



Rapport Final

Contrat GECC – ENSTA-Bretagne - DREAL

Détermination de la présence des grands dauphins en Baie
de Seine occidentale et utilisation du site

Phase 1 : étude de faisabilité et validation de la méthode acoustique

L. Di Iorio, C. Gervaise, F. Gally

Septembre 2011

Table des matières

Sommaire

Table des matières	2
1. Rappel du contexte et des objectifs de l'étude	3
2. Phase 1 : Etude de faisabilité et validation de la méthode acoustique	4
2.1 Organisation de l'étude	4
2.2 Protocole expérimental	4
2.3 Traitements effectués sur les mesures.....	5
2.4 Résultats	7
2.4.1 Examen rapide des données	7
2.4.2 Détection des événements énergétiques et raffinement des détections	7
2.4.3 Identification et quantification des événements détectés retenus.....	8
2.4.4 Estimation du bruit ambiant.....	9
2.4.5 Estimation des portées de détection	10
2.5 Résumé et conclusions.....	11
3. Phase 2 : Proposition pour le suivi sur une année	12
3.1 Réseau d'écouteurs	12
3.2 Budget	13

1. Rappel du contexte et des objectifs de l'étude

Le présent document constitue le rapport final de la phase 1 de l'étude intitulée « Détermination de la présence des grands dauphins en Baie de Seine occidentale et utilisation du site : étude de faisabilité et validation de la méthode acoustique ».

L'objectif de ce projet est de déterminer la fréquentation de la zone dénommée *Baie de Seine occidentale (BSO)*, par les grands dauphins (*Tursiops truncatus*). Nos connaissances sur ce sujet sont aujourd'hui très limitées. La présence de grands dauphins dans la BSO est prouvée par les données récoltées par le Réseau d'Observateurs du GECC, ainsi que par le travail de terrain du GECC. Il s'agit, en grande partie, de données anciennes, qui datent des années 90.

En raison de la taille de la zone, ainsi que du caractère coûteux et aléatoire des prospections en bateau, nous avons, dans un premier temps, privilégié l'utilisation de l'acoustique passive comme solution la plus appropriée pour répondre à la problématique de la BSO. Des premiers tests sur la côte ouest du Cotentin ont montré que les grands dauphins vocalisent énormément. Leurs sifflements peuvent s'entendre à plusieurs centaines de mètres, voir kilomètres, selon l'intensité du bruit de fond.

Une approche acoustique paraît donc adéquate : elle permet de déterminer la présence des grands dauphins, de définir leurs sites privilégiés, ainsi que le mode d'utilisation de la zone. Ces connaissances servent de base pour une étude démographique de plus grande envergure visant à un suivi de la population sur le long-terme, comme celle qui est en cours dans le golfe normand-breton.

Deux phases ont été proposées pour déterminer la présence et l'utilisation du site par le grand dauphin dans la BSO au moyen de l'acoustique passive :

Phase 1 : Etant donné que cette méthode n'a jamais été testée dans la zone, un hydrophone a été immergé afin de vérifier son bon fonctionnement durant trois mois.

Phase 2 : Dans un deuxième temps, et en se basant sur les résultats obtenus lors de la phase 1, un projet de réseau d'hydrophone sera proposé pour couvrir et monitorer la BSO pendant une période prolongée de 12 mois.

Ce rapport présente les résultats de la phase 1, dont l'objectif est d'évaluer la faisabilité de la méthode acoustique passive en BSO.

2. Phase 1 : Etude de faisabilité et validation de la méthode acoustique

2.1 Organisation de l'étude

La première phase de cette étude avait pour objectif l'enregistrement de sons sur une durée de trois mois et l'analyse du comportement de l'enregistreur dans des conditions réelles, afin de tester l'adéquation de l'acoustique passive aux particularités du terrain, ainsi que son mode opératoire. Un enregistreur autonome de type AURAL (Multélectronique, Qc., Canada) de l'ENSTA Bretagne a été déployé pour cette phase de faisabilité.

Etant donné l'importante activité de pêche dans cette zone, nous avons décidé de fixer l'appareil sur une épave. Le choix a été fait sur les conseils de Bertrand Sciboz du CERES. L'AURAL a été fixé par l'équipe du CERES le 18 février, puis remonté le 10 mai 2011. En raison des conditions météorologiques difficiles et de la disponibilité limitée de CERES pour se rendre sur place, nous n'avons pas pu récupérer les données chaque mois comme cela était initialement prévu.

Au terme de cette première étape, les données ont été analysées par l'équipe acoustique passive de l'ENSTA Bretagne. Ces analyses ont servi de base pour une proposition technique et financière pour le suivi proposé dans la phase 2.

2.2 Protocole expérimental

L'épave choisie est une barge citerne coulée le 06/06/1944 de 45 mètres de long sur 15 mètres de large et d'environ 3 mètres de hauteur. Elle se situe à la position : 49.29.004N/001.04.664 Wn en WGS84 (Fig. 1). Afin d'éviter tout type de masquage acoustique dû à la structure de l'épave, l'AURAL a été fixé de façon à ce que l'hydrophone dépasse la ferraille (Fig. 2).

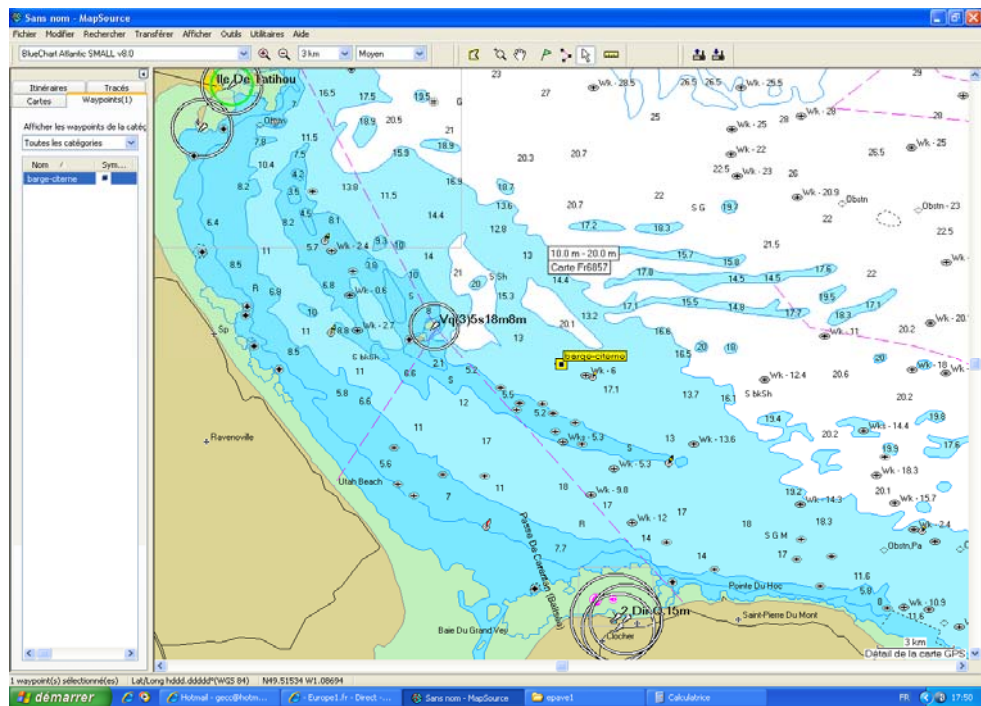


Figure 1 : Carte de la baie de Seine Occidental avec la position de l'épave (en jaune)



Figure 2 : Epave (gauche), AURAL fixé avec des bouts sur la structure en ferraille (photos: CERES)

Pour accomplir les 3 mois d'enregistrement, l'AURAL a été programmé avec un cycle de mesure de dix minutes toutes les dix minutes à une fréquence d'échantillonnage de 32 kHz à 16 bits.

2.3 Traitements effectués sur les mesures

Les enregistrements, au format « wav », ont été analysés par l'équipe acoustique passive de l'ENSTA en utilisant des logiciels développés au sein de l'équipe. Les traitements sont les suivants :

1. un examen rapide de quelques enregistrements choisis au hasard pour émettre un avis sur la qualité des mesures,

2. la détection des événements énergétiques (plus forts que le bruit de fond) et le raffinement des détections par filtrage (Fig. 3),
3. l'identification et la quantification des événements détectés retenus,
4. l'estimation du niveau de bruit ambiant et son évolution dans le temps,
5. l'estimation de la distance de détection des sifflements de grands dauphins à partir des mesures de bruit ambiant et des caractéristiques sonores des sifflements.

L'estimation des distances de détection est indispensable pour la phase 2 du projet, car elle permet d'évaluer l'occupation spatio-temporelle des animaux, des bateaux... ainsi que de planifier un réseau d'écouteurs en vue d'un monitoring des dauphins en BSO sur le long terme.

Puisque pendant les traitements nous avons pu constater une forte présence d'activités humaines sur le site, nous avons étendu l'étude à une caractérisation et à une quantification des usages autour du point d'écoute.

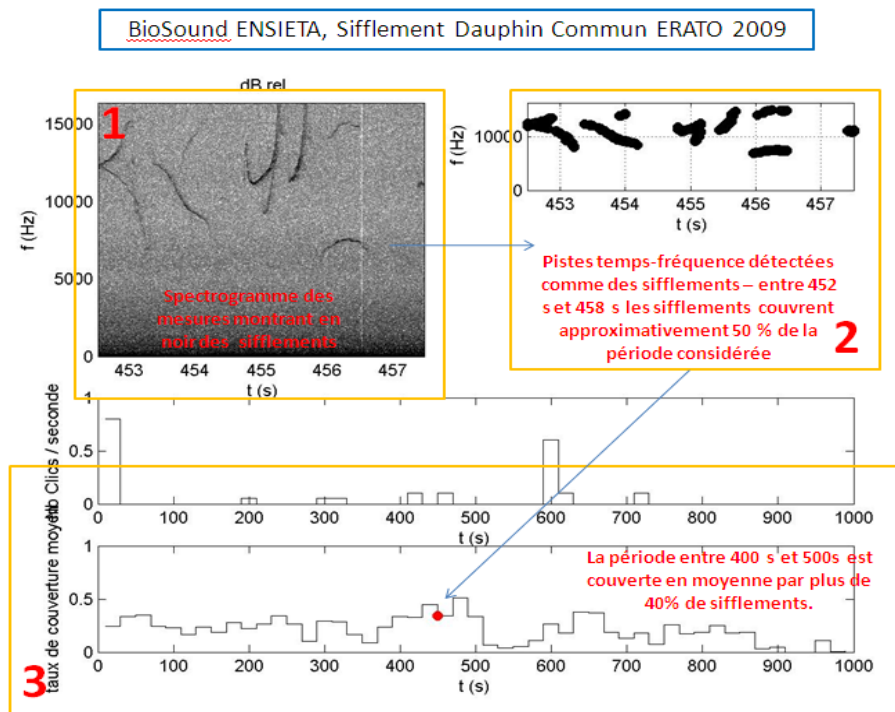


Figure 3 : Schéma de l'algorithme de détection. 1) spectrogramme du signal acoustique. Les « virgules » noires représentent des événements (sifflements) plus énergétiques que le bruit de fond (gris). 2) Les points noirs représentent des pixels énergétiques détectés, l'ensemble des pixels noirs dans la période d'analyse correspond au « taux de colonisation du spectrogramme ». 3) « Taux de couverture temporelle » après filtrage.

2.4 Résultats

Nous avons au total 5884 fichiers de sons au format « wav », soit 980 heures d'enregistrement.

2.4.1 Examen rapide des données

L'examen rapide des données a été réalisé à partir du logiciel Adobe Audition. Chaque fichier de mesure est visualisé sous sa forme temporelle ou sa forme temps-fréquence (spectrogramme), certaines phases montrant un potentiel intérêt furent écoutées à vitesse normale, accélérée ou ralentie.

Une exploration aléatoire de nombreuses phases d'enregistrements a permis de constater que la qualité des enregistrements était excellente. Elle a aussi permis d'identifier une forte activité humaine dans la zone (bateaux, bruits de pêche, plongeurs, etc.). C'est pourquoi, l'algorithme de traitement a été légèrement modifié, afin de pouvoir mieux séparer les bruits anthropiques des bruits biologiques et de faciliter l'identification des sources de bruit par un affichage automatique du spectrogramme du signal énergétique d'intérêt (voir section 2.4.3).

2.4.2 Détection des événements énergétiques et raffinement des détections

Seuls les signaux plus forts, donc plus énergétiques, que le bruit de fond, ont été retenus dans le processus de détection, puisque ces événements pouvaient représenter des signaux d'intérêt, comme des sifflements de dauphins. Ces détections ont été représentées comme « taux de colonisation du spectrogramme » qui correspond au pourcentage de pixels plus énergétiques que le bruit de fond (Fig. 3.2). Ce taux de couverture n'est pas spécifique à un signal mais comprend tous les signaux énergétiques sur toute la bande de fréquence (bruits de bateau, sifflements, bruits benthiques,...). Ce taux de colonisation du spectrogramme est visualisé en fonction du temps (Fig. 4.1). Le grand nombre de pics noirs visible dans la figure 4.1 indique une forte fréquence de sons plus forts que le bruit de fond pendant toute la période de l'enregistrement.

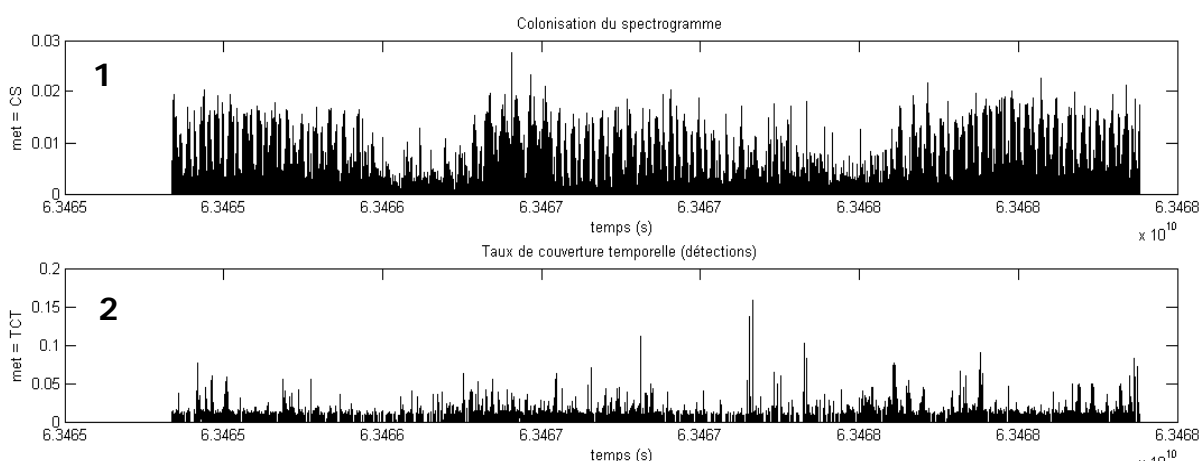


Figure 4.1) Taux de colonisation du spectrogramme (CS) pendant toute la durée de l'enregistrement, comprenant tous les événements énergétiques détectés, et 2) taux de couverture temporelle, comprenant les événements énergétiques après filtrage et seuillage et correspondant aux signaux d'intérêt.

Après un filtrage qui permet de mieux isoler les sifflements de dauphins parmi les événements énergétiques retenus, la métrique calculée est le taux de couverture temporelle (Fig. 4.2). Les pics noirs retenus après ce filtrage pourraient donc correspondre à des détections de dauphins. C'est un pas nécessaire pour faciliter l'identification et quantification des sons détectés et de leurs sources.

2.4.3 Identification et quantification des événements détectés retenus

Les événements détectés retenus sont représentés par les carrés rouges dans la figure 5.

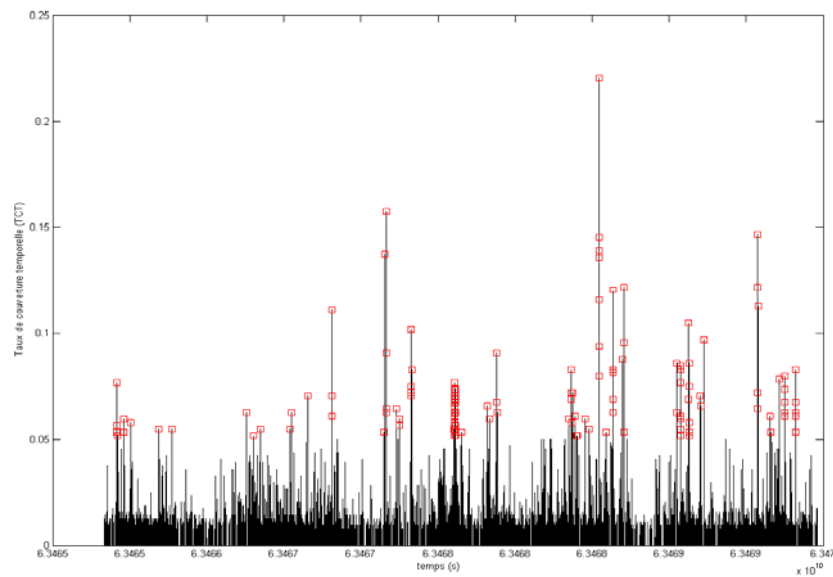


Figure 5 : Taux de couverture temporelle (pics noirs) et détections retenues pour l'identification (carrés rouges).

Les modifications faites sur l'algorithme de détection automatique des sifflements de dauphins ont facilité l'identification et le dénombrement des signaux détectés. Pour chaque carré rouge, l'algorithme a créé et sauvegardé un spectrogramme du signal détecté (Fig. 6). Après avoir visualisé chacun de ces spectrogrammes et avoir écouté les sons correspondants, nous pouvons conclure qu'aucun sifflement de dauphin n'a été détecté. En revanche, il est intéressant de noter que la majorité des sources de détections étaient de nature anthropique : 15% des détections (carrés rouges) dérivait des bruits des détendeurs de plongeurs, 8% de bruits de chaînes, 24% de bruits de manœuvres de pêche, 7% de bruits mécaniques dus à la pêche, 12% de passages bateaux de type semi-rigide, 28% de bateaux en passage proches de l'hydrophone, et 6% de bruits de frottements sur l'hydrophone. Ces résultats ne concernent que les bruits les plus forts qui ont été détectés (carrés rouges). Une analyse plus exhaustive serait donc nécessaire pour avoir une idée plus complète des types et nombre de passages dans la zone, mais elle n'entre pas dans le champ d'étude du présent contrat.

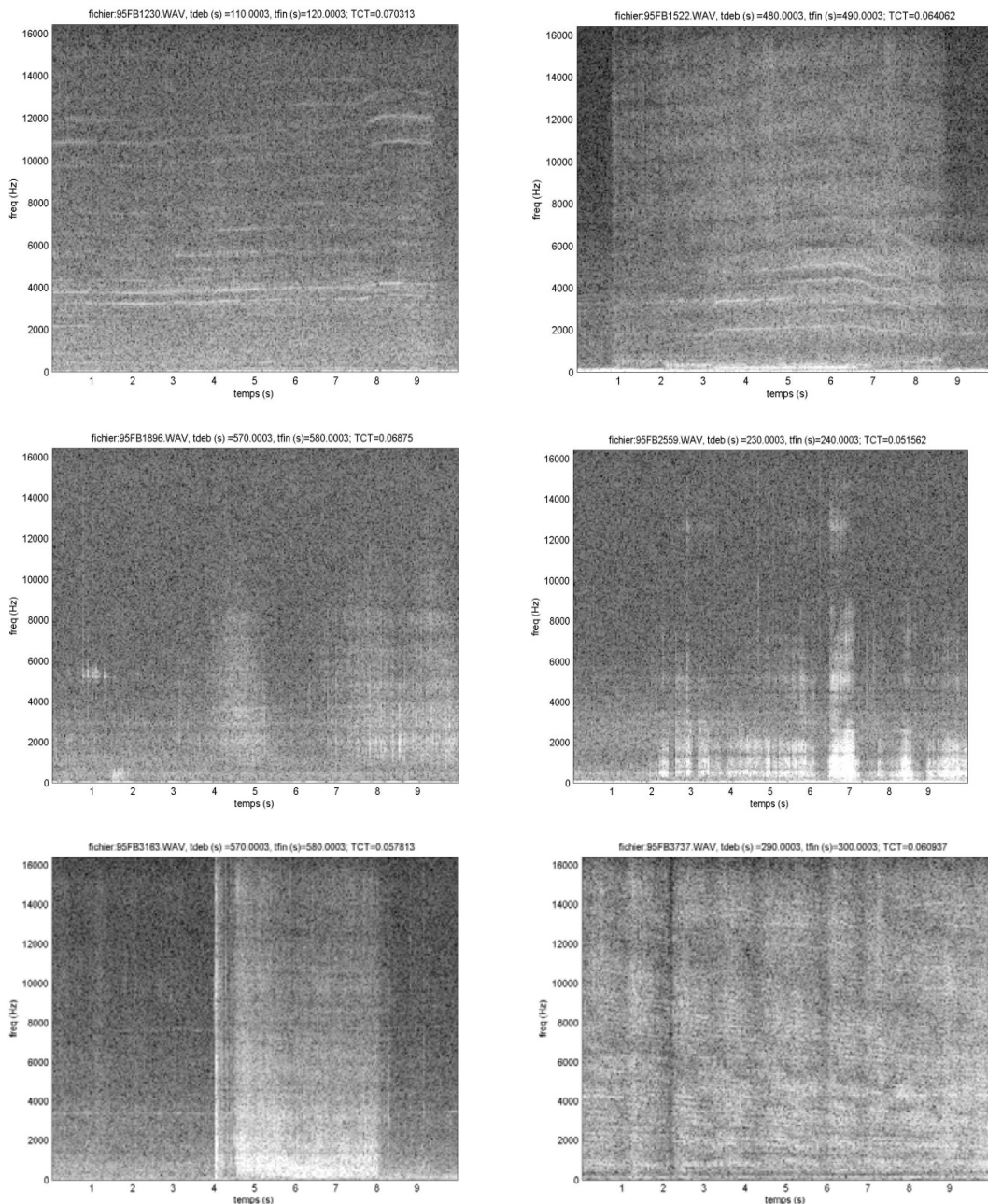


Figure 6 : Spectrogrammes de différents bruits détectés.

2.4.4 Estimation du bruit ambiant

Deux calculs de bruit ambiant ont été effectués, un pour les basses fréquences (200-500Hz) dans lesquelles se trouvent la majorité des bruits anthropiques, et un pour la bande de fréquence des sifflements de dauphins (4000-16000Hz). Ce dernier est nécessaire pour le calcul de la portée de détection des sifflements de dauphins (voir section 3.4.5).

La figure suivante montre l'évolution du bruit ambiant dans les basses fréquences sur toute la durée de l'enregistrement. En comparant cette courbe à celle du taux de couverture temporelle, on remarque que les instants de bruits les plus forts coïncident avec plusieurs détections ayant un taux de couverture important. Cela indique que ces

détections n'étaient pas dues à la présence de dauphins, car ces derniers vocalisent plus haut que le bruit de basse fréquence, mais qu'elles résultaient d'autres sources, probablement de nature anthropique. Analyser le bruit ambiant dans les basses fréquences nécessite un autre outil pour représenter et estimer le taux de présence d'activité humaine.

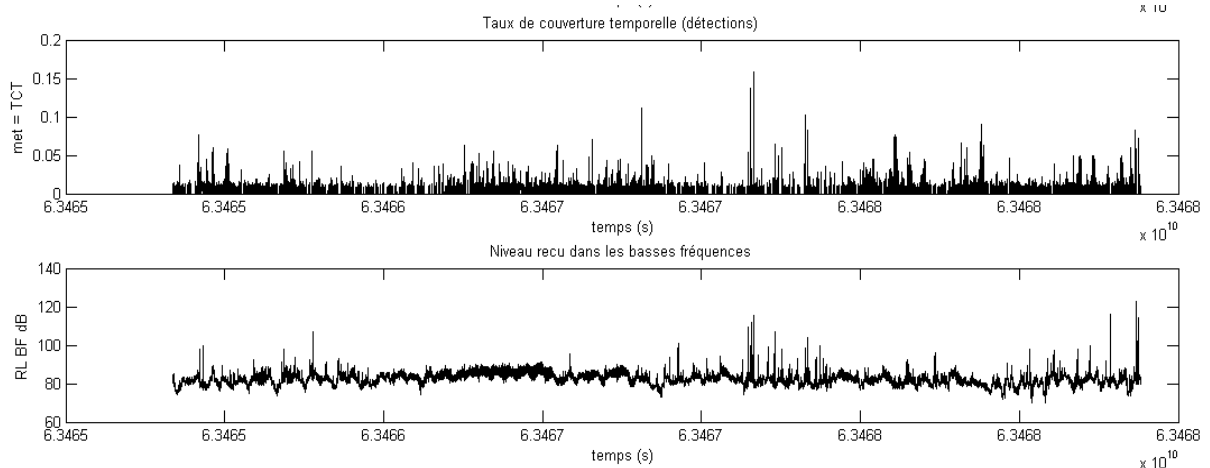


Figure 7 : En haut, taux de couverture temporelle (voir Fig. 4 & 5), en bas niveau reçu (dB) dans les basses fréquences (200-500 Hz).

2.4.5 Estimation des portées de détection

Pour envisager la mise en place d'un réseau d'écoute, il est nécessaire d'estimer la portée de détection des enregistreurs. Cela permet, entre autres, de connaître le rayon d'écoute et de mieux planifier le positionnement des enregistreurs les uns par rapport aux autres.

Des outils théoriques développés par l'équipe AP de l'ENSTA ont été utilisés pour prévoir les portées de détection des signaux bio-acoustiques. Les données d'entrée nécessaires à la prévision sont :

- NS = Le niveau d'émission de la source (dB ref 1 μ Pa2@1m), donc des sifflements, issu d'une étude précédente.
- PT = Pertes de transmission qui suivent une loi approprié pour l'environnement étudié.
- NB = Le niveau du bruit ambiant dans la bande de fréquence des dauphins.
- GT = Le gain de traitement (détecteur).
- SD = Le seuil de détection (ici 10dB).

$$PT = NS - NR + GT - SD;$$

$$\text{Portée} = 10^{(PT/20)} \quad (\text{pour pertes sphériques})$$

Pour chaque niveau reçu toutes les 10 secondes, on a estimé la portée de détection de l'enregistreur AURAL. L'évolution de la portée dans le temps sur toute la durée de l'enregistrement est illustrée dans la figure 8 :

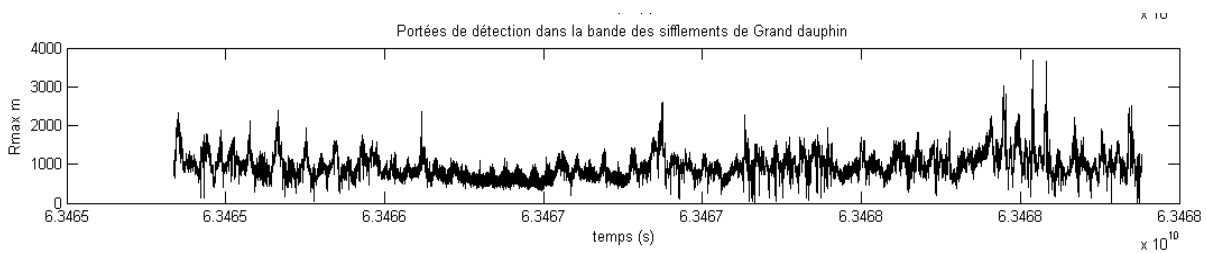


Figure 8 : Evolution de la portée de détection (R_{max} , m) sur toute la période de l'enregistrement.

La portée varie entre quelques mètres et 3500 mètres. Ces différences sont principalement dues au niveau de bruit présent dans la bande de fréquence correspondant à celle des dauphins. La figure 9 fournit les fonctions de densité de probabilité de la portée de détection d'un sifflement de grand dauphin en BSO. La portée moyenne était de 975 mètres. 60% des portées comprenaient des distances entre 0 et 1000 mètres, avec une majorité comprise entre 500 et 1000 mètres. Ces analyses nous permettent de définir un rayon de distance entre les capteurs dans le cas d'un réseau d'hydrophones en BSO.

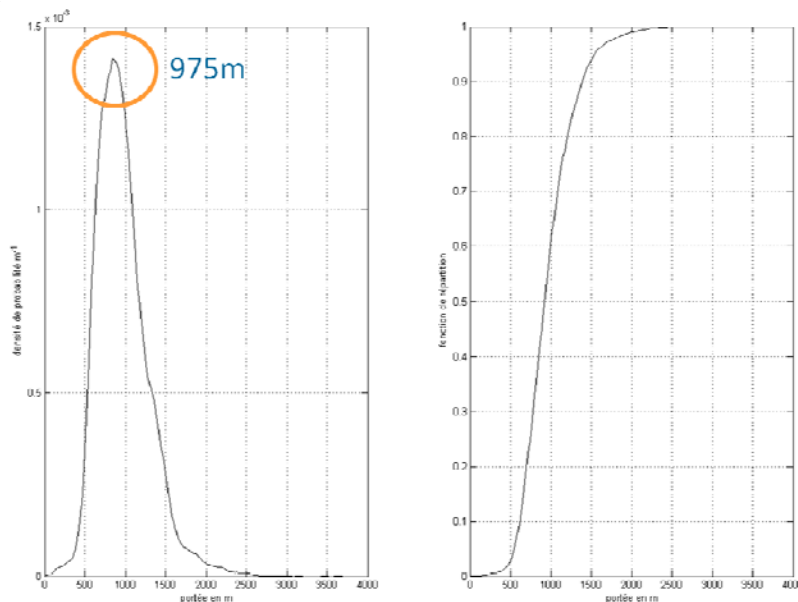


Figure 9 : Histogramme (gauche) et fonction de probabilité (droite) de la portée de détection d'un sifflement en BSO pour un système autonome ENSTA.

2.5 Résumé et conclusions

Pendant la durée de l'enregistrement, aucun dauphin n'a été détecté dans le rayon d'écoute du système acoustique. La portée de détection moyenne estimée pour la zone est autour de 1000 mètres, ce qui correspond à une surface d'écoute de $3,1\text{km}^2$. Cela ne représente même pas un centième de la zone Natura 2000 nommée baie de Seine Occidentale. Le fait de ne pas avoir détecté de dauphins ne signifie donc pas qu'ils ne sont pas présents dans la zone. Si par exemple des dauphins étaient passés plus proche de la côte, la probabilité de les détecter aurait été infime. Ce dernier point est important, car les données du réseau d'observateurs nous indiquent que la plupart des observations ont été faites plutôt vers l'est du point d'écoute de cette étude ou plus proche de la côte.

En analysant les données, les détections et en modifiant les codes, nous avons pu décrire et quantifier l'activité humaine dans la zone d'écoute en estimant le bruit ambiant dans les basses fréquences et en identifiant les événements énergétiques. Nous avons donc pu confirmer une forte présence humaine journalière dans la zone (pêche, plaisance, plongée, trafic). Ce type de données est intéressant pour l'évaluation des activités humaines dans la zone qui pourrait affecter l'utilisation du site par les dauphins. Par exemple, à cause du bruit causé par le grand nombre de bateaux qui passent ou opèrent en BSO. Un monitoring acoustique sur une plus grande échelle permettrait donc, non seulement de détecter la présence des dauphins, mais aussi d'étudier leur distribution en fonction de l'activité humaine dans la zone.

3. Phase 2 : Proposition pour le suivi sur une année

3.1 Réseau d'écouteurs

La proposition se base sur les résultats obtenus dans la phase 1. Un seul hydrophone est insuffisant pour monitorer une zone vaste comme celle de la baie de Seine Occidentale surtout si les événements à détecter, dans notre cas des sifflements, sont rares. Il est nécessaire d'augmenter la couverture d'écoute pour évaluer la présence de dauphin, et de déterminer quand et comment ils utilisent la zone. Les données sur le bruit ambiant et les portées de détection nous informent sur le rayon d'écoute, ce qui est nécessaire pour la planification d'un réseau d'enregistreurs.

La figure 10 propose la répartition idéale à envisager pour répartir les enregistreurs sur la zone.



Figure 10 : Proposition d'un réseau d'écouteurs en BSO pour un suivi sur un an. En rouge : zones prioritaires. Cercle rouge solide : position de l'hydrophone dans la phase 1.

Pour éviter que les enregistreurs ne gênent les activités de pêche il convient de les fixer sur des épaves. La figure 11 illustre un choix d'épaves possibles qui pourrait

permettre de couvrir une zone comme celle proposée dans la figure 10. Le travail d'identification des épaves devrait être fait avec des experts du secteur, tels que la société CERES.

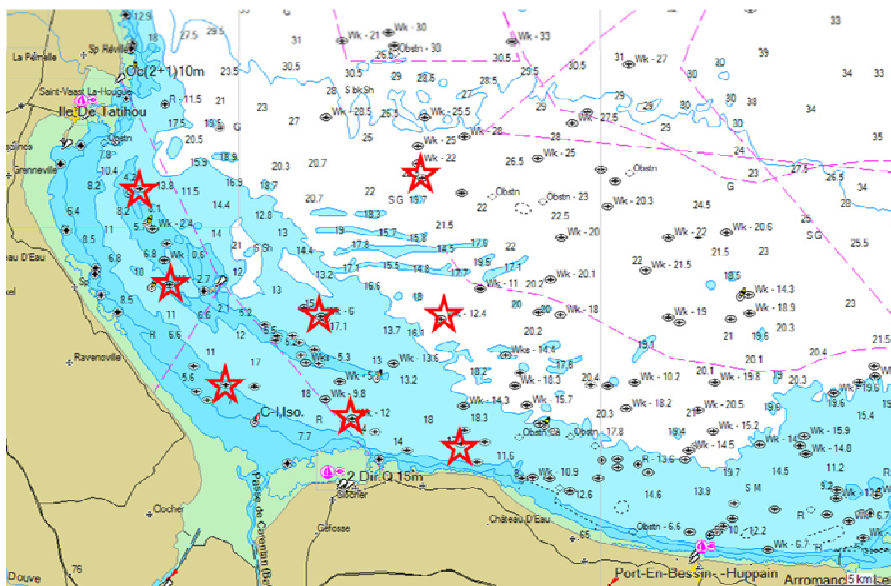


Figure 11 : Proposition d'épaves pour un réseau d'écouteurs en BSO pendant la phase 2.

Un tel dispositif devrait permettre de couvrir une bonne partie des zones potentiellement très fréquentées par les grands dauphins. Le système d'hydrophone proposé pour une telle étude est un capteur « intelligent » en développement chez RT SYS. Ce capteur a tous les avantages d'un AURAL, mais plus petit et alimenté par une batterie en lithium, il a la possibilité d'enregistrer avec une fréquence d'échantillonnage de plus de 200Hz, qui permettrait d'enregistrer aussi les ultrasons (écholocalisation de dauphins et marsouins). Le coût d'un tel système est équivalent à celui d'un AURAL.

3.2 Budget

Le budget proposé dans le tableau 1, propose différents scénarios avec un nombre différent de capteurs. Plus le nombre est important, plus le traitement des données est long. Le premier « total » du tableau correspond aux coûts sans l'achat d'enregistreurs RT SYS, le deuxième avec l'achat de tels appareils. L'ENSTA Bretagne ne pourra pas fournir des enregistreurs de type Aural comme pour la phase 1, car ils sont déjà tous prévus pour d'autres études.

Tableau 1 : Proposition de budget pour une étude acoustique sur 1 an.

	Description	Prix €/unité	2 stations Prix €/an	3 stations Prix €/an	4 stations Prix €/an	5 stations Prix €/an	6 stations Prix €/an
<i>Installation</i>	Assurance	150	300	450	600	750	900
	Plongées	150	600	900	1200	1500	1800
	Sorties	600	3000	4200	4800	5400	6000
	Transport	400	400	400	800	800	800
	Brest-Cherb	200	800	800	800	1000	1000
	Consommables	800	1600	2400	3200	4000	4800
<i>Analyses</i>		15000	30000	45000	60000	75000	90000
<i>Rédaction</i>	10 jours	500	5000	5000	5000	5000	5000
Total			41700	59150	76400	93450	110300
<i>Achat</i>	Enregistreur	17000	34000	51000	68000	85000	102000
TOTAL			75700	110150	144400	178450	212300