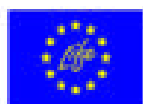


Analyse de densités sonores et recommandations

Action : A3

Merci
d'imprimer
sur du papier
recyclé
recto verso





UNIVERSITÉ PARIS XII VAL DE MARNE

LISSI

Laboratoire Images, Signaux et Systèmes Intelligents (EA 3956)

i S n S

Ingénierie des Signaux NeuroSensoriels

ANALYSE DES DENSITES SONORES

**CONTRIBUTION AU
PROJET LIFE LINDA**

WWF - FRANCE

Rapport Final

**Olivier ADAM
Jonathan HOMERIN
Jean-François MOTSCH**

Mai 2007

Association DIRAC

Contact : Olivier Adam, 01 45 17 17 74, adam@univ-paris12.fr

1. Introduction	4
2. Contexte : caractéristiques d'enregistrements sous-marins	4
2.1 Une échelle à manipuler avec précaution.....	4
2.2 Le bruit marin.....	6
2.3 Impact sur les mammifères marins	7
2.4 Sons émis par quelques cétacés de méditerranée	7
3. Présentation de la base de données.....	7
3.1 Constitution de la base de données.....	8
3.2 Sons émis par des embarcations motorisées.....	9
Exemple 1.....	9
Exemple 2.....	10
3.3 Sons de bateaux motorisés et de cétacés	11
4. Recommandations	12
4.1 Une chaîne d'acquisition adaptée.....	12
Exemple de chaînes d'acquisition :.....	13
Configuration 1.....	13
Configuration 2.....	13
Remarques	13
Les Popups.....	14
Configuration 3.....	14
Configuration 4.....	15
Configuration 5.....	15
4.2 Rayonnement dû à l'alimentation électrique	15
4.3 Enregistrement par ordinateur	15
a. Programme d'enregistrement	15
b. Utiliser un casque audio haute-fidélité	15
c. Configuration de l'ordinateur avant le début des enregistrement.	16
d. Dans le cas d'utilisation de la carte audio interne au PC, configuration de la carte son de l'ordinateur.	16
4.4 Protocole d'enregistrement	16
4.5 Tenue d'un relevé de notes	16
5. Conclusion.....	17
Bibliographie	18
Annexes	19
Annexe 1 : durée des fichiers de la base de données.....	19
Annexe 2 : fichiers présentant des signaux saturés	22
Annexe 3 : présence d'un bruit de moteur	23

1. Introduction

Ce rapport s'inscrit dans le cadre du projet Life Linda. Ce programme, mené et coordonné par le WWF, a pour objectif d'évaluer les interactions entre dauphins et activités humaines en Corse. Il s'agit principalement de caractériser l'impact du trafic maritime (pêche, commercial, de plaisance) sur la population de grands dauphins évoluant au large de la Corse. On souhaite apprécier d'une part les éventuelles modifications de comportement des animaux et d'autre part une potentielle diminution de leur nombre. Cela pourrait être mis en relation à l'accroissement du bruit marin généré par les bateaux, notamment pendant la période estivale.

Le travail effectué est basé principalement sur des relevés de rotation des bateaux dans le port de Bonifacio, St Florent et dans la réserve de Scandola, des observations visuelles (aériennes et *in situ*).

Cette démarche peut être complétée par une étude acoustique visant à caractériser la densité sonore des zones concernées. Des enregistrements acoustiques ont été réalisés par le WWF. Le travail qui nous est demandé consiste en l'exploitation d'une base de données contenant ces enregistrements.

Ce rapport est organisé en 3 parties. La première rappelle quelques notions d'acoustiques sous-marines afin de positionner le contexte de ce travail. La deuxième partie détaille la base de données. La 3^e partie présente quelques résultats.

Ce travail est un rapport préliminaire. Il est illustré par des premiers résultats et des perspectives sont présentées dans la conclusion.

2. Contexte : caractéristiques d'enregistrements sous-marins

Une onde sonore ou acoustique est une variation de pression définie par

$$p(t) = p_0 \times \sin(2\pi f_0 t - kx)$$

où p_0 est la pression acoustique maximale à la source. Elle est mesurée en μPa .

f_0 est la fréquence de l'onde. Elle est mesurée en Hz.

k est le vecteur d'onde. Il s'exprime en rad/m. Il caractérise le nombre d'oscillations sur 2π unité de

longueur. $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ avec $\lambda = \frac{c}{f_0}$, c étant la célérité de l'onde dans le milieu considéré. On arrive alors à

la variation de pression telle que

$$p(t) = p_0 \times \sin\left(2\pi f_0 \left(t - \frac{x}{c}\right)\right)$$

2.1 Une échelle à manipuler avec précaution

Il est important de rappeler en préliminaire les différences d'échelle entre le milieu aérien et le milieu marin ainsi que leur utilisation pour caractériser une intensité acoustique. Dans leur article, Chapman and Ellis (1998) insistent sur la confusion que les décibels peuvent engendrer par une utilisation inexacte (ou incomplète), y compris par des spécialistes. Ils rappellent 3 notions

importantes. Premièrement, les décibels sont une unité relative. Il convient donc, lorsqu'on les utilise, de rappeler systématiquement la référence p_0 dans

$$L_{dB} = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

Cela est d'autant plus important que la référence est différente entre le milieu aérien ($20\mu\text{Pa}$) et le milieu marin ($1\mu\text{Pa}$).

Deuxièmement, il faut distinguer les niveaux d'émission et de réception. Ainsi, en acoustique sous-marine, on évoque l'intensité (ou puissance) sonore d'une source placée à 1m de distance de l'hydrophone.

Troisièmement, il convient d'éviter d'extrapoler nos sensations auditives dans le milieu aérien au milieu marin. Autrement dit, pour des cétacés, cette sensibilité est à apprécier différemment. Aussi, il faut rester prudent lorsque l'on évoque l'impact sur les mammifères marins. Il faudrait alors citer les travaux effectués sur les potentiels évoqués et les potentiels comportementaux des mammifères marins (Nachtigall et al., 2004 ; Supin et al., 2005). On voit alors que les réactions de ces animaux sont différentes selon les intensités, les rythmes et les fréquences des sons émis à leur rencontre.

La notion de propagation des ondes acoustiques est également très différente entre le milieu aérien et le milieu marin. Dans ce dernier, elle dépend des caractéristiques bathymétriques. La célérité des ondes dépend de la température, de la profondeur (pression) et de la salinité. Leroy en propose une modélisation par (Lurton, 2002) :

$$c = 1492,9 + 3(T - 10) - 0.006(T - 10)^2 - 0.04(T - 18)^2 + 1.2(s - 35) - 0.01(T - 18)(s - 35) + 0.016z$$

où c est la célérité (m/s), z la profondeur, T la température ($^{\circ}\text{C}$) et s la salinité (ppt).

Ces paramètres ont des influences différentes :

- une augmentation de 1°C entraîne une augmentation de la célérité de 3 m/s,
- 100 mètres entraînent une augmentation de 1.6 m/s
- 1 ppt (partie par millier) de la salinité entraîne une augmentation de 1.3 m/s

Ces caractéristiques permettent d'expliquer que les sons ne suivent pas, sur une grande distance, un trajet rectiligne sous l'eau. On montre alors les notions d'une part de guide acoustique ou chenal sonore observé dans une couche d'eau, située proche de la surface (entre 50 et 200 m de profondeur) et d'autre part de zones invisibles (fig 1).

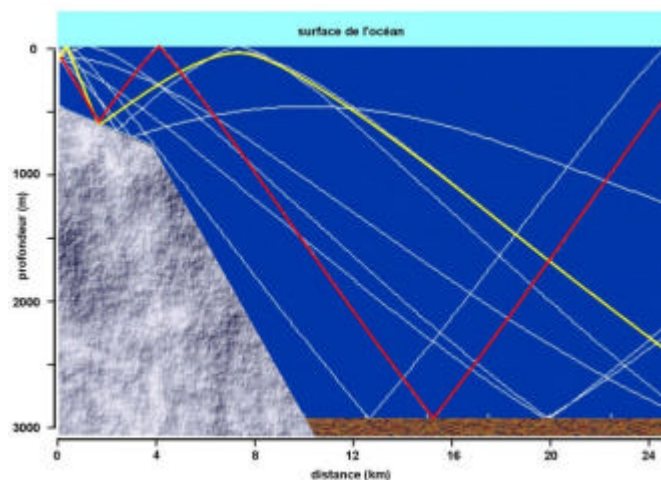


Figure 1 : trajets suivis par une onde sonore en fonction de l'angle d'incidence, des réflexions fond, surface, fond-surface...

La propagation de l'onde sonore est atténuée. En faisant l'hypothèse d'un milieu homogène, les pertes sont de 6 dB à chaque fois que l'on double la distance. Ainsi, un son de 230 dB mesuré à 1 m de la source sera de 224 dB à 2 m, 218 dB à 4 m, 212 dB à 8 m... 170 dB à 1 km.

D'autre part, il est important de noter que cette atténuation dépend du carré de la fréquence. Elle est d'autant plus importante que la fréquence est élevée. Une modélisation du coefficient d'atténuation est donnée par la formule de Thorp (Lurton, 2002) :

$$a = 0.0033 + \frac{0.11f_0^2}{1 + f_0^2} + \frac{44f_0^2}{4100 + f_0^2} + 0.0003f_0^2$$

avec f_0 la fréquence de l'onde mesurée en kHz.

Il faut également rajouter les réflexions sur le fond marin et la surface, qui se traduisent par des coefficients d'absorption/transmission. Ces valeurs dépendent de la nature du sol (pour le fond) ou de l'état de la mer (pour la surface).

Finalement, en utilisant un hydrophone, le son enregistré aura comme niveau :

$$NR = NE - PT + NB + GD + GT$$

où NR est le niveau reçu, NE le niveau émis par la source, PT les pertes de transmission (pertes par propagation et réflexions), NB le niveau de bruit, GD le gain de l'hydrophone et GT le gain de traitement.

Le niveau reçu permet de définir une densité acoustique. Ceci peut être effectué sur l'ensemble de la gamme fréquentielle de l'hydrophone, ou sur une bande plus réduite. On peut alors focaliser l'étude sur un type de bruit marin ou sur les sons émis par une espèce de mammifères marins en particulier.

2.2 Le bruit marin

Le bruit marin peut être décrit suivant son origine :

- une origine physique : vent, intempéries, vagues, turbulence, séisme, fond de mer, icebergs...
- une origine biologique : sons émis par les animaux ou dus à leurs mouvements
- une origine anthropogénique : activités humaines (bateaux, prospection pétrolière, armée...)

Plusieurs études récentes ont montré que le bruit marin dû au trafic maritime ne cessait d'augmenter. En moyenne, son niveau a pris 10 dB entre 1950 et 1975 (Ross, 1993). De 1950 à 2000, le bruit basse-fréquence s'est accru de 16 dB, c'est-à-dire qu'il a doublé tous les 10 ans. La cause est liée au nombre de bateaux qui a triplé (de 30000 à 87000) avec un tonnage multiplié par 6.5 (de 95 à 550 millions de tonnes) (Mazzuca, 2001).

Citons également la grande variabilité des pressions acoustiques pouvant aller jusqu'à 250 dB re 1 μ Pa à 1m lors de l'utilisation de canons à air pour la recherche pétrolière. Ces sons peuvent être enregistrés à plus de 1000 km de la source qui les a émis (Nieukirk, 2004).

Plus récemment, lors des exercices de pêche, ont été introduits des émetteurs sonores placés sur les filets destinés à repousser les cétacés. Appelés *pinger*, ces appareils envoient des sons par intermittence à des fréquences variables comprises entre quelques kHz à quelques dizaines de kHz et des intensités pouvant aller jusqu'à 185 dB. Leur effet est actuellement soumis à controverse tant au niveau de leur impact sur les poissons que leurs effets sur les cétacés. Ces instruments repoussent-ils les poissons ? La communauté scientifique est partagée. Gearin *et al.* (1994), Mann *et al.* (1997), Kraus *et al.* (1997), Kraus (1999) soutiennent cette hypothèse, contrairement à Trippel *et al.* (1999), Wilson and Dill (2002). De même, l'impact sur les cétacés est encore loin d'être démontré (Carlstrom *et al.*, 2002 ; Leeney *et al.*, 2007). Certaines études montrent même un effet inverse en attirant les mammifères marins (Dinner Bell effect) (Rossi *et al.*, 2003). Des études scientifiques complémentaires doivent être effectuées avant toute recommandation d'emploi.

2.3 Impact sur les mammifères marins

Même s'il faut être encore particulièrement prudent quant à l'impact que peut avoir les sons sur les mammifères marins, plusieurs études scientifiques témoignent de modifications comportementales. Celles-ci s'expliquent par la nature des sons : continu/transitoire, forte/faible puissance, large/étroite bande fréquentielle. Cela permet de caractériser notamment le taux d'exposition des animaux à ces bruits.

Ainsi, il a été observé que les Beluga ajustaient leurs clics d'écholocation à des fréquences plus hautes lorsqu'ils étaient soumis à un bruit de fond dont la gamme fréquentielle chevauchait la leur (Au *et al.*, 1985). De plus, ces animaux augmentent la fréquence de leurs cris en présence de bruits de bateaux (Lesage *et al.*, 1999).

Quant aux globicéphales, ils changent le type de leurs vocalisations en présence d'émissions de sonar militaire (Rendell and Gordon, 1999). Exposé à ces sonars, les baleines à bosse rallongent le cycle de leur chant (Miller *et al.*, 2000 ; Fristrup *et al.*, 2003)

Enfin, des observations d'échouages exceptionnels, de baleines à bec notamment, ont été faites après différents exercices militaires de l'OTAN : 12 baleines de Cuvier en Grèce (1996), 17 baleines à bec aux Bahamas (2000), 14 baleines à bec aux Canaries (2002). Les explications avancées misent sur le comportement peureux de ces animaux les incitant à modifier brutalement leur comportement en plongée pouvant se traduire par des risques liés à la décompression.

2.4 Sons émis par quelques cétacés de méditerranée

Ces réactions comportementales de cétacés, présentées précédemment, témoignent des gammes fréquentielles qu'ils perçoivent. Les bruits peuvent couvrir tout ou partie de leurs gammes fréquentielles. On peut faire une corrélation avec celles des sons qu'ils émettent. Le tableau 1 présente quelques émissions sonores de cétacés de Méditerranée.

Tableau 1 : sons émis par des cétacés de Méditerranée

Espèce	Nature du son	Intensité (dB re 1µPa à 1m)	Gamme fréquentielle (kHz)
Cachalot	Clics	[163 ; 223]	[0.1 ; 30]
Globicéphale	Clics	[170 ; 180]	[0.5 ; 20]
Dauphin de Risso	Clics	[100 ; 120]	[10 ; 65]
Grand Dauphin	Sifflements	[125 ; 173]	[0.8 ; 24]
	Clics	[212 ; 228]	[100 ; 130]
Dauphin bleu et blanc	Sifflements	[100 ; 150]	[6 ; 24]
Dauphin commun	Sifflements	[120 ; 178]	[6 ; 24]
Rorqual commun	Gémissements	[155 ; 186]	[0.035 ; 0.75]

3. Présentation de la base de données

La base de données nous a été fournie par Federica Maggiani.

Elle contient des enregistrements regroupés par fichier. Les noms des fichiers correspondent à un lieu et une date. Ils sont sous format .wav

Les acquisitions ont été effectuées à la fréquence d'échantillonnage de 96 kHz et sur 16 bits.

3.1 Constitution de la base de données

La base de données contient des enregistrements acoustiques pour une durée totale de 9h17mn14s. Elle est constituée de 75 fichiers.

Le fichier le plus court est de 5 secondes et le fichier le plus long contient un enregistrement de 17mn56s

Les enregistrements ont été effectués sur 2 zones : St Florent et Scandola. L'ensemble des informations est placé en annexe 1 et résumé dans le tableau 2.

Les sons qu'il est possible de distinguer sont : le bruit de l'écoulement de l'eau sur le bateau utilisé pour faire les acquisitions, le bruit des moteurs de bateaux à proximité, les sifflements de cétacés.

Tableau 2 : détails de la base de données

Zone	Date	Nb de fichiers	Durée
Scandola	29-06-2004	12	0h 28mn 09s
St Florent	29-06-2004	14	2h 20mn 57s
St Florent	01-07-2004	11	2h 47mn 20s
St Florent	22-07-2004	20	1h 48mn 44s
St Florent	23-07-2004	18	1h 51mn 54s

Nous n'avons pas d'informations sur la chaîne d'acquisition ; celle-ci n'est pas décrite dans le rapport intitulé *rapporfinalA3.pdf*. On note ainsi une différence de puissance du bruit ambiant entre l'enregistrement St Florent du 29/06/04 et celui du 10/07/04. Cette différence ne s'explique pas par des conditions météorologiques (beau temps / pluie), d'états de la mer (calme / agité) ou de forces de vent différentes. Car ces caractéristiques auraient alors pu être mises en évidence par l'étude fréquentielle. Il en est de même pour un bruit biologique ou anthropogénique. Nous en avons déduit qu'il s'agissait d'un gain variable de la chaîne d'acquisition.

Les signaux de la base de données ont des amplitudes variant entre 1 et -1. Les signaux ont donc été normalisés. Nous ne pouvons accéder à l'information sur les pressions acoustiques. D'autre part, 16 fichiers contiennent des signaux saturés, c'est-à-dire presque 1/4 des fichiers de la base (voir annexe 2). En général, même si cela est regrettable, cette saturation n'est pas pénalisante pour l'étude du fichier dans son intégralité. Ceci dit, cela peut être gênant lorsque l'on souhaite caractériser précisément la puissance sonore d'un moteur de bateau qui passe à proximité de l'hydrophone (comme illustré dans la figure 2). De plus, cela laisse également possible l'utilisation d'un gain dans la chaîne d'acquisition (au niveau du préampli de l'hydrophone ou de la carte d'acquisition).

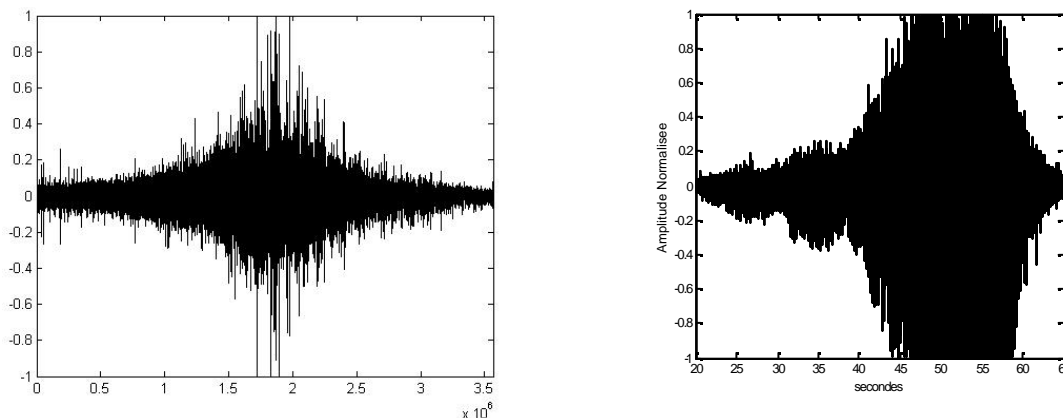


Figure 2 : passage d'un bateau à moteur à proximité de l'hydrophone

3.2 Sons émis par des embarcations motorisées

Les bruits de moteur de bateaux passant à proximité sont présents sur quasi tous les fichiers (voir détail en annexe 3). Les bruits de moteur sont très basses fréquences. Ces dernières correspondent au bruit du moteur lui-même qui raisonne via la coque lorsqu'il est placé sur celle-ci, le bruit de ou des hélices (dont les fréquences sont d'autant plus hautes que l'hélice tourne vite) et dans de moindres mesures, des bruits dus à la cavitation à l'écoulement de l'eau sur la coque. Cela est illustré par les exemples suivants.

Exemple 1.

Le son de cette embarcation motorisée enregistrée le 1^{er} juillet 2004 à 16h27mn52s à St Florent montre un pic fondamental à 12 Hz plus faible de 6 dB avec le premier pic fréquentiel remarquable à 246 Hz, provenant du mouvement de l'hélice. A partir de 2 kHz, les amplitudes fréquentielles sont de -15 dB inférieure à l'amplitude maximale. Le son généré par le moteur va ainsi en décroissant lorsque la fréquence augmente. La figure 4 montre le spectrogramme, caractéristique de ce signal présentant cette enveloppe.

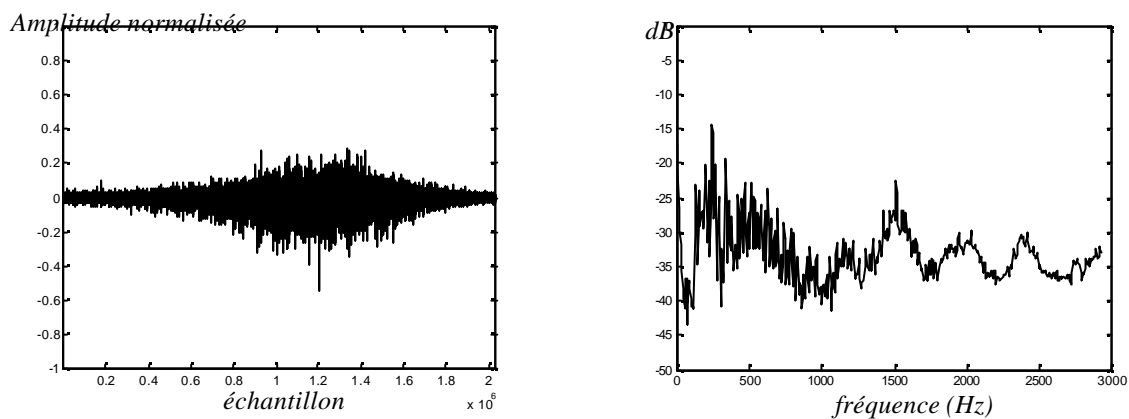


Figure 3 : son d'un bateau motorisé passant à proximité de l'hydrophone

Tableau 3 : fréquence (Hz) des pics et perte relative en dB

Hz	dB
11.72	-20.87
246.1	-14.22
340	-19.42
476	-22.87
633	-23.81
1512	-22.46
2033	-29.60

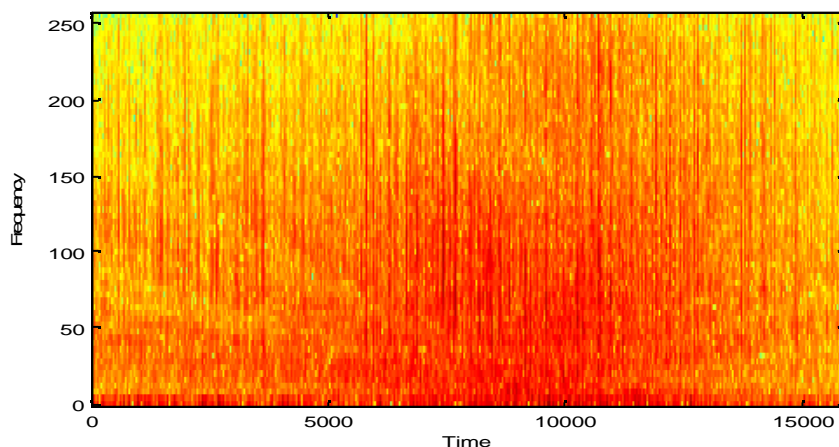


Figure 4 : spectrogramme

Exemple 2.

A l'opposé de l'exemple précédent, nous pouvons voir ici un spectre correspondant davantage à un moteur diesel, c'est-à-dire tournant à bas régime et dont le bruit génère une amplitude relative plus importante à très basse fréquence (5 Hz). Ensuite, les amplitudes décroissent : les bruits générés par l'hélice et les harmoniques sont 12 à 29 dB plus faible. Il s'agit d'un extrait de l'enregistrement du St Florent, effectué le 1^{er} juillet 2004 à 09h04mn14s.

Enfin, on notera que dans cet exemple, le gain aurait pu permettre de mieux exploiter la dynamique de la carte d'acquisition : les valeurs du signal enregistré sont très faibles. L'amplitude relative max est inférieure à 0.03, à comparer avec le +1/-1 des fichiers .wav.

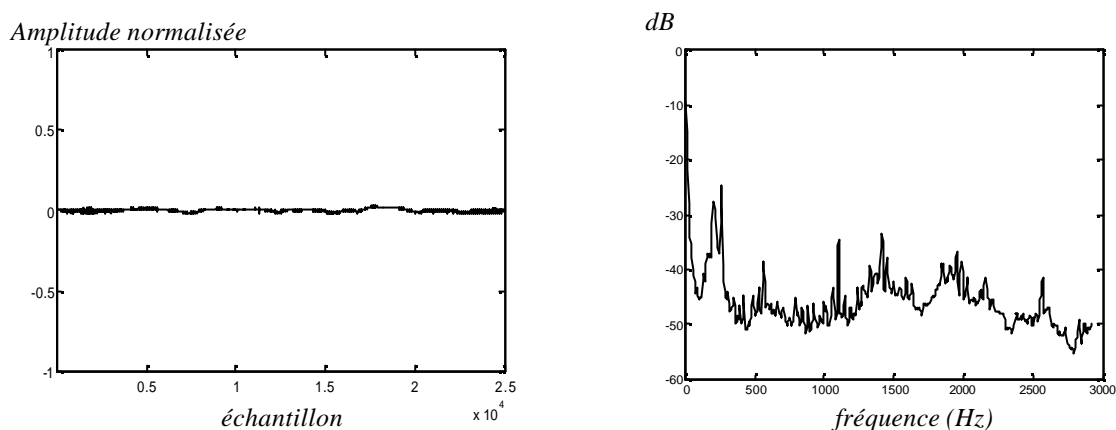


Figure 5 : son d'un bateau motorisé passant à proximité de l'hydrophone

Tableau 4 : fréquence (Hz) des pics et perte relative en dB

Hz	dB
5	-9.5
18	-21.7
200	-28.22
270	-28.5
562	-38.6
1107	-34.47
1412	-33.39
1950	-37

Même remarque pour l'exemple présenté en figure 6. On notera toutefois 2 pics très proches à 1441 Hz (-21 dB) et 1482 Hz (-20.4 dB). Il pourrait être intéressant de voir si cette caractéristique pourrait être utilisé favorablement pour définir la signature acoustique de cette embarcation.

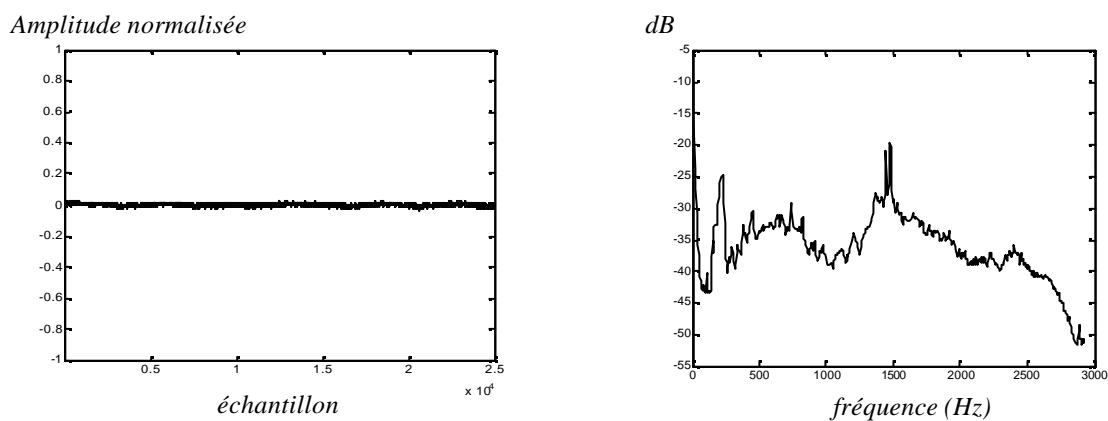


Figure 6 : son d'un bateau motorisé passant à proximité de l'hydrophone

L'exemple suivant montre également un bateau ayant un moteur à bas régime (type diesel). Par contre, dans ce cas, le signal est saturé traduisant l'utilisation d'un gain trop important (figure 7). Nous avons extrait le spectre dans la partie avant saturation. On retrouve une fondamentale très basse fréquence et un spectre de même allure que les précédents.

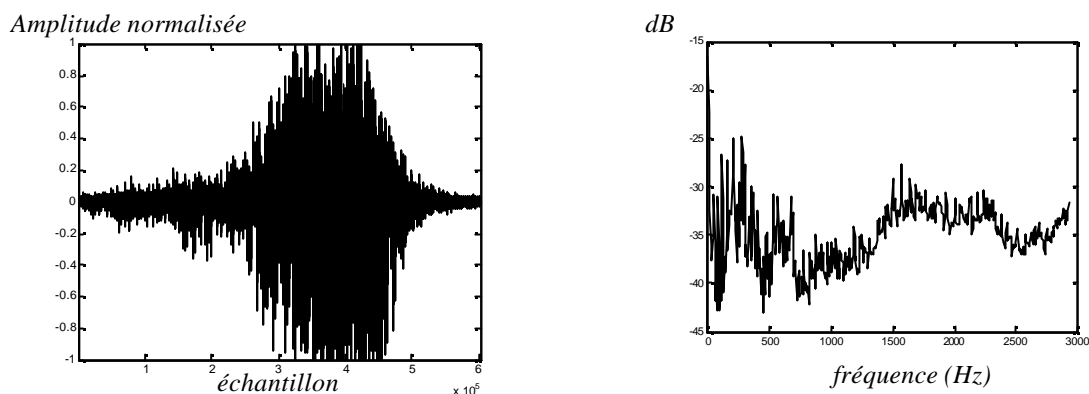


Figure 7 : son d'un bateau motorisé passant à proximité de l'hydrophone

Tableau 5 : fréquence (Hz) des pics et perte relative en dB

Hz	dB
5	-16.6
17	-28.5
53	-30.8
123	-26.6
158	-27.2
281	-24.8
1570	-27.7

3.3 Sons de bateaux motorisés et de cétacés

Il est courant de classer les sons émis par les cétacés dans 3 catégories : les clics (*clicks*), les sifflements (*whistles*), les appels (*calls*). Dans les enregistrements, on distingue des clics. La majorité des fichiers contiennent des sons émis par des cétacés mélangés à des bruits d'embarcations motorisés. Par exemple, c'est le cas des premiers fichiers enregistrés au St Florent le 23 juillet 2004, à partir de 9h29mn. Ainsi, sur l'enregistrement de 9h43mn, on retrouve les composantes basses fréquences propres à un bateau à moteur et la présence de pics à plus haute fréquence, comme à 18 kHz caractéristique de la présence de clics (figure 8). Ceux-ci plus facilement visible sur le spectrogramme (figure 9).

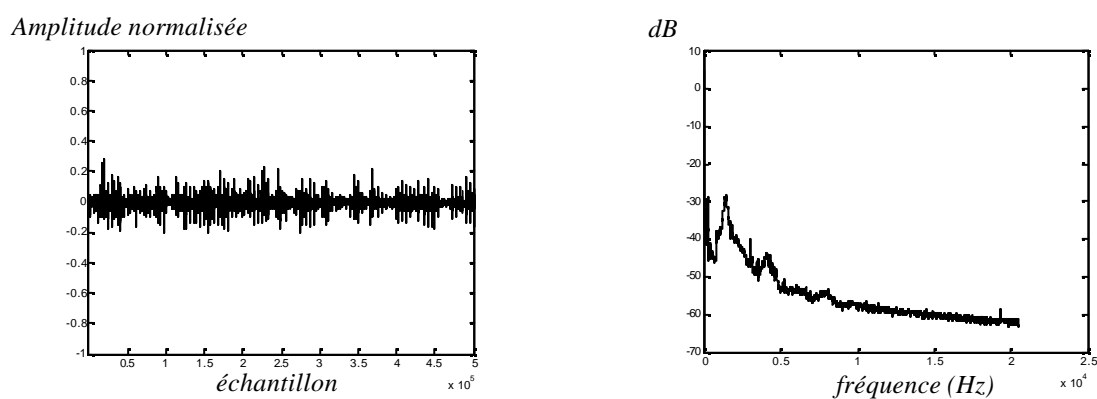


Figure 8 : sons de cétacés et de bateau motorisé à proximité de l'hydrophone

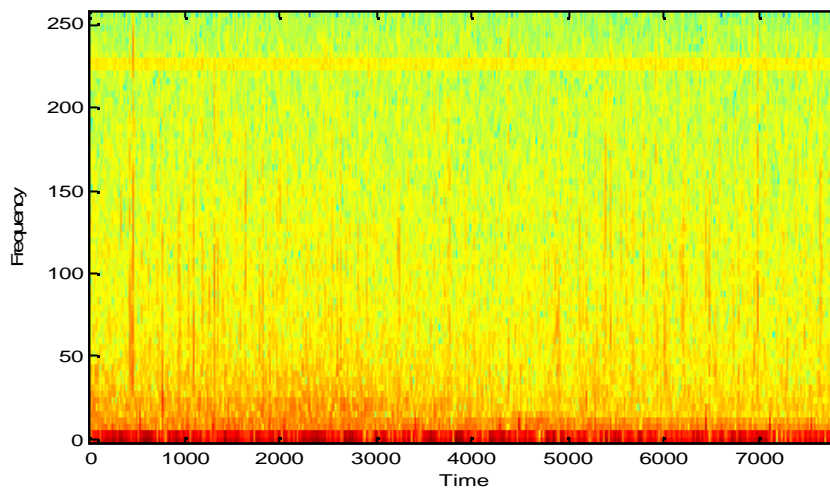


Figure 9 : spectrogramme

4. Recommandations

4.1 Une chaîne d'acquisition adaptée

L'objectif de cette étude est de caractériser le niveau de bruit généré par l'activité humaine. Il s'agit donc de mesurer les pressions acoustiques, notamment lors de passage d'embarcations motorisées. Pour cela et puisqu'il ne s'agit pas de faire de la localisation, l'utilisation d'un seul hydrophone suffit. La chaîne complète (fig. 10) sera donc constituée par

- un hydrophone avec son préampli
- un câble
- un filtre passe-bas permettant d'éviter le repliement de spectre
- une carte d'acquisition (CAN : convertisseur analogique numérique)
- un ordinateur pour l'enregistrement des données sur le disque dur

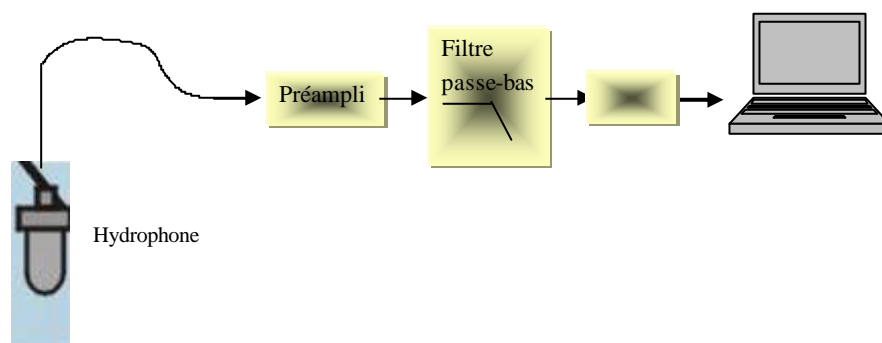


Figure 10 : chaîne d'acquisition

On détermine les caractéristiques de cette chaîne d'acquisition à partir de celles des sons que l'on souhaite enregistrer. Dans la présente étude, il s'agit de bruits générés par des bateaux, donc de très basses fréquences. On privilégiera des hydrophones de bande passante commençant à quelques hertz.

Concernant la longueur du câble, cela dépend de la profondeur de la zone maritime que l'on souhaite observer. Idéalement, il faut privilégier la position de l'hydrophone dans le Canal SOFAR (entre 30 et

60m en Méditerranée). Pour des eaux peu profondes, on placera l'hydrophone au maximum à la moitié de la profondeur.

Le filtre passe-bas permet de couper toutes les fréquences supérieures à la moitié de la fréquence d'échantillonnage. En pratique et pour prendre en compte la pente du filtre, on aura tendance à choisir un filtre ayant pour bande passante $[0 ; 0.45f_e]$, où f_e est la fréquence d'échantillonnage.

Le convertisseur analogique-numérique permet de convertir le signal analogique en provenance de l'hydrophone en un signal numérique. Ces cartes d'acquisition ont plusieurs caractéristiques, notamment le nombre de bits pour le codage et la fréquence d'échantillonnage. Pour l'application visée, une carte audio peut être suffisante, c'est-à-dire ayant recours à un codage sur 16 bits et avec une fréquence d'échantillonnage de 44.1 kHz. Ceci dit, il est important de vérifier qu'elle permet de sauvegarder la pression acoustique et non un codage audio spécifique.

Exemple de chaînes d'acquisition :

Configuration 1.

Hydrophone GP0280	
Cable 50m	
Carte Edirol UA25	
Fournitures	
Frais de port	
	Total <u>6 650,00 €</u>

Devis obtenu chez Colmar Italia (juillet 2007) – www.colmaritalia.it

Contactez Luigi Barbagelata, CO.L.MAR. Srl, (39) 0187 98 25 90, colmar@colmaritalia.it, www.colmaritalia.it

Configuration 2.

Hydrophone Reson TC4042	2 860,00 €
Cable 50m	1 545,00 €
Carte acqui Pico 20 bits USB ADC	300,00 €
Fournitures	350,00 €
Frais de port	145,00 €
	Total <u>5 200,00 €</u>
	Total TTC 6 219,20 €

Devis obtenu chez Mesuris (juillet 2007) – www.mesuris.com

Contactez Alain Mouquet, 0299234202, amt@mesuris.com, www.mesuris.com

Remarques

- Dans cette dernière configuration, une sortie audio n'est pas prévue. Il est donc nécessaire soit de simplement s'assurer qu'il n'y a pas de saturation à l'enregistrement, soit de rajouter un hydrophone supplémentaire avec une sortie via un casque. Ceci dit, il est assuré que la pression acoustique est clairement sauvegardé sur le disque dur.
- Il est nécessaire de rajouter le prix d'un ordinateur portable avec éventuellement l'achat d'une batterie supplémentaire longue durée – on peut trouver une configuration convenable pour 1200 euros.



Figure 11 : hydrophone immergé à partir d'un bateau
 a. bateau à l'arrêt
 b. utilisation d'un élastique pour amortir les mouvements du bateau

Si la zone marine où les enregistrements doivent être effectués est connue à l'avance, et si la période des enregistrements est limitée dans le temps (par exemple pendant un mois ou deux), un autre scénario est envisageable : le recours à des popups.

Les Popups

Il s'agit de déposer un système complet d'enregistrement sur le fond marin pendant la période désirée. Ensuite, il s'agit de récupérer cet instrument pour aller dépouiller les données enregistrées. L'avantage, par rapport à précédemment, est que les enregistrements sont continus jour et nuit, quelque soit les conditions météorologiques, qu'il n'y a pas besoin de sorties en mer (économie des bateaux et des personnels à bord). L'inconvénient est que le traitement des données se fait *a posteriori*.

Plusieurs Popups peuvent être utilisés.

Configuration 3.

Le module Ocean Bottom Seismometer permet des enregistrements à une fréquence d'échantillonnage de 250 Hz. Cela est suffisant pour votre application (le bruit des bateaux étant très basse fréquence).

OBS	1 800,00 €
<i>Devis obtenu à l'Institut du Globe de Paris (juillet 2007) – www.ipgp.jussieu.fr</i>	

Il s'agit du prix par OBS et par mois. Il est possible d'en déposer plusieurs dans une même zone maritime afin de faire une triangulation si par exemple la localisation des bateaux était un objectif. Attention, il faut rajouter le prix pour le dépôt et la relève de ces instruments. Cela peut-être assuré par le loueur et le prix dépend évidemment du lieu où l'OBS va être déployé.

Il est possible de contacter Laurent Beguery, 01 45 11 41 43, beguery@ipgp.jussieu.fr pour plus d'information.

L'observatoire de Villefranche a également ce genre d'instrument et il est possible qu'il soit favorable à les louer. Contacter Nicole Béthoux, 04 93 76 37 48, nbethoux@obs-vlfr.fr

Configuration 4.

Dans la communauté bioacoustique, plusieurs équipes de recherche ont recours aux popups diffusés par le laboratoire d'ornithologie de l'université de Cornell. Ces instruments permettent des enregistrements à 2 kHz et peuvent être laissés en mer pendant un an.

Un ordre de grandeur du prix à la location pourrait être de 5000 euros mais il est nécessaire de contacter le laboratoire car il semble que les prix dépendent de l'institut qui loue (prix différent pour des laboratoires d'université et des organisations privées).

Contactez le laboratoire au (1) 607-254-2408

Toute information sur <http://www.birds.cornell.edu/brp/hardware/pop-ups>

Configuration 5.

Au Canada, une entreprise construit des popups. Il s'agit de Multi Electronique. L'avantage est qu'il est possible de configurer exactement le matériel avec les caractéristiques souhaitées (fréquence d'échantillonnage, nombre de bits pour le codage, durée des enregistrements...).

AURAL 15 000,00 \$CA
Devis obtenu à Multi-Electronique (juillet 2007) – www.multi-electronique.com

Contactez Jacques St-Pierre, Multi-Électronique (MTE) Inc., multelec@globetrotter.net

4.2 Rayonnement dû à l'alimentation électrique

Les matériels électriques sont sensibles au rayonnement alternatif (50Hz). Il convient d'utiliser des batteries tant pour le PC que pour l'alimentation du matériel d'acquisition, hydrophone compris. On notera que les batteries des PC portables permettent maintenant des autonomies de plus de 4h. Il est donc possible via l'achat d'une batterie supplémentaire d'effectuer des enregistrements en continue, la charge d'une batterie se faisant pendant l'utilisation de l'autre.

4.3 Enregistrement par ordinateur

Les enregistrements acoustiques nécessitent de suivre un protocole d'acquisition afin d'assurer l'analyse des signaux et leur exploitation *a posteriori*.

a. Programme d'enregistrement

Si une carte d'acquisition spécifique est utilisée (voir paragraphe précédent), il convient de prendre le software d'accompagnement, distribué par le constructeur de la carte. Si, au contraire, la carte d'acquisition est la carte audio interne au PC, on choisira le logiciel *Magnetophone* fourni par défaut avec Microsoft Windows XP. On peut toutefois installer *Audacity*, plus ergonomique et qui offre quelques outils supplémentaires tant sur la configuration que lors de l'acquisition.

Pour cela, il faut télécharger ce logiciel gratuit sur

<http://audacity.sourceforge.net/>

la version 1.2.6 est suffisante.

b. Utiliser un casque audio haute-fidélité

Plutôt que des haut-parleurs externes ou des oreillettes genre walkman, il est préférable de choisir un casque audio équipé d'oreillettes qui entoure bien les oreilles. Cela permet d'isoler le conduit auditif des bruits extérieurs (notamment des bruits en provenance du pont du bateau, de l'eau sur la coque voire du vent. Attention, ces casques sont souvent orientés home-cinéma ou chaîne hifi et donc sont

vendus avec un câble muni d'un jack classique. Il faut donc acheter un convertisseur jack / mini-jack. Cet adaptateur coûte environ 2 euros à la Fnac.

c. Configuration de l'ordinateur avant le début des enregistrements.

Il faut aller dans le menu "Panneau de configuration" de Windows, rubrique "option d'alimentation" puis mettre "jamais" dans tous les champs : extinction du moniteur, arrêt des disques durs, mise en veille, mise en veille prolongée.

Cela évitera la mise en veille intempestive totale ou partielle de l'ordinateur lors du déroulement des enregistrements.

d. Dans le cas d'utilisation de la carte audio interne au PC, configuration de la carte son de l'ordinateur.

Il convient de valider l'accès au microphone pour autoriser les enregistrements via la carte interne de l'ordinateur. Pour cela, sous Windows, il faut aller dans le "panneau de configuration", rubrique "Sons et périphériques".

Puis, dans "Volume", allez dans "Paramètres avancés" pour avoir accès à tous les contrôles de volume. Il faut cocher tous les item "muet" sauf celui pour le microphone et "contrôle du volume".

Attention : il est difficile d'utiliser en même temps le microphone et les hauts-parleurs, à cause d'un larsen immédiat. Cela est évité lors de l'utilisation d'un casque audio. S'il n'y a pas de casque audio, il est nécessaire de désactiver la sortie audio (via "contrôle du volume") pour éviter cet effet larsen.

4.4 Protocole d'enregistrement

Lors d'un enregistrement, il ne faut pas que l'amplitude du signal soit trop faible (c'est-à-dire proche de 0) ou saturé (c'est-à-dire borné en haut et/ou en bas). On dit qu'il faut conditionner correctement le signal.

Reste que pour les animaux sauvages, cette étape est délicate car il est difficile de prédire à quelle intensité ils vont émettre leurs sons. Du coup, il faut prévoir une phase de réglage en début d'acquisition, pendant laquelle on cherche le meilleur compromis pour le réglage du gain. Il en est de même pour l'enregistrement de bateau motorisé, le niveau acoustique dépendant du type de bateau, de leur puissance et de leur distance par rapport à l'hydrophone.

Attention, il est important de bien noter la valeur du gain de la chaîne d'acquisition pour pouvoir accéder ensuite aux pressions acoustiques.

De plus, le gain doit être constant pendant toute la période d'enregistrement. Si à un moment, il s'avère nécessaire de modifier la valeur de ce gain (par exemple parce que le signal est systématiquement saturé), il convient de stopper l'enregistrement en cours, de changer la valeur du gain, de la préciser sur un relevé de notes avec l'heure précise et de relancer l'acquisition.

4.5 Tenue d'un relevé de notes

Couramment, lors de sorties en mer, les observateurs se munissent de relevés de notes dans lesquels ils précisent un certain nombre d'informations, comme les positions GPS, les conditions météo, la présence de bateau à proximité, d'animaux... Il convient de rajouter un tableau dédié aux enregistrements acoustiques. On précisera notamment les noms des fichiers, la date (jour, heure, minute) de début d'enregistrement. Le mieux est de choisir un nom de fichier non-ambigu, c'est-à-dire contenant les coordonnées GPS, l'année, le jour, l'heure, les minutes, le nom de l'hydrophone. On pourra également faire quelques observations comme le descriptif de ce que l'on entend via le casque audio, afin de faciliter ensuite les recherches de séquences particulières lors de l'analyse des signaux *a posteriori*. On indiquera par exemple les instants de silence (enregistrement du bruit ambiant uniquement), les bruits de bateaux, les sons des mammifères marins (clicks, sifflements, appels).

5. Conclusion

Ce rapport final rend compte du contenu de la base de données qui a été mis à notre disposition.

Les fichiers présentent des enregistrements contenant des sons émis par des cétacés ainsi que des bruits de moteur de bateaux évoluant à proximité de l'hydrophone.

Une première étude quantitative permet d'appréhender le temps total des enregistrements, le nombre de fichiers contenant des bruits de moteurs.

Dans un deuxième temps, une étude plus fine des spectres fréquentiels permet de caractériser les fréquences générées par les bateaux (fondamentale et harmoniques) et les animaux (étalement spectral large bande caractérisant les clics).

Le recours à un modèle de propagation acoustique n'est pas fondamental dans la mesure où d'une part l'on s'intéresse à des embarcations motorisées évoluant à proximité des hydrophones (<1 km) et d'autre part, il ne s'agit pas de faire leur localisation. Ceci dit, si le projet futur est d'évaluer les pressions acoustiques réelles que ces bateaux engendrent, il conviendra alors d'en donner la distance pour faire des estimations de pression acoustique re 1 μ Pa à 1m.

Nous pouvons regretter plusieurs points.

Premièrement, la chaîne d'acquisition n'est pas caractérisée et les signaux sont normalisés. Il est donc vain de vouloir extraire la moindre puissance acoustique. On peut recommander de procéder à l'étalonnage complet de la chaîne d'acquisition avant son utilisation et à définir un protocole d'enregistrement fixant la profondeur de l'hydrophone, la durée de l'enregistrement, la dérive du bateau, les conditions météo, les observations visuelles de surface.

Deuxièmement, on sait que les animaux émettent des sons directifs. Il est donc important de préciser s'ils sont dans l'axe de l'hydrophone ou s'ils se déplacent en s'éloignant. Même si c'est de moindre mesure, on peut faire la même remarque pour les bateaux, notamment les bateaux de grande taille. Il a été montré que la puissance des sons fluctuait si l'hydrophone enregistrerait lorsque le bateau arrivait vers lui, ou lorsque le bateau évoluait de côté.

Troisièmement, nous avons juste un fichier intitulé `TraficScandola_04_05_06.xls` qui détaille le trafic maritime sur cette zone pour différents jours du mercredi 7 juillet 2004 et au 3 septembre 2006. Par rapport au contenu de la base de données, ce fichier ne nous est d'aucune utilité.

Enfin, deux points de détail pour finir :

Pourquoi nommer les fichiers avec des dates à la seconde près ? Cela ne semble pas être justifié.

D'autre part, il ne nous semble pas nécessaire d'utiliser une fréquence d'échantillonnage de 96 kHz pour caractériser les bruits générés par les bateaux, dans la mesure où ces sons sont limités aux basses fréquences.

Bibliographie

- Au, WW, Carder, DA, Penner, RH., and Scronce, BL. (1985), Demonstration of adaptation in beluga whale echolocation signals. *JASA*, 77:726-730.
- Carlstrom, J., Berggren, P., Dinnetz, F. & Borjesson, P. (2002) A field experiment using acoustic alarms (pingers) to reduce harbour porpoise by-catch in bottom-set gillnets. *ICES Journal of Marine Science*, 59: 816-824
- Chapman, D., and Ellis, D. (1998). Le décibel insaisissable: réflexions sur les sonars et les mammifères marins. *Canadian Acoustics*. 26(2): 29-31
- Fristrup, KM, Hatch, LT, and Clark, CW (2003) Variation in Humpback whale (*Megaptera novaengliae*) song length in relation to low-frequency sound broadcasts. *JASA*, 113:3411-3424
- Gearin et al. (1994). Experimental testing of acoustic alarms (pingers) to reduce by-catch of harbour porpoise, *Phocoena phocoena*, in the state of Washington. *Journal of Cetacean Research and Management*. 2, 1-10
- Kraus et al. (1997). Acoustic alarms reduce porpoise mortality. *Nature*. 388, 525
- Kraus (1999). The once and future ping: challenges for the use of acoustic deterrents in fisheries. *Mar. Tech. Soc. J.* 33(2), 90-93
- Leeney, RH., Berrow, S., McGrath, D., O'Brien, J., Cosgrove, R. and Godley, B. (2007). Effects of pingers on the behaviour of bottlenose dolphins. *J. Mar. Biol. Ass. UK*. 87 :129-133
- Lesage, VC., Barette, M., Kingsley, CS. and Sjare, B. (1999) The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River Estuary. *Marine Mammal Science*, 15:65-84
- Lurton, X. (2002). *An Introduction to Underwater Acoustics. Principles and Applications*. Springer.
- Mann, Lu, Popper (1997). A clupeid fish can detect ultrasound. *Nature*. 389, 341
- Mazzuca, LL. (2001). Potential effects of low frequency sound (LFS) from commercial vessels on large whales. Master of Marine Affairs, University of Washington, 70pp
- Miller, PJ, Biassoni, N, Samuels, A. and Tyack, PL. (2000) Whale songs lengthen in response to sonar. *Nature*, 405:903
- Nachtigall, P.E., Supin, A.Ya. Pawloski, J. L and Au, W.W.L. (2004) Temporary threshold shifts after noise exposure in a bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*) measured using evoked auditory potentials. *Marine Mammal Science*, 20(4), 673-68
- Nieukirk, SL., Stafford, KM., Mellinger, DK, Dziak, RP., and Fox, CG (2004). Low-frequency whale and seismic airgun sounds recorded in the mid-Atlantic Ocean. *JASA*. 115:1832-1843
- Rendell, L. and Gordon, JCD. (1999) Vocal response of long-finned pilot whale s (*Globicephala melas*) to military sonar in the Ligurian Sea. *Marine Mammal Science*, 15:198-204
- Ross, DG (1993). On ocean underwater ambient noise. *Acoustics Bulletin* Jan/Feb: 5-8
- Rossi & al (2003). Quantification des attaques des dauphins sur les filets de pêche munis de balises acoustiques de type AquaMark 200 dans les Prud'homie de Balagne. Actes de la 12e conférence internationale sur les cétacés de méditerranée.
- Supin, A. Ya., Nachtigall, P.E., Au, W.W.L, and Breese, M. (2005) Invariance of echo-responses to target strength and distance in an echolocating false killer whale: evoked potential study. *Journal of the Acoustical Society of America*, 117(6), 3928-3935
- Trippel et al. (1999). Mitigation of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) by-catch in the gillnet fishery in the lower Bay of Fundy. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 56, 113-123
- Wilson and Dill (2002). Pacific herring respond to simulated odontocete echolocation sounds. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59, 542-553

Annexes

Annexe 1 : durée des fichiers de la base de données

Nom de fichiers	Durée
Scandola	
Wav 20040629 125331	01:08
Wav 20040629 125511	09:09
Wav 20040629 142200	05:30
Wav 20040629 143005	01:10
Wav 20040629 143318	00:38
Wav 20040629 143734	00:57
Wav 20040629 144119	01:43
Wav 20040629 145152	01:44
Wav 20040629 145542	02:22
Wav 20040629 150955	02:08
Wav 20040629 151545	00:30
Wav 20040629 152525	01:10

Temps total Scandola 28min09s

st florent 01-07-2004

Wav 20040701 090414	15:18
Wav 20040701 100822	17:49
Wav 20040701 111219	18:17
Wav 20040701 142848	15:26
Wav 20040701 153714	14:28
Wav 20040701 164349	16:15
Wav 20040701 091940	14:53
Wav 20040701 102353	14:57
Wav 20040701 112654	15:52
Wav 20040701 152210	15:41
Wav 20040701 162752	08:24

Temps Total st florent 01-07-2004 2h47min20s

st florent 23-07-2004

Wav 20040723 092947	06:44
Wav 20040723 093642	06:42
Wav 20040723 094327	06:39
Wav 20040723 095014	05:25
Wav 20040723 095554	08:03
Wav 20040723 100401	05:32
Wav 20040723 100933	05:17
Wav 20040723 101547	06:07
Wav 20040723 102158	07:49
Wav 20040723 155853	01:15

Wav	20040723	160309	06:27
Wav	20040723	160940	05:36
Wav	20040723	161519	06:48
Wav	20040723	162213	04:44
Wav	20040723	162702	06:42
Wav	20040723	163351	06:46
Wav	20040723	164043	06:38
Wav	20040723	164729	08:50

Temps total st florent 23-07-2004 1h51min54s

st florent 39-06-2004

Wav	20040630	090603	01:17
Wav	20040630	090832	01:36
Wav	20040630	091147	01:39
Wav	20040630	092902	07:17
Wav	20040630	095108	17:56
Wav	20040630	103901	15:29
Wav	20040630	105452	14:07
Wav	20040630	142843	15:07
Wav	20040630	144401	05:39
Wav	20040630	152845	14:38
Wav	20040630	154331	15:11
Wav	20040630	162434	00:05
Wav	20040630	162850	14:54
Wav	20040630	164350	16:02

Temps Total st florent 39-06-2004 2h20min57s

st. florent 22-07-2004

Wav	20040722	093304	00:02
Wav	20040722	093830	05:25
Wav	20040722	095007	04:44
Wav	20040722	104454	04:21
Wav	20040722	105511	04:39
Wav	20040722	110557	07:34
Wav	20040722	160520	04:56
Wav	20040722	161732	06:56
Wav	20040722	163257	06:11
Wav	20040722	164801	05:36
Wav	20040722	093340	04:46
Wav	20040722	094406	05:53
Wav	20040722	095517	06:02
Wav	20040722	104928	05:28
Wav	20040722	105959	05:51
Wav	20040722	160113	03:59
Wav	20040722	161023	07:00
Wav	20040722	162437	08:12
Wav	20040722	163915	06:31
Wav	20040722	165341	04:38

Temps total st. florent 22-07-2004 1h48min44s

Temps Total base de données

9h17min14s

Annexe 2 : fichiers présentant des signaux saturés

St-Florent(22/07/04)

Wav 20040722 095517.wav

Wav 20040722 104454.wav

Wav 20040722 162437.wav

Total St-Florent(22/07/04) 3 fichiers

St-Florent(23/07/04)

Wav 20040723 093642.wav

Wav 20040723 160309.wav

Wav 20040723 162213.wav

Wav 20040723 163351.wav

Total St-Florent(23/07/04) 4 fichiers

Total Fichiers saturés 16 Fichiers soit 21,33% des fichiers

Annexe 3 : présence d'un bruit de moteur

Zone	Date	Fichier	Distinction d'un moteur de bateau
Scandola	29-06-2004	12h53mn31s 12h55mn11s 14h22mn00s 14h30mn05s 14h33mn18s 14h37mn34s 14h41mn19s 14h51mn52s 14h55mn42s 15h09mn55s 15h15mn45s 15h25mn25s	Pas de bateaux de 12h58mn25s à 12h58mn34s de 14h22mn48s à 14h27mn29s de 14h30mn15s à 14h31mn14s de 14h33mn21s à 14h33mn55s de 14h37mn34s à 14h37mn51s de 14h38mn13s à 14h38mn30s de 14h41mn29s à 14h42mn50s de 14h51mn52s à 14h52mn30s de 14h52mn48s à 14h53mn31s de 14h55mn42s à 14h58mn04s de 15h09mn55s à 15h10mn15s de 15h10mn43s à 15h10mn55s de 15h11mn31s à 15h11mn45s de 15h15mn45s à 15h16mn03s de 15h25mn29s à 15h26mn34s
St Florent	29-06-2004	9h06mn03s 9h08mn32s 9h11mn47s 9h29mn02s 9h51mn08s	de 9h06mn03s à 9h07mn19s de 9h08mn32s à 9h10mn07s de 9h11mn54s à 9h13mn06s de 9h29mn32s à 9h32mn14s de 9h34mn14s à 9h36mn19s de 9h56mn24s à 10h04mn59s
St Florent	01-07-2004	9h04mn14s 9h19mn40s 10h08mn22s 10h23mn53s 10h39mn01s 11h12mn19s 11h26mn54s 14h28mn48s 15h22mn10s 15h37mn14s 16h27mn52s 16h43mn49s	de 9h04mn31s à 9h08mn56s de 9h10mn30s à 9h11mn07s de 9h12mn31s à 9h15mn32s de 9h19mn40s à 9h20mn14s de 9h21mn11s à 9h26mn37s de 9h27mn57s à 9h29mn22s de 9h30mn35s à 9h33mn09s de 9h33mn25s à 9h35mn11s de 9h36mn03s à 9h37mn57s de 10h11mn00s à 10h12mn32s de 10h17mn00s à 10h20mn25s de 10h24mn00s à 10h25mn07s de 10h27mn23s à 10h29mn34s de 10h39mn01s à 10h41mn22s de 10h42mn22s à 10h43mn37s de 10h44mn35s à 10h46mn39s de 10h47mn21s à 10h51mn50s de 11h12mn19s à 11h15mn44s de 11h15mn46s à 11h26mn47s de 11h26mn54s à 11h27mn33s de 11h27mn57s à 11h43mn09s Pas de bateau de 15h29mn15s à 15h31mn03s de 15h31mn33s à 15h37mn03s de 15h37mn14s à 15h45mn54s de 15h47mn38s à 15h52mn10s de 16h27mn52s à 16h43mn44s de 16h43mn49s à 17h01mn38s
St Florent	22-07-2004		
St Florent	23-07-2004		