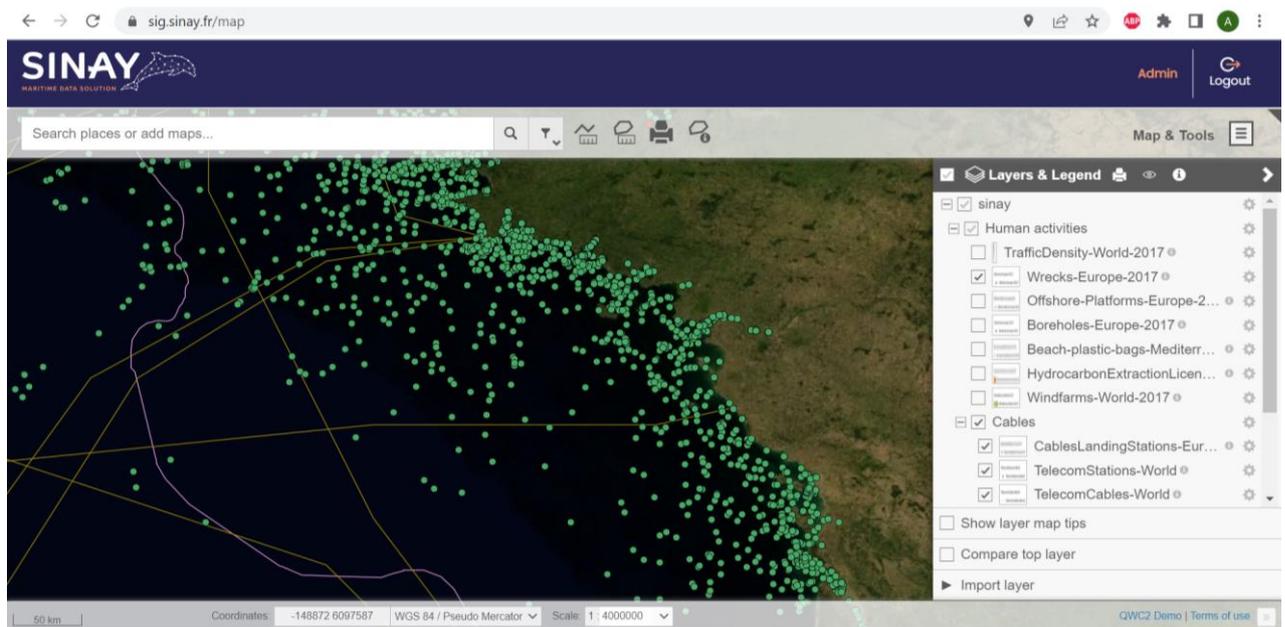
La démobilisation commence par l'opération de largage d'une bouée de signalisation par l'utilisation de dispositifs de largage. Cette bouée est ensuite récupérée en surface et remontée à bord du navire. Le dyneema reliant la bouée à la station de mesure acoustique est utilisé pour remonter par la suite l'ensemble de la station. Les phases de récupération sont décrites et illustrées dans le Task Plan des opérations (*disponible sur demande uniquement*).

11.3 ANNEXE 3 – FACTEURS CONSIDERES POUR LE CHOIX DES POINTS DE DEPLOIEMENT DES ENREGISTREURS

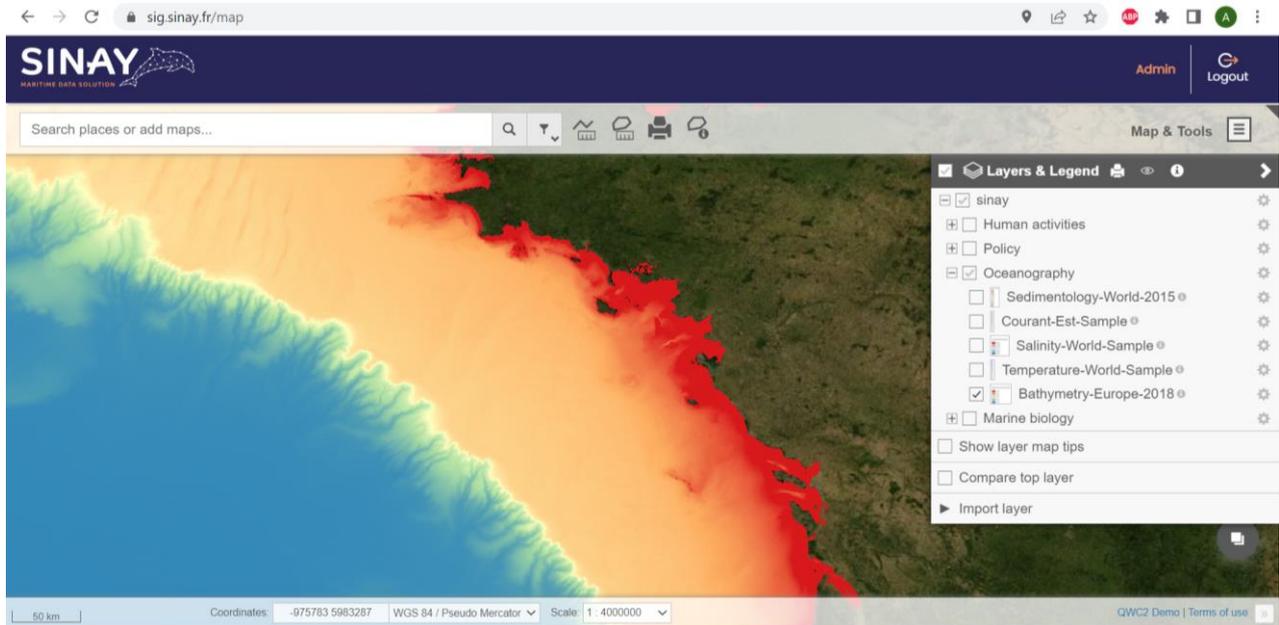
- La distribution du trafic de navires, y compris la pêche



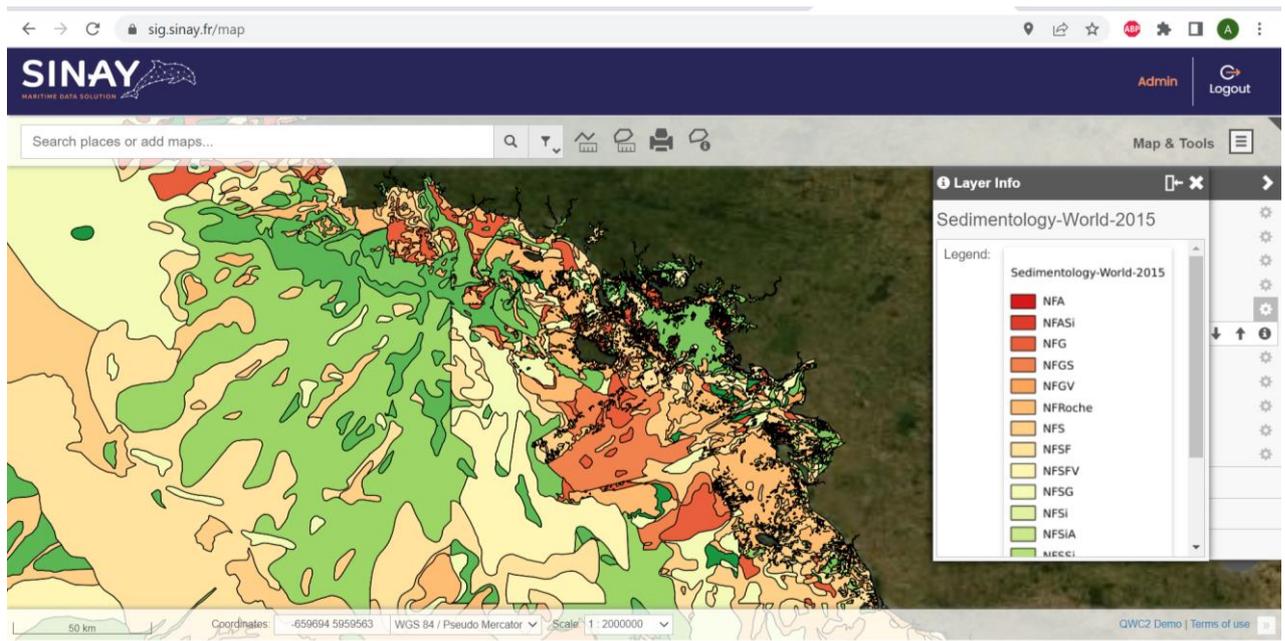
- La position des câbles sous-marin, des épaves



● La bathymétrie



● La géologie des fond marins



Les connaissances antérieures concernant la distribution et l'abondance des cétacés sur la zone

D'après bibliographie et données disponibles :

- Campagnes SAMM (*C Lambert et al., 2016; Laran et al., 2017a*)
- Campagnes PELGAS (*Dorémus et al., 2019*)
- Suivi dans le cadre des parcs naturels et zones NATURA 2000
- Données accessibles sur OBIS (*Ocean Biogeographic Information System, obis.org*)

11.4 ANNEXE 4 CALIBRATION DU MODELE DE PROPAGATION

● Calibration *in situ* passive

Nous comparons les résultats de modélisation aux mesures ponctuelles réalisées afin de les valider à l'échelle de toute la zone étudiée. En effet, ce mode opératoire permet de valider le modèle SL (*bruit des navires*) et ainsi de produire des cartographies sonores calibrées représentatives à l'échelle locale et très précises.

Notre démarche permet de choisir les meilleurs modèles pour chaque bande de fréquence et de gagner en précision par rapport à une démarche classique. En fonction de la fréquence sonore, nous choisissons le modèle SL le plus performant pour réaliser notre modélisation et ainsi produire les résultats les plus proches de la réalité.

● Calibration *in situ* active

L'obtention d'une modélisation calibrée nécessite de procéder à une phase de mesures actives sur 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.

Les émissions sont réalisées à partir d'un ensemble de positions choisies et sont ensuite captées par un enregistreur. La comparaison des niveaux des résultats modélisés avec les niveaux réellement mesurés permet d'identifier les paramètres du milieu et donc de calibrer les paramètres du modèle de propagation des ondes acoustiques.