

Analyse des enregistrements acoustiques 2010 - 2011



Crédits : J. Detcherry, SPM Frag'iles

Contact : Olivier ADAM, olivier.adam@u-psud.fr, +33 620 744 607
Centre de Neurosciences Paris Sud, CNPS-CNRS UMR 8195, Université Paris Sud Orsay, 91405 Orsay

Contenu

1. INTRODUCTION.....	3
2. ENREGISTREMENTS ACOUSTIQUES	4
2.1. Matériel d'enregistrements acoustiques.....	4
2.1.1 Motivation du choix de ce matériel	4
2.1.2 Les caractéristiques principales de l'AURAL-M2	6
2.2. Déploiements.....	7
2.3. La base de données.....	8
2.3.1 En 2010	9
2.3.2 En 2011	12
3. LES RESULTATS	16
3.1. Niveau sonore ambiant	18
3.1.1 En 2010	22
3.1.2 En 2011	25
3.2. Les bruits.....	29
3.2.1 Le trafic maritime	29
3.2.2 La pluie	30
3.2.3 Bruit interne	30
3.3. Sons de cétacés détectés	30
3.3.1 Les odontocètes	31
3.3.2 Les mysticètes	37
4. DISCUSSION.....	43
4.1.1 La base de données	43
4.1.2 Les effets de masquage	44
5. RECOMMANDATIONS.....	45
6. CONCLUSION	46
7. REFERENCES.....	46
8. REMERCIEMENTS.....	47
9. ANNEXES.....	47
9.1. Présence de bateaux motorisés.....	47
9.2. La pluie.....	52
9.3. Emissions sonores de cachalots.....	55
9.4. Emissions sonores de mysticètes.....	56

1. INTRODUCTION

L'une des missions de l'association SPM Frag'îles est de contribuer aux suivis des différentes populations de cétacés évoluant autour de l'archipel de St Pierre-et-Miquelon. Actuellement, les observations visuelles ont permis de recenser 16 espèces, 5 espèces de mysticètes et 11 d'odontocètes (tab. 1).

Tableau 1 : espèces de cétacés
fréquentant l'archipel de St Pierre-et-Miquelon

Mysticètes
Petit rorqual
Rorqual commun
Baleine bleue
Baleine à bosse
Rorqual boréal
Odontocètes
Cachalot
Beluga
Globicephale noir
Orque
Marsouin
Dauphin à bec blancs
Dauphin à flancs blancs
Dauphin bleu et blanc
Dauphin commun
Cachalot pygmée
Baleine à bec

Pour observer les cétacés, il est possible d'avoir recours à différentes méthodes, complémentaires :

- observations visuelles : les photographies permettent d'identifier les différentes espèces ainsi que les individus. L'association SPM Frag'îles a maintenant une base de données conséquente qui leur permet notamment de tracer la fréquentation récurrente de mêmes individus. L'association est également engagée dans des programmes de consultation de catalogues, permettant ainsi de faire des matches dans d'autres régions de l'océan Atlantique. C'est le cas en particulier pour les baleines à bosse, les baleines bleues et les orques.
- Etude génétique : l'association prélève des échantillons de peau-lard de mysticètes pour 2 objectifs principaux. Le premier permet d'identifier l'individu (espèce, sexe, lien d'affiliation), le 2^e vise à caractériser le degré d'ouverture des populations. Ainsi, les échantillons sont transmis à l'équipe de recherche BioGemme (Université de Brest), spécialiste de la génétique des mammifères marins. Un de leurs axes de recherche porte sur la diversité génétique des baleines à bosse dans différentes régions du monde. La contribution de l'association SPM Frag'îles est donc particulièrement appréciée.

- Observations acoustiques : il s'agit de détecter la présence de cétacés à partir des sons qu'ils émettent. L'association a acheté 2 hydrophones autonomes. Ces outils sont déployés sur le fond marin et peuvent enregistrer en quasi-continu pendant plusieurs semaines. Ce rapport vise à donner les résultats issus des enregistrements réalisés en 2010 et 2011.

Comme suggéré par Southall *et al.* (2007), on peut classer les espèces de cétacés en fonction de la bande fréquentielle de leur audition, et des sons qu'ils émettent. On distingue ainsi 3 groupes : les "cétacés basse-fréquence" (LF-cetaceans) regroupant tous les mysticètes, les "cétacés moyenne-fréquence" (MF-cetaceans) regroupant pratiquement tous les odontocètes, les "cétacés haute-fréquence" (HF-cetaceans) regroupant les marsouins et odontocètes émettant des clics de fréquence principale supérieure à 160kHz.

Dans notre étude, tenant compte des caractéristiques technique des hydrophones (la fréquence d'échantillonnage limitant la bande d'intérêt à [0 ; 16 kHz]), on se focalisera sur les espèces de cétacés LF et MF. La détection de marsouins serait difficile, même si une partie énergétique de leurs émissions sonores se trouve dans la bande fréquentielle des hydrophones (ces marsouins doivent alors être très proches des stations d'écoute, par exemple lorsqu'ils viendraient buzzer les hydrophones).

Enfin, nous proposerons 3 bandes fréquentielles d'intérêt dans notre analyse.

2. ENREGISTREMENTS ACOUSTIQUES

L'utilisation de 1 ou plusieurs hydrophones permet de détecter des cétacés vocaux, de potentiellement pouvoir identifier l'espèce et d'éventuellement donner une estimation de la distance qui les sépare de ou des hydrophones. Cette distance dépend des intensités sonores et aux fréquences auxquelles sont émis les sons, aux pertes dues à la propagation acoustique (dépendant des caractéristiques de la colonne d'eau (bathymétrie, température, pression, salinité), et aux sensibilités de la chaîne d'acquisition.

L'association SPM Frag'îles a fait l'acquisition de 2 systèmes enregistreurs conçus par l'entreprise Multi-Electronique (www.multi-electronique.com, Quebec) type AURAL-M2 (Autonomous Underwater Recorder for Acoustic Listening, Model 2).

2.1. MATERIEL D'ENREGISTREMENTS ACOUSTIQUES

Les AURAL sont des enregistreurs numériques de signaux acoustiques, acquis à partir d'hydrophones embarqués.

2.1.1 MOTIVATION DU CHOIX DE CE MATERIEL

Il existe 2 méthodes pour observer acoustiquement des cétacés : les observations instantanées et les observations permanentes ou semi-permanentes.

- Les observations instantanées sont basées sur l'utilisation opportuniste d'hydrophones. Il s'agit de déployer un ou plusieurs hydrophones à partir d'une plateforme en mer et de procéder à des écoutes/enregistrements pendant une période allant de quelques minutes à plusieurs heures. Ces observations sont réalisées en complément d'observations visuelles (étude comportementale par exemple) ou en

alternative aux observations visuelles quand ces dernières sont limitées voire pas possible (observation à distance ou cétacés évoluant en profondeur).

- Les observations permanentes (ou semi-permanentes) sont basées sur le déploiement d'enregistreurs acoustiques à court, moyen ou long terme. L'objectif est d'acquérir des signaux en continu sur une certaine période allant de quelques minutes par jour à 24h/24 7j/7. Le matériel peut être stationnaire (fixé par une ancre par exemple) ou dérivant au gré des courants et des vents. Le matériel est tenu soit via une bouée en surface, soit via une bouée au fond. Ces 2 techniques présentent des avantages et des inconvénients chacune (tab. 2).

Tableau 2 : avantages et inconvénients des stations (semi-) permanentes

	Avantages	Inconvénients
Avec bouée en surface (fixée par ancre ou à la dérive)	Alimentation électrique (panneau solaire et/ou éolienne) Localisation GPS temps-réel Possibilité de contrôle de l'électronique embarquée Accès aux données par échange de disques externes et/ou clés USB ou par transmissions des données (Wifi ou HF)	Vent Vagues Courant de surface Risques dus aux activités humaines (vols, détérioration)
Avec bouée fixée sur le fond marin	Réduction voire pas d'effets des conditions météo Pas de problèmes avec les activités humaines (excepté le dragage)	Pas d'accès aux données à la demande (nécessite de sortir le matériel de l'eau) Durée limitée par la consommation électrique Taille limitée du stockage des données

Le choix de l'association SPM Frag-îles s'est porté sur un dispositif à déployer sur le fond marin pour au moins 2 raisons : d'une part, les conditions météo dans la zone d'intérêt incitent à ne pas disposer de matériel en surface, et d'autre part, l'accès temps réel aux données n'étaient pas une motivation de cette étude.

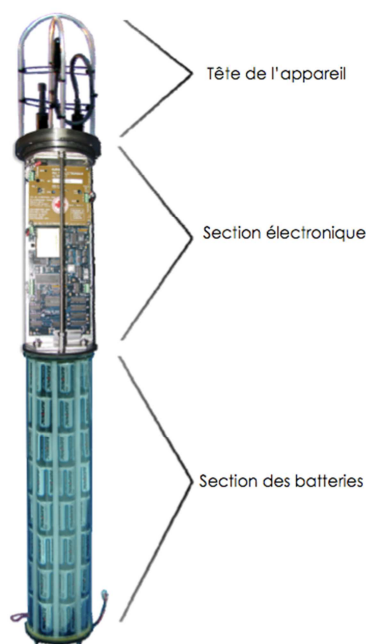


Figure 1 : présentation de l'AURAL-M2

2.1.2 LES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE L'AURAL-M2

L'AURAL-M2 est un enregistreur acoustique autonome (fig. 1). L'hydrophone unique est relié à une carte d'acquisition qui convertit les intensités acoustiques en données numériques, alors posées sur un disque dur. L'alimentation électrique est assurée par 128 piles placées dans le compartiment étanche.

Les caractéristiques principales de l'AURAL-M2 sont détaillées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Spécifications techniques de l'AURAL

Général	
Voltage d'alimentation	12VDC nominal (9VDC à 15VDC)
Profondeur testée	300 mètres
Température à l'utilisation	0 °C to 40 °C
Matériel du boîtier	Acier inoxydable 316, Delrin, Fibre de verre Epoxy
Matériel de l'anode	Zinc
Section Analogue	
A/D	16 Bits
Filtre	Passé bas à fréquence programmable du 8e ordre (Anti Aliasing)
Amplificateur	Amplificateur à bas niveau de bruit avec choix de gain de 16, 18, 20 et 22dB
Sonde de pression	0 à 1000 psi (0-682 m.) (résolution: 1,3 cm, affichage: 0,1 m, précision de +/- 0,25 % max)
Sonde de température	-10 °C à 40 °C (résolution: 0,0625 °C, affichage: 0,1m, précision de +/- 0,5°C)
Hydrophone	HTI-96-MIN
Plage de fréquence utilisée	10 à 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16384Hz
Section Digitale	
MCU	33 MIPS Dallas DS89C450 Microcontrôleur Flash à ultra haute vitesse
Capacité & Type de mémoire flash	Compact Flash 1 GB ou plus
Capacité du disque dur	2,5 inches pouces, 320 GB ou plus
Vitesse de transmission des données du disque dur	1.5 MB/Sec
Base de temps	Basse puissance 32,768 KHz TCXO avec +/- 2ppm d'exactitude
Communication	RS232 (38.4 Kbs, N, 8, 1)
Format du fichier système	FAT32
Format du fichier audio	WAV
Fréquence d'échantillonnage	256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192, 16 384, 32 768 échantillons/seconde

L'hydrophone utilisé pour l'AURAL-M2 est un HTI-96-MIN. Cet hydrophone a une sensibilité de -165dBV/μPA. Lors de son utilisation, il a été rajouté un gain de 22dB. La formule donnant l'intensité acoustique (en dB), à partir des intensités en V est :

$$\text{IntR} = \text{Vrec} - (-165) - 22 = 10\log_{10}(x^2) + 143 \text{ dB}$$

Ainsi, si le signal est saturé ($x=2V$), on aura en intensité max enregistré : 149dB. Autrement dit, un signal d'intensité supérieur à 149dB fera saturer l'hydrophone.

D'autre part, le constructeur indique qu'il faut tenir compte d'un bruit électronique qui masquera tous les sons d'intensité inférieure à 59 dB.

Ceci étant dit, on peut mettre cette valeur en perspective du bruit de mer. En effet, dans le milieu marin, il y a un bruit ambiant plancher fonction de l'état de la mer (Fig. 2). Cette valeur est appelée bruit de mer ou bruit du vent. La formule de Wenz donne $NL(f,v) = 51 - 5\log_2(f) + 5\log_2(v/5)$ avec NL le niveau de bruit en dB, v la vitesse du vent en nœud et f la fréquence en kHz. Autrement dit, doubler la fréquence diminue la valeur plancher de 5dB et doubler la vitesse du vent augmente le bruit de 5dB. Pour des conditions de mer et de vent parfaites (correspondant à une mer 0), on voit sur la figure 2, que le bruit ambiant minimum est alors de 45dB à 1kHz. Il ne sert donc à rien d'avoir un système acoustique qui permet d'enregistrer des intensités sonores inférieures à cette valeur.

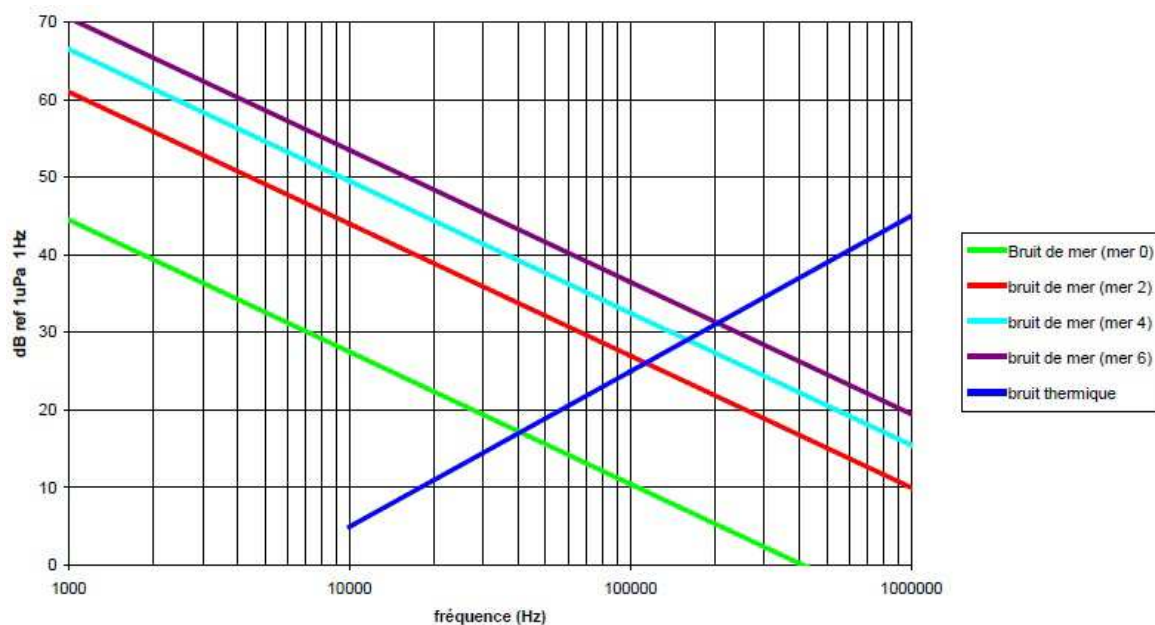


Figure 2 : intensité du bruit minimal en fonction de l'état de la mer (Bruit de mer)

2.2. DEPLOIEMENTS

Les 2 hydrophones AURAL ont été déployés quasiment aux mêmes endroits, au nord et au sud de l'archipel (fig.3) pendant 2 années consécutives. L'objectif était de faire un premier suivi des espèces de cétacés à partir des sons émis.

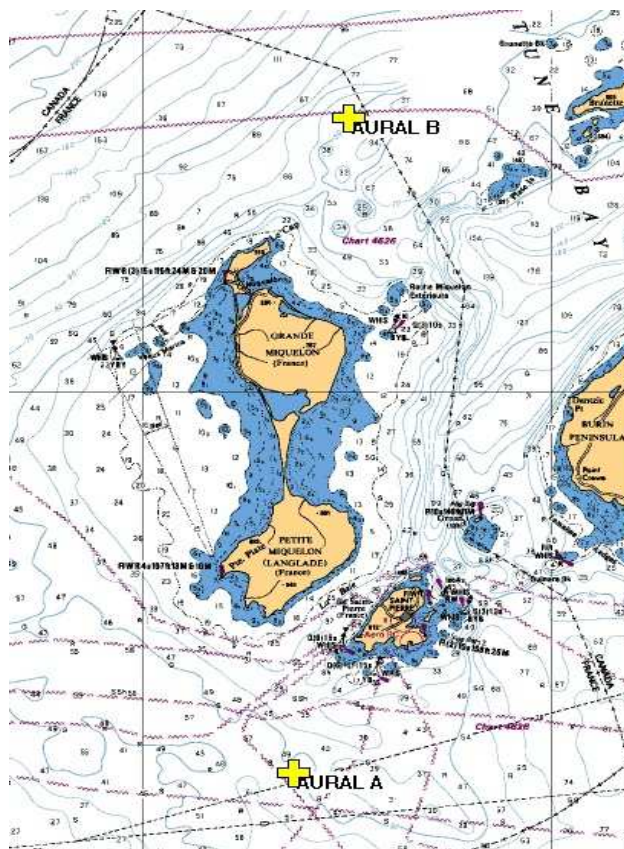


Figure 3 : position des hydrophones au nord et au sud de St Pierre et Miquelon

2.3. LA BASE DE DONNEES

La base de données correspond à 8509 fichiers par les 2 hydrophones au cours de 2 saisons d'enregistrements, ce qui correspond à, en cumulé, 353 jours d'observations acoustiques, soit 5158h d'enregistrements (non continus) (tab. 4).

Tableau 4 : bilan des enregistrements avec les 2 hydrophones en 2010 et en 2011

2010	Date du premier fichier	Date du dernier fichier	Durée d'enreg. / fichier	Nb total de fichiers	Nb total de jours	Nb d'heures cumulées
AURALA	19/8 à 17h	2/11 à 23h	45min	1807	75	1355h15min
AURALB	19/8 à 17h	2/11 à 23h	45min	1807	75	1355h15min
			sous-total	3614	150	2710h30min
2011						
AURALA	23/4 à 13h01	23/7 à 12h01 ¹	30min	2184	91	1092h
AURALB	25/4 à 20h	16/8 à 18h	30min	2711	112	1355h30min
			sous-total	4895	203	2447h30min
			Total	8509	353	5158h

¹¹ Il s'agit du dernier enregistrement exploitable, avant la remontée de l'hydrophone à la surface.

On notera que pour la 2^{ème} année, l'effort d'observation a porté sur plus de jours que pour 2010 (+35%), mais pour finalement un nombre d'heures légèrement moindre (-10%). Il va être intéressant de voir si ces choix impactent finalement les différentes observations d'espèces de cétacés.

2.3.1 EN 2010

En 2010, pour les 2 hydrophones, les enregistrements ont commencé le 19 août à 17h et ont fini le 2 novembre à 23h.

Les enregistrements se faisaient toutes les heures, pendant les 45 premières minutes. Il y a eu 1807 fichiers stockés sur l'hydrophone AURALA et autant sur l'hydrophone AURALB, pour un total de 150 jours, et en tout 2710h30min (non continu) (tab. 4).

- *Hydrophone au sud : AURAL A*

L'hydrophone est accroché au fond marin par une ancre et relié à une bouée qui le maintient à une certaine hauteur au-dessus du fond. L'hydrophone était à une profondeur moyenne de -60.5m (fig. 4). Les variations de profondeur autour de cette position moyenne peuvent s'expliquer par les mouvements de la colonne d'eau (courants marins, activités de surface) et par le poids de l'ensemble (chaîne/corde – AURAL – bouée) générant une certaine inertie dans les oscillations verticales et horizontales du matériel. On peut noter, sur la figure, une profondeur aberrante de -83.1m, enregistrée le 22 septembre 2010 entre 12h et 12h45. Il est probable que la chaîne/corde à laquelle l'hydrophone était attaché ait été accrochée par un outil de pêche et tirée (forçant l'hydrophone à descendre) avant d'être libérée, l'hydrophone remontant alors à sa position du fait de la poussée de la bouée.

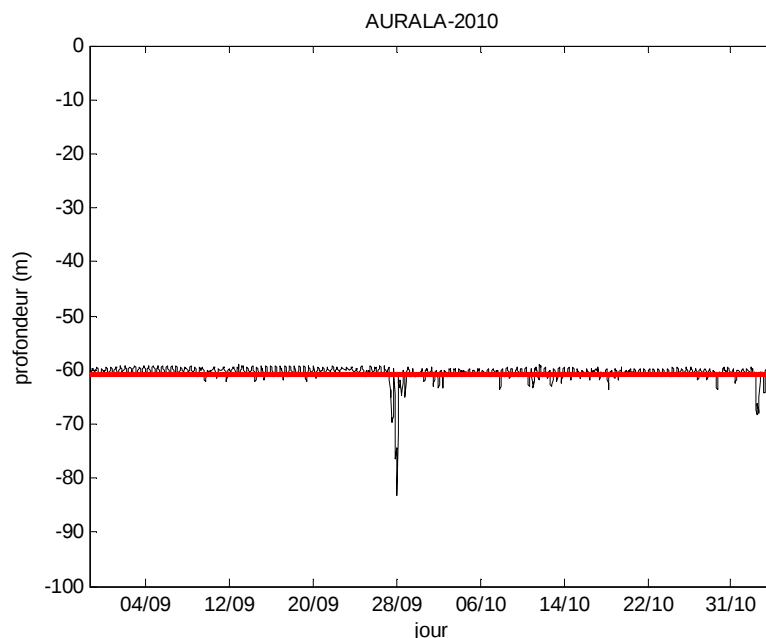


Figure 4 : profondeur de l'hydrophone AURAL A au cours de la période d'enregistrement

La température moyenne était de 2.1°C, avec un max de 8.4°C enregistré le 22 septembre entre 13h et 13h45 et un minimum de 0.6° enregistré le 15 oct entre 1h et 1h45 (fig. 5). Les variations de température sont dues à la profondeur, aux courants marins et à l'exposition

solaire. Toutefois, on peut s'interroger sur la valeur max qui semble un point particulier sur la figure 5. Il peut y avoir plusieurs hypothèses pour expliquer cette valeur, mais il faut rapprocher cette observation de la profondeur constatée le même jour où l'hydrophone a semble-t-il été bougé (fig. 4).

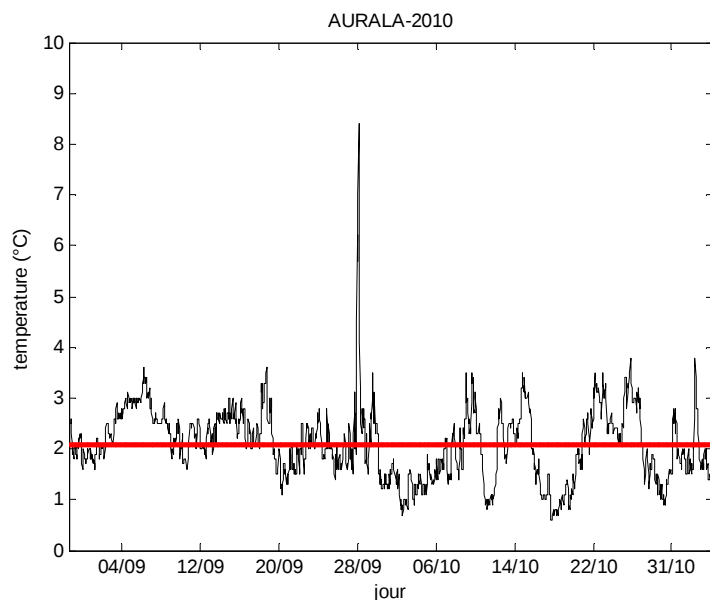


Figure 5 : température pendant la période d'enregistrement

La variation de la température par jour montre une température moyenne oscillante autour de 2.1°C (fig. 6). On peut noter que, à cette profondeur, la température est constante quelque soit l'heure du jour ou de la nuit. L'évolution de la température dépend uniquement du mois dans l'année, autrement dit de l'exposition au soleil par jour, avec une baisse sensible entre fin août et début novembre (de l'ordre de -1°C).

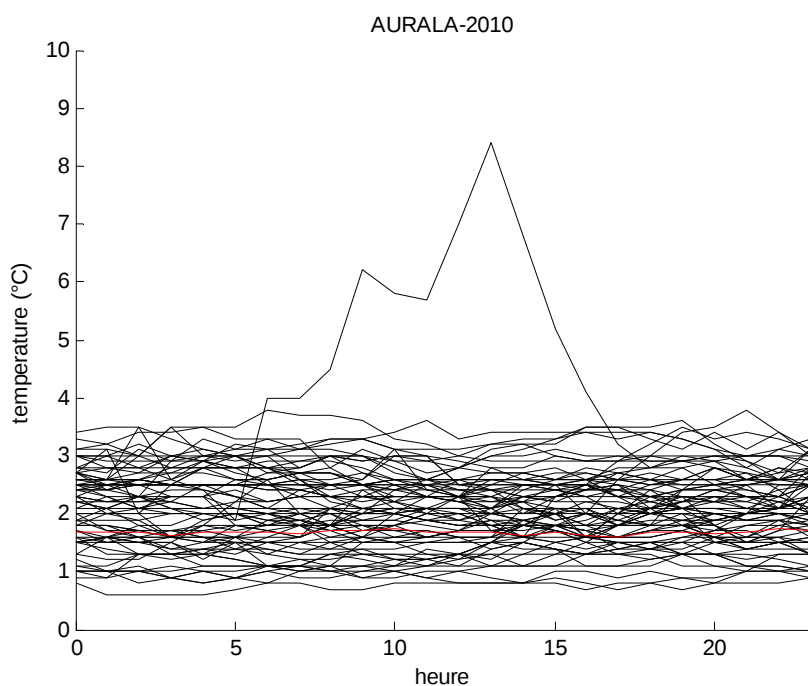


Figure 6 : évolution de la température au cours de la journée

- *Hydrophone au nord : AURAL B*

La profondeur de l'hydrophone était en moyenne de -59m (fig. 7).

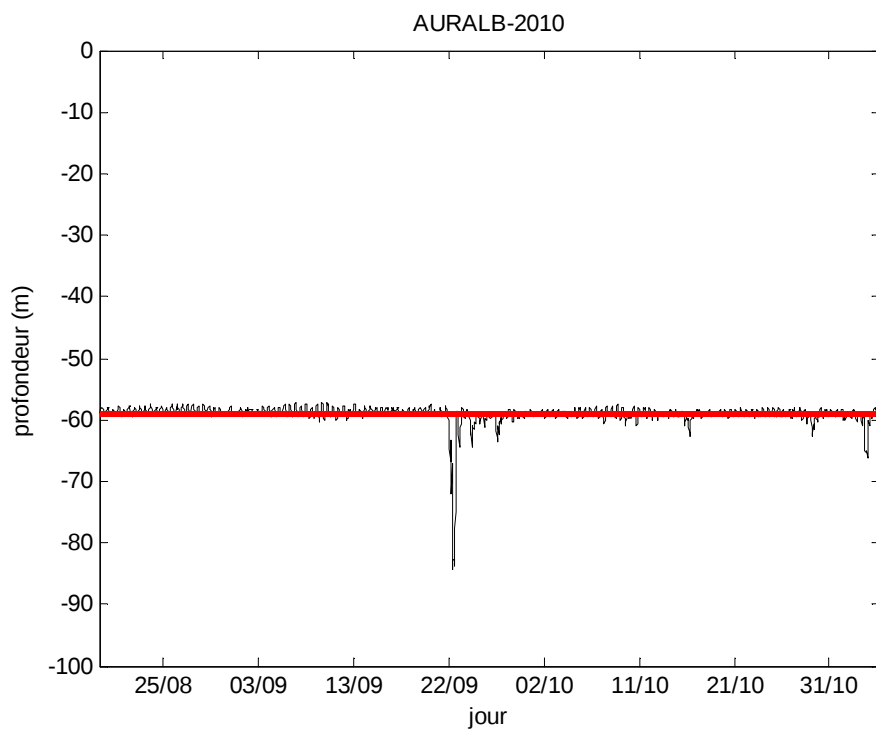


Figure 7 : évolution de la température pendant la période d'acquisition

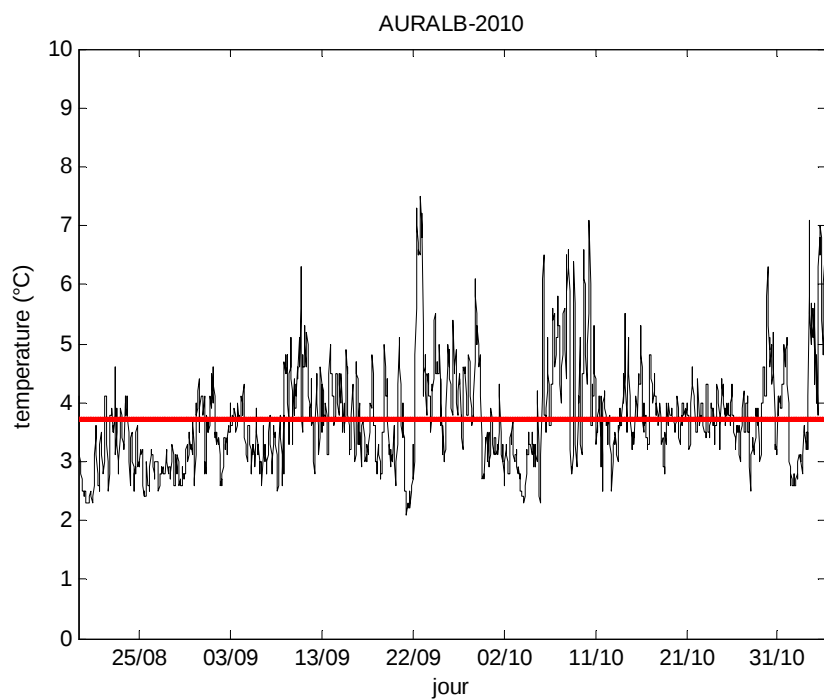


Figure 8 : variation de température pendant la période d'enregistrement

On peut noter tout de suite une profondeur aberrante de -84m, le 22 septembre (entre 19h et 19h45). Cette variation subite de profondeur pourrait éventuellement s'expliquer par une traction sur le câble, qui a fait couler l'hydrophone. Toutefois, comme cela correspond également à l'observation faite sur l'hydrophone A le même jour, d'autres hypothèses pourraient être envisagées.

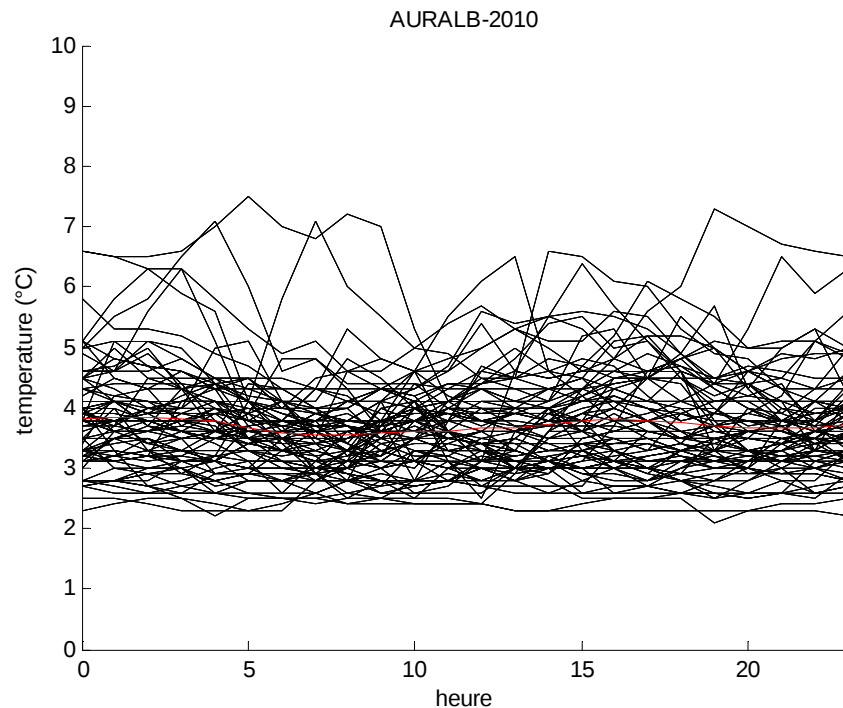


Figure 9 : Température en fonction de l'heure du jour

La température moyenne enregistrée était de 3.7°C (fig. 8). La température maximale de 7.5°C a été enregistrée le 23 sept à 5h du matin. La température minimale de 2.1°C a été enregistrée le 21 septembre entre 19h et 19h45.

La variation journalière est en fait assez faible (fig. 9), variant de 3.55°C à 3.85°C. Du fait que la résolution de la sonde de température est de 0.0625°C avec une précision +/-0.5°C (tab. 3), la température journalière peut être considérée comme constante.

2.3.2 EN 2011

Pour l'hydrophone A, le premier enregistrement date du 27 avril à 8h et le dernier du 23^e juillet à 12h01 (fin à 12h31), pour un total de 2184 fichiers.

Pour l'hydrophone B, le premier enregistrement date du 25 avril à 20h et le dernier du 16 août à 18h (fin à 18h45), pour un total de 2711 fichiers.

En 2011, la base de données est organisée en 4895 fichiers, sur 203 jours et 2447h30min (non continu) (tab. 4).

² Le dernier fichier date du 24 juillet mais le dernier fichier exploitable date du 23 juillet, avant la remontée de l'hydrophone.

- *Hydrophone au sud : AURAL A*

L'hydrophone était à une profondeur moyenne de -53.2m.

On voit, sur la figure 10, que l'hydrophone a été remonté le 23 juillet 2011 à 18h et les enregistrements ont cessé le 24 juillet à 14h.

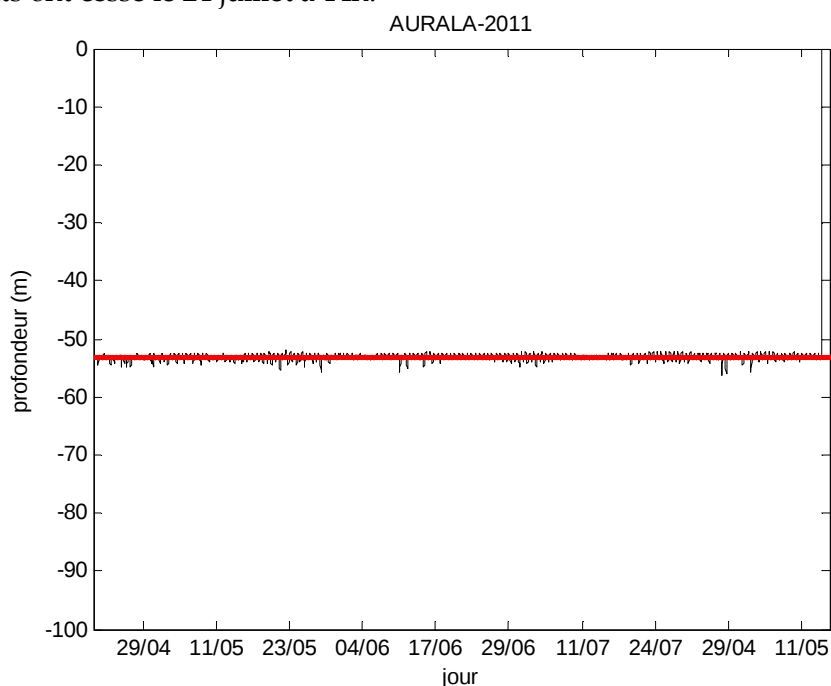


Figure 10 : profondeur pendant la période d'enregistrement

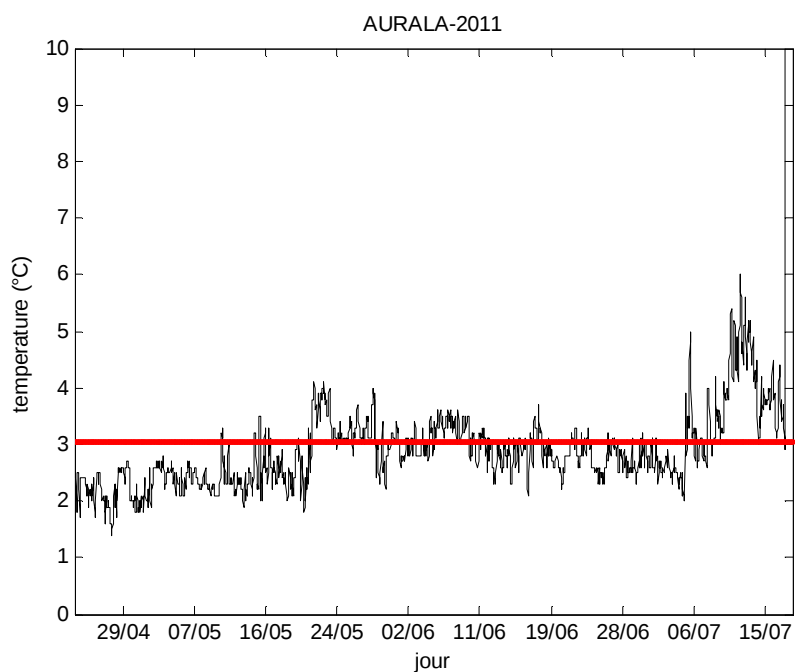


Figure 11 : température pendant la période d'enregistrement

La température moyenne était de 3°C (fig. 11). On peut constater une augmentation progressive de la température de l'eau passant de 2°C à 4° en juillet³. On notera qu'il y a moins de variations entre les mesures de cette année comparées à celle de l'année précédente (fig. 5). Il faut noter 2 choses : d'une part, les mesures réalisées en 2010 étaient faites sur 45 min alors qu'en 2011, les enregistrements ont été faits sur les 30 premières minutes. Cela ne devrait pas changer significativement les résultats, mais c'est à noter. D'autre part, il ne s'agit pas de la même période d'enregistrement. En 2010, ils ont été faits à la fin de l'été et en automne, alors qu'en 2011, la période était la fin du printemps et l'été. On pourrait alors faire l'hypothèse que cette différence de stabilité de la température entre l'été et l'automne est due à des variations météorologiques plus importantes en automne qu'en été : peut-être qu'une pluie plus importante en automne pourrait venir réduire temporairement l'exposition au soleil et influencer légèrement sur les variations de température journalière.

Ce résultat est d'ailleurs confirmé par la figure 12, sur laquelle on voit que la température par heure de la journée est constante autour de 3°C. Ceci étant dit, les variations doivent s'apprécier sur les différences mensuelles. On remarquera ainsi que la température est plus élevée les jours de juillet des jours d'avril, ce qui est totalement prévisible.

Il semble que, pour ces enregistrements, il n'y ait pas de valeurs aberrantes ou significativement différentes comme ce qui a pu être constaté sur les enregistrements 2010.

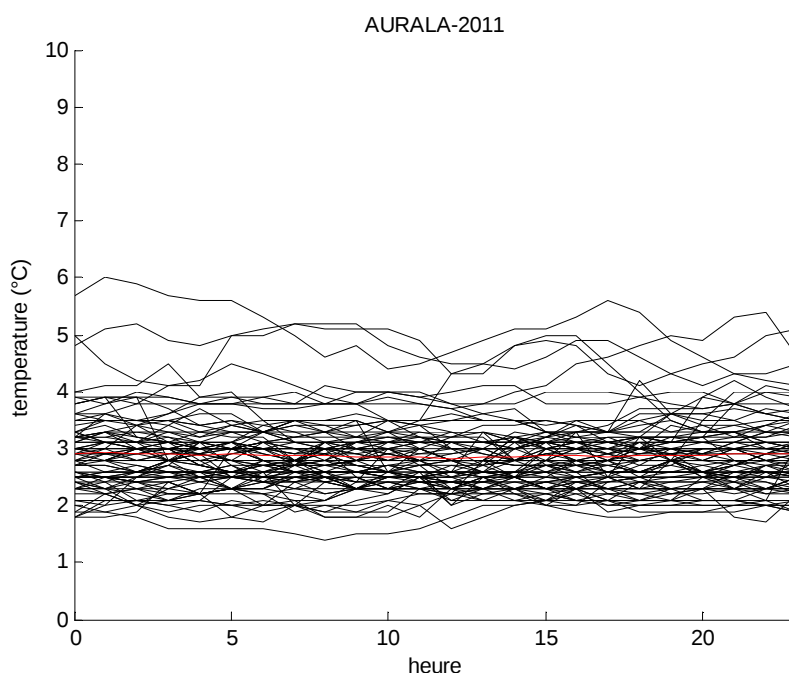


Figure 12 : évolution de la température en fonction de l'heure journalière

³ Lors de la sortie de l'AURAL de l'eau, la température mesurée était de 22°C sur St Pierre et Miquelon le 24 juillet. Je ne sais pas si le capteur de température garde la même sensibilité lorsqu'il est sous l'eau ou à l'extérieur, mais il serait intéressant de voir la température de l'endroit où l'hydrophone a été désactivé (à l'intérieur du local de l'association SPM Frag'îles ?).

- *Hydrophone au nord : AURAL B*

L'hydrophone était à une profondeur moyenne de -50m (fig. 13).

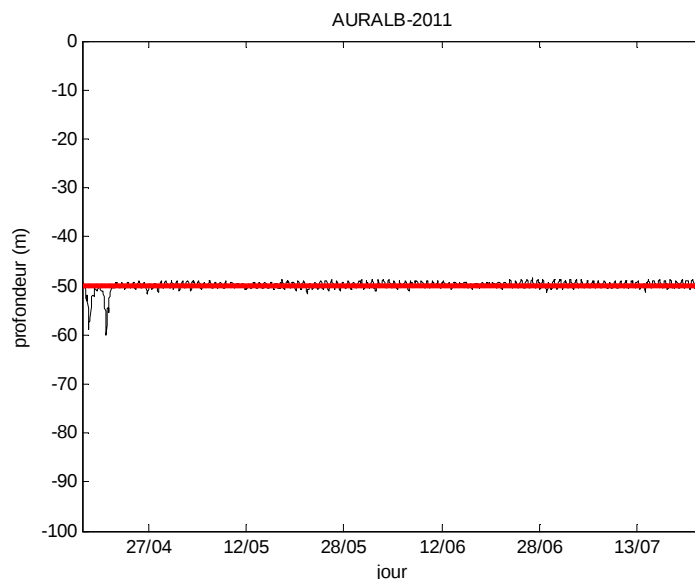


Figure 13 : profondeur de l'hydrophone pendant la période d'enregistrement

Les variations d'une dizaine de mètre en début d'enregistrement pourraient suggérer que l'hydrophone a continué à bouger au moment de son déploiement. On peut suggérer au moins les 2 hypothèses suivantes : d'une part, il se pourrait que le câble-corde qui relie l'AURAL à l'ancre ne s'est pas tendu suffisamment lors du déploiement, entraînant des variations dues à la traction de la bouée, jusqu'à tension complète. D'autre part, on pourrait penser que l'ancre s'est posée sur une partie en pente ou un sol meuble et qu'elle s'est déplacée sous l'effet conjoint de la traction de la bouée, jusqu'à une position stabilisé.

La température moyenne, au cours de la période d'enregistrement, était de 3,69°C (fig. 14). On peut toutefois constater une évolution de quelques degrés, passant de 2°C au mois de mars/avril à entre 4 et 5°C au mois d'août.

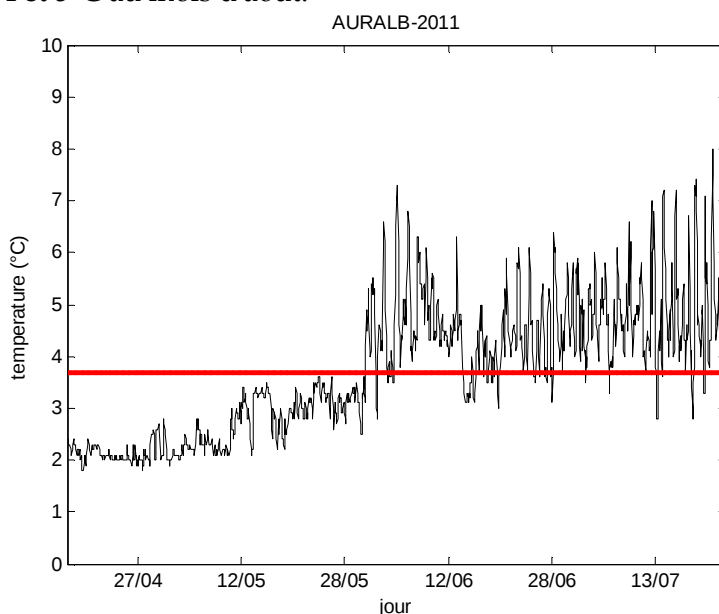


Figure 14 : température pendant la période d'enregistrement

On voit une augmentation sensible de la température, de 2°C en avril à 5°C en juillet (fig. 15). On peut constater également des variations journalières plus significatives, comparées aux enregistrements de 2010, montrant que les températures entre le jour et la nuit sont différentes de l'ordre de 1°C.

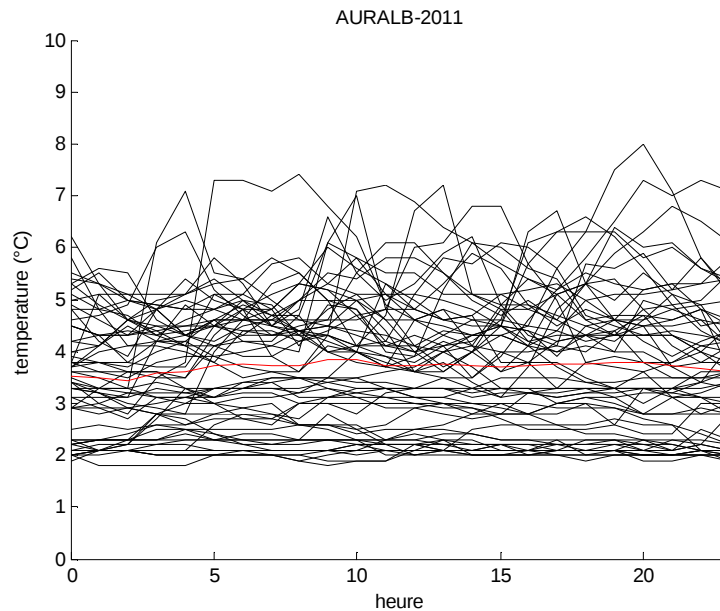


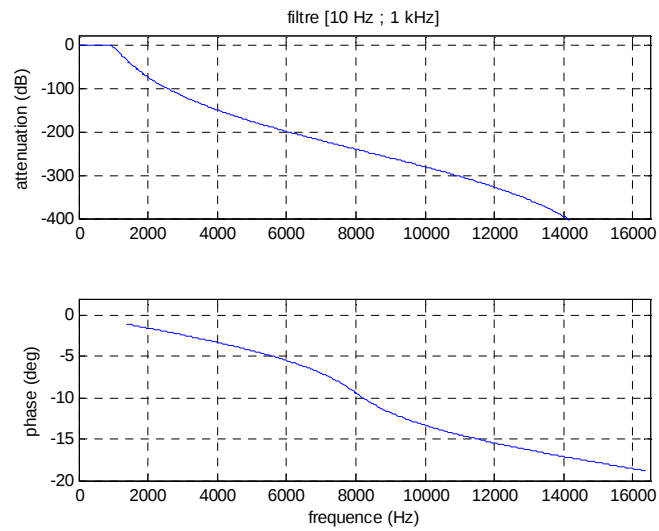
Figure 15 : évolution de la température en fonction de l'heure du jour

3. LES RESULTATS

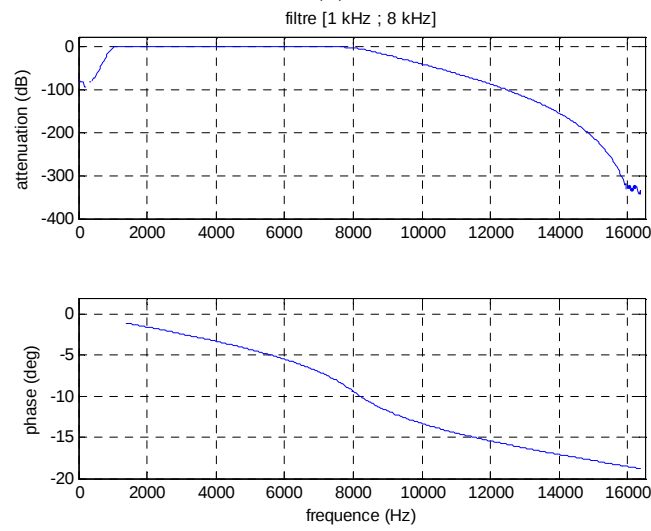
Les enregistrements acoustiques contiennent les intensités des sources sonores autour des hydrophones. Ils contiennent des sons d'origine naturelle et biologique et potentiellement d'activités humaines. Ils contiennent également des sons d'origine diverse, dont ceux liés aux systèmes d'enregistrements.

Pour analyser ces enregistrements, nous avons segmenté la bande fréquentielle exploitable délimitée par les caractéristiques de l'hydrophone et la fréquence d'échantillonnage sélectionnée en 3 sous-bandes (fig. 16) :

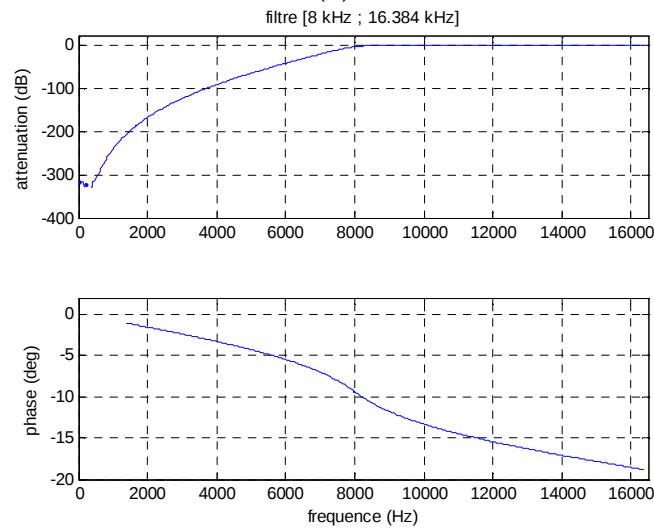
- 1^{ère} sous-bande : [10 Hz ; 1 kHz]. Cette première sous-bande est dédiée à la recherche de sons émis par des mysticètes, en particulier les grands rorquals (baleines bleues). Un filtre de Butterworth passe-bas d'ordre 12 avec une fréquence de coupure de 1kHz a été utilisé.
- 2^e sous-bande : [1 kHz ; 8 kHz]. Cette 2^e sous-bande est utilisée pour mettre en évidence des sons harmoniques, type vocalises de rorquals, d'odontocètes, voire certains sifflements. Deux filtres consécutifs de Butterworth ont été appliqués : tout d'abord, un filtre passe-haut d'ordre 12 de fréquence de coupure 1 kHz, puis un filtre passe-bas d'ordre 12 de fréquence de coupure 8kHz.



(a)



(b)



(c)

Figure 16 : réponse en fréquence et phase des filtres utilisés dans cette étude

a) bande passante [10 Hz ; 1 kHz]

b) bande passante [1 kHz ; 8 kHz]

c) bande passante [8 kHz ; 16.384 kHz]

- 3^e sous-bande : [8 kHz ; 16.384 kHz]. Cette 3^e sous-bande vise à mettre en évidence des sifflements et des clics d'odontocètes. Nous avons utilisé un filtre passe-haut de Butterworth d'ordre 12 et de fréquence de coupure 8kHz.

3.1. NIVEAU SONORE AMBIANT

La première partie de ces résultats est de relater les intensités sonores présentes dans les enregistrements.

Pour calculer la puissance acoustique, on utilise la formule :

$$V_{\text{det}} = V_{\text{rec}} - RS - G$$

où V_{det} , V_{rec} , RS et G sont respectivement la valeur du signal détecté (μPa), la valeur du signal enregistré par l'AURAL (dBV), la sensibilité de l'hydrophone (dBV/ μPa) et le gain utilisé lors de l'enregistrement (dBV).

La documentation de l'AURAL indique que la sensibilité de l'hydrophone HTI-96-MIN est de -165 dBV/ μPa (tab. 3).

D'autre part, l'association SPM Frag'îles a choisi de fixer le gain à 22 dB pour tous les enregistrements.

La formule précédente devient alors :

$$V_{\text{det}} = V_{\text{rec}} - RS - G = V_{\text{rec}} - (-165) - 22 = V_{\text{rec}} + 143$$

V_{rec} est donnée en V. Il s'agit d'abord de le convertir en dB, avec $V_{\text{rec}} = 10 \log_{10}(s^2)$, avec s le signal original compris entre $\pm 2V$ ($s = 2 \times \text{échantillons}$ contenus dans les fichiers .wav).

Cela signifie que pour un échantillon enregistré de valeur 1V, cela représente une intensité de $165 - 22 = 143$ dB (car $V_{\text{rec}} = 10 \log_{10}(1^2) = 0$).

A saturation, c'est-à-dire quand l'amplitude du signal vaut 2V, on a : $V_{\text{rec}} = 10 \log_{10}(2^2) = 6$ dB, soit $V_{\text{det}} = V_{\text{rec}} + 143 = 6 + 143 = 149$ dB.

Cela correspondra donc à l'intensité acoustique maximale enregistrable par l'hydrophone. Autrement dit, pour toute source générant un son d'intensité supérieure ou égale à 149dB re 1 μPa à 1m de l'hydrophone, le signal enregistré sera saturé.

D'autre part, la documentation de l'AURAL précise que le bruit de quantification correspond

à un pas de quantification, soit $p = \frac{G}{2^n + 1} = \frac{4}{2^{16} + 1} = 0.00006103V$.

Avec l'expression $V_{\text{det}} = V_{\text{rec}} + 143 = 10 \log_{10}(0.00006103^2) + 143 = 59$ dB

Il s'agit d'un palier minimum. Cela signifie que du fait des performances limites de la chaîne d'acquisition, il ne sera pas possible d'enregistrer des sources générant des intensités sonores inférieures à 59dB re 1 μPa à 1m.

Pour analyser l'environnement sonore, nous proposons de calculer la puissance maximum toutes les 15 minutes (dont on donne une valeur en dB) et la puissance moyenne sur des fenêtres d'analyse glissantes de 15 min également.

Le choix de ces 15 minutes est motivé par le fait de pouvoir distinguer les zones de bruit ambiant (on considère le niveau acoustique quasi-stationnaire sur cette durée). De même, du fait que les sons émis par les cétacés sont répétitifs, cette durée de 15min semble également appropriée pour caractériser ces enregistrements d'intérêt. Enfin, concernant les activités anthropogéniques, et spécialement les bateaux motorisés, il est évident que leur passage sera étalé sur plus de 15 min, donc le calcul de la puissance moyenne les mettra en évidence. Sont exclus tous les sons rares et transitoires (craquements sous-marins, chocs sur l'hydrophone, artéfact électronique...) car le calcul sur la moyenne les atténuera significativement.

Cette puissance moyenne, puissance RMS, est définie par :

$$Pui_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} x^2(t) dt \right)$$

Soit pour un signal discret, $Pui_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{NT_e} \sum_{n=debutfenetre}^{fin fenetre} x^2[n] \right)$ où N est le nombre d'échantillons contenus dans la fenêtre de longueur T0 (=15 minutes).

Et avec : $fin fenetre - debut fenetre = NT_e$ où T_e est la période d'échantillonnage.

On calcule la puissance dans les 4 cas suivants : sur le signal original, sur le signal filtré dans la 1^{ère} bande passante d'intérêt, dans la 2^e bande passante puis dans la 3^e bande passante.

Lors d'enregistrements (semi-)permanents, les hydrophones sont placés dans certaines zones d'intérêt, choisies soit parce que l'on soupçonne la présence de certaines espèces de cétacés, soit parce que l'on souhaite mettre en évidence des présences potentielles. Dans les 2 cas, les enregistrements présentent finalement des plages avec des émissions sonores de cétacés et des plages sans ce type d'émissions que l'on considérera, dans ce rapport, comme des plages de bruit. Nous pouvons donc, dans un premier temps, classer ces enregistrements en 2 catégories : ceux pour lesquels il n'y a que du bruit⁴ et ceux pour lesquels des sons de cétacés sont présents. Bien évidemment, les enregistrements contenant des émissions sonores de cétacés sont également noyés dans du bruit. On considère l'aspect additif de ce mélange :

$$x = s + b$$

où s est l'émission sonore du cétacé, b le bruit et x l'enregistrement posé sur le disque dur du système.

Tout comme les émissions sonores des cétacés sont diverses d'une espèce à l'autre et d'un individu à l'autre d'une même espèce, les bruits sont de nature différente et variants dans le temps. Il peut s'agir de bruit naturel comme la pluie (fig. 17), du bruit d'activités humaines (principalement le bruit des moteurs des bateaux (fig. 18)) ou du bruit mécanique (bruit des Aurals (fig. 19))⁵.

⁴ Le mot "bruit" peut être utilisé, dans ce rapport, au singulier ou au pluriel. Il désigne, en fait, tout ce qui n'est pas identifié comme émissions sonores d'une espèce de cétacés. Il n'y a pas un "bruit", mais divers sources qui génère "du bruit" ou "des bruits".

⁵ Nous considérons que le bruit de quantification est négligeable devant les autres types de bruit.

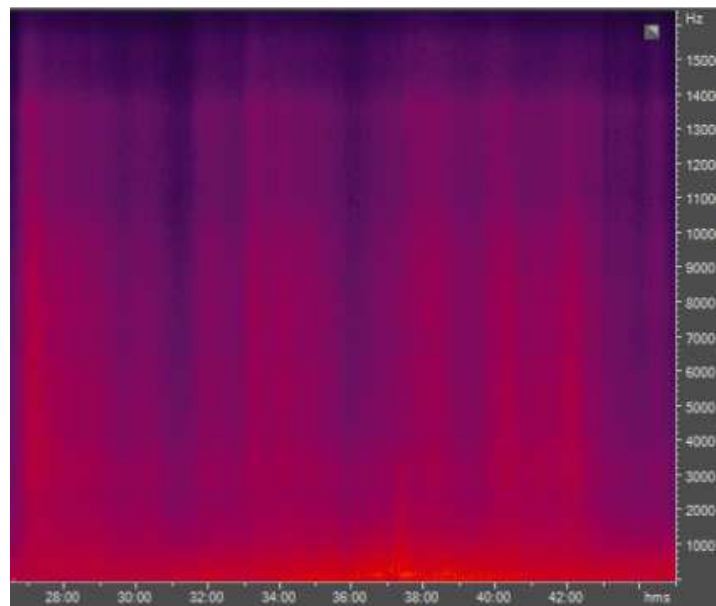


Figure 17 : spectrogramme d'une ondée pluvieuse
Extrait d'AuralA 2010, A32C0505, 9/9/2010, 18:37min43 à 39min

La pluie (fig. 17) génère sur la surface de l'eau un bruit régulier plus ou moins important en fonction de l'intensité de l'onde pluvieuse. Le signal temporel rappelle celui d'un souffle plus ou moins fort. On note que le spectre s'approche de celui d'un bruit blanc, venant couvrir l'ensemble des fréquences et par conséquent, venant masquer de façon significative l'ensemble des autres sons présents dans l'enregistrement, sur toute la bande fréquentielle d'enregistrements. Par conséquent, la pluie vient masquer autant les émissions sonores des mysticètes que ceux des odontocètes (y compris les clics).

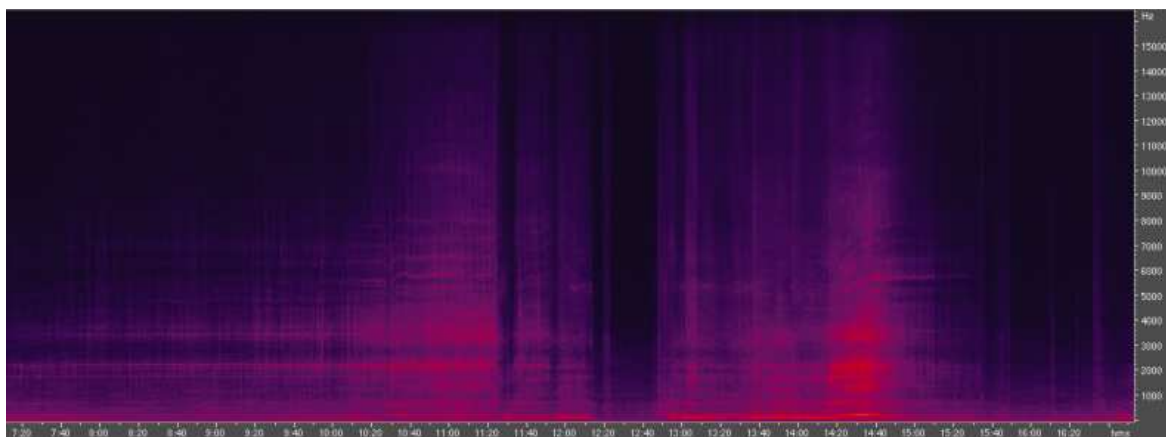


Figure 18 : bruit de bateau arrivant sur zone
Extrait d'AuralA, 2011, A32C0724, 23/5/2011, 17:08min20 à 16min40

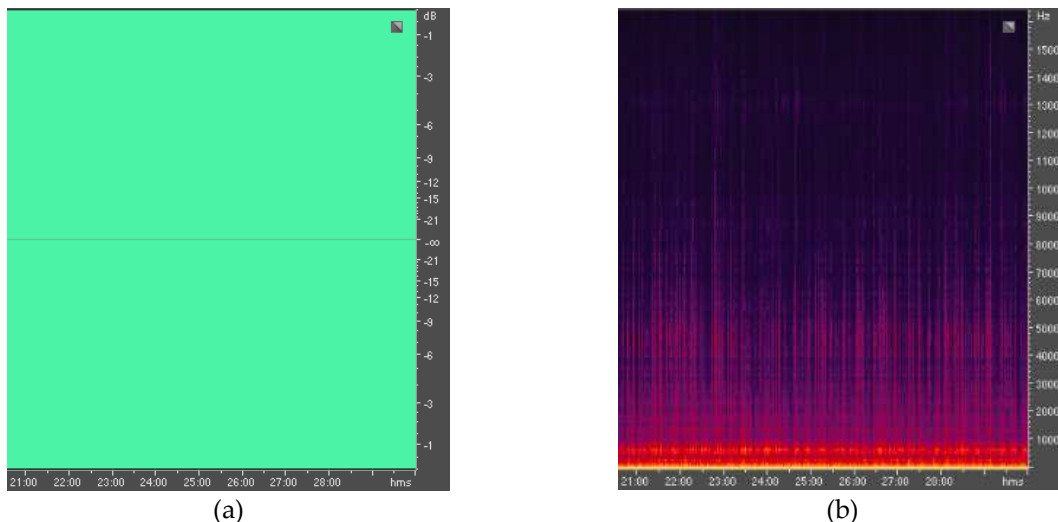


Figure 19 : bruit des piles dans leur comportement de l'Aural
Extrait d'AuralB, 2011, 7F210053, 28/4/2011

(a) : représentation dans le domaine temporel (saturation totale)
(b) : représentation dans le domaine fréquentielle (bruit type impulsionnel)

Les enregistrements contiennent également des moteurs de bateau, qui pour certains croisent à proximité des hydrophones (fig. 18). Dans ces cas, l'intensité commence par augmenter jusqu'à faire saturer l'hydrophone ($>149\text{dB re } 1\mu\text{m à } 1\text{m}$), puis diminue. Contrairement à la pluie (voir paragraphe précédent), le spectre ne s'approche pas de celui d'un bruit blanc, mais présente des bandes énergétiques. Elles sont basses fréquences pour des embarcations à moteur diesel, et moyennes fréquences pour des embarcations à moteur essence. Peu d'enregistrements de sonar ont été notés (probablement, parce que leurs sons sont trop haut en fréquence par rapport à la fréquence d'échantillonnage sélectionnée pour cette étude), mais il a été noté, deux fois, des sons potentiellement liés à des outils bruyants embarqués sur ces bateaux.

Enfin, il faut noter la présence de bruits générés par les AURAL eux-mêmes (fig. 19). L'hypothèse de bruits de chaîne a été écartée car le signal temporel et le spectre fréquentiel ne correspondent pas à ce type de frottement/cognement. Par contre, la possibilité que ces bruits viennent de l'intérieur même de l'AURAL semble plus plausible. L'hypothèse que les piles à l'intérieur de AURAL et assurant l'autonomie électrique en servant de batteries pour le système électronique, viennent à bouger à l'intérieur du caisson étanche est fortement privilégiée.

Il est à noter d'ailleurs 2 particularités :

- 1) Ces cognements ne sont pas constants au cours des enregistrements. Ils peuvent apparaître pendant plusieurs heures successives puis l'ensemble redevient totalement silencieux. Parfois, dans un enregistrement de 30min ou de 45min, il y a un cognement distinct isolé et d'autres présents de façon totalement erratique.
- 2) Ces cognements peuvent être de différents niveaux, allant de très faible intensité à des intensité très forte, pouvant même saturer le signal temporel de l'hydrophone, et parasiter fortement le spectre fréquentiel, en particulier les basses fréquences, rendant alors illusoire de pouvoir détecter des activités vocales de mysticètes.

3.1.1 EN 2010

- *Hydrophone au sud : AURAL A*

La figure 20 présente l'évolution de la puissance RMS et la puissance maximum tout au long des enregistrements, calculées sur toute la bande fréquentielle.

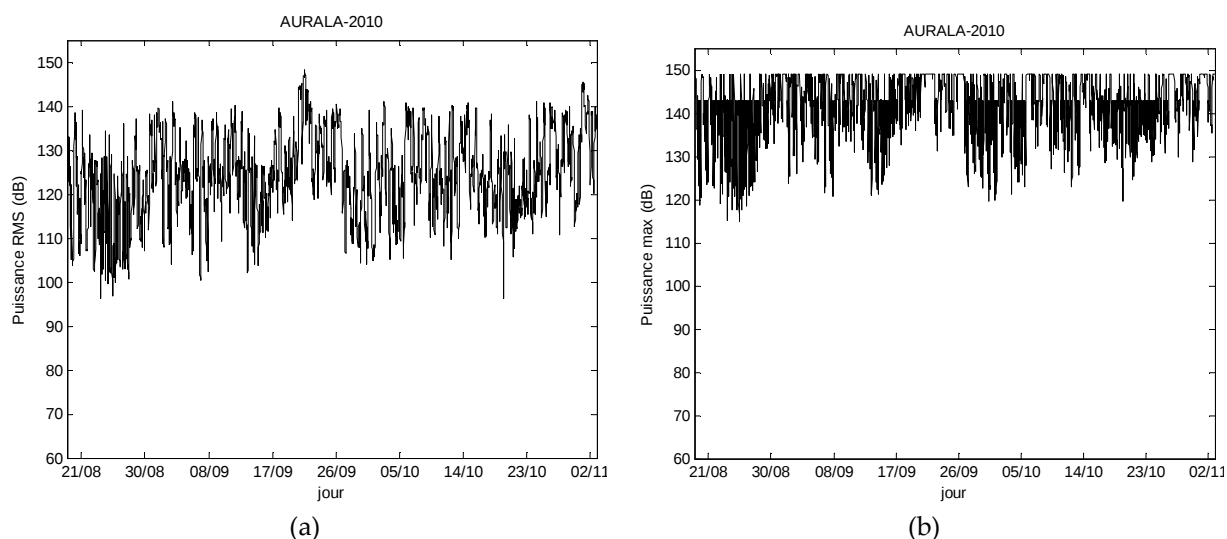


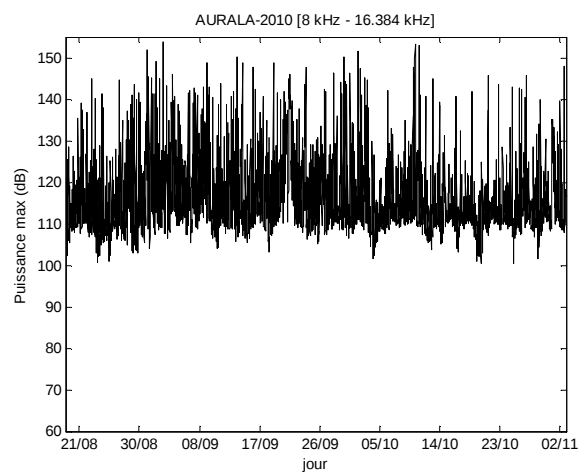
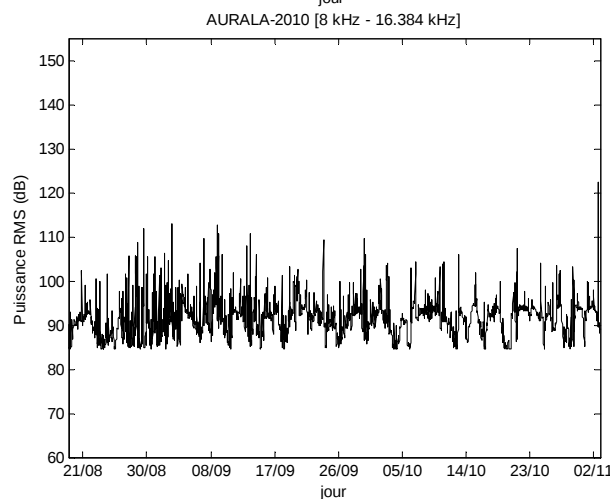
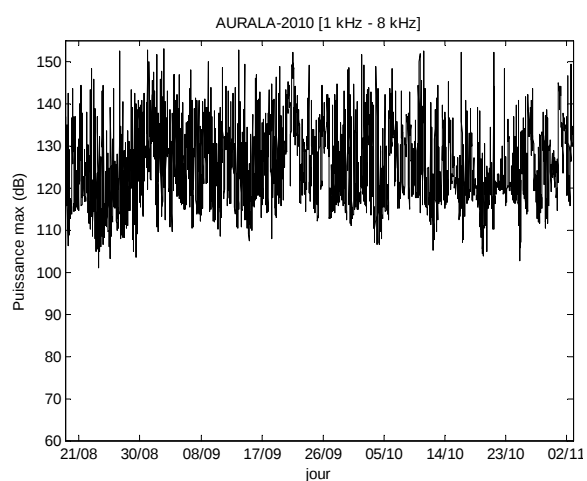
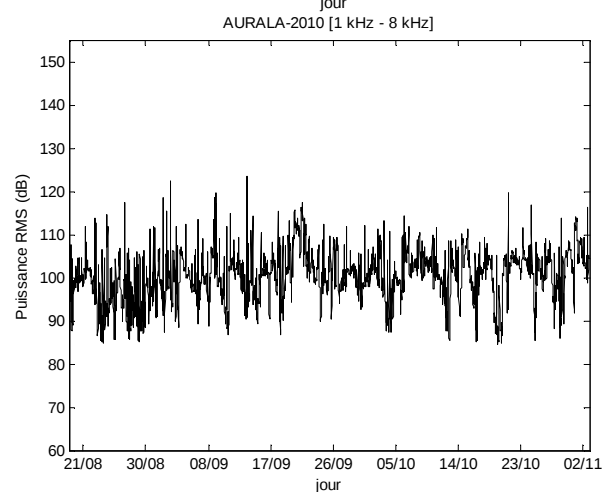
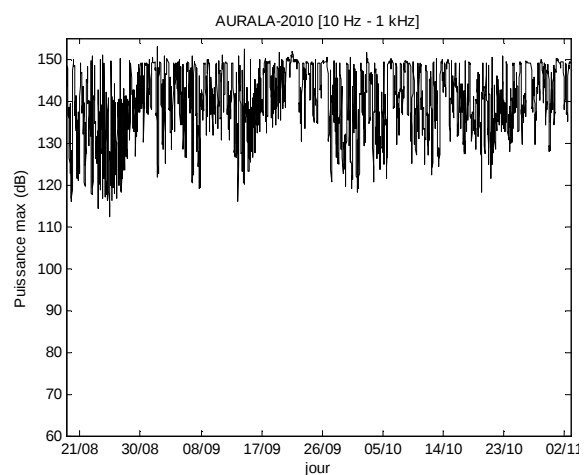
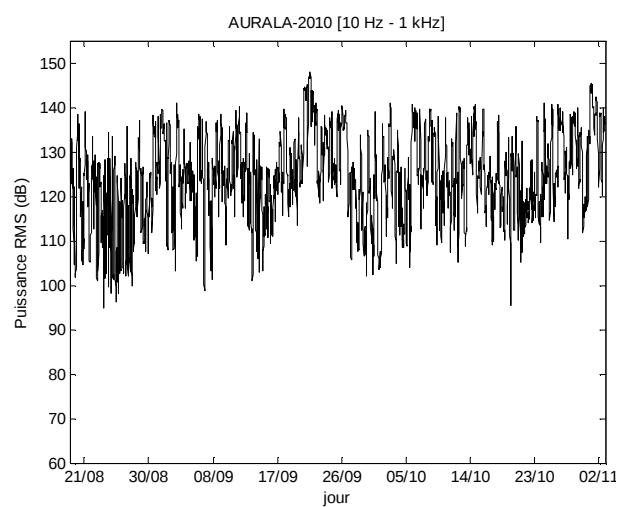
Figure 20 : évolution de la puissance au cours des enregistrements
a) puissance RMS et b) puissance max

Il y a 2 résultats intéressants issus de ces 2 graphes de la figure 20 : d'une part, on voit une puissance moyenne oscillant entre 100dB à 149dB re 1 μ Pa à 1m.

Cela signifie que la dynamique de l'hydrophone est correctement utilisée ; le choix du gain interne à l'hydrophone (22dB) a été pertinent, d'une part, même si nous ne pouvions pas anticiper les bruits générés par les cognements des batteries à l'intérieur du caisson... et d'autre part, même si, et c'est important de le noter, certains odontocètes (dont des cachalots) sont venus faire saturer, par leurs émissions sonores, les hydrophones, montrant que celles-ci étaient supérieures à 149dB re 1 μ Pa à 1m.

Ceci étant dit, il est clair qu'en fixant ce problème de cognements internes, il sera possible de corriger de façon significative la courbe (b) de la figure 20.

On trace alors les puissances pour les autres bandes fréquentielles, consignées dans la figure 21. On peut noter que les courbes dans la colonne (b) montrent que les cognements, même s'ils sont présents sur l'ensemble de la bande fréquentielle, ont des composantes d'énergie plus importante principalement dans les basses fréquences. Si on rajoute le fait qu'il s'agit de signaux transitoires, cela signifie qu'il sera possible d'identifier des vocalises et des sifflements d'odontocètes, notamment supérieures à 8kHz, et très difficile voire impossible de détecter des émissions sonores de mysticètes.



(a) (b)

Figure 21 : évolution de la puissance au cours des enregistrements
dans les différentes bandes fréquentielles
a) puissance RMS et b) puissance max

- *Hydrophone au nord : AURAL B*

Les mêmes analyses ont été effectuées pour l'hydrophone au nord. Nous présentons les résultats correspondant à la puissance moyenne, et à la puissance max sur des fenêtres glissantes de 15 min sur chacun des fichiers.

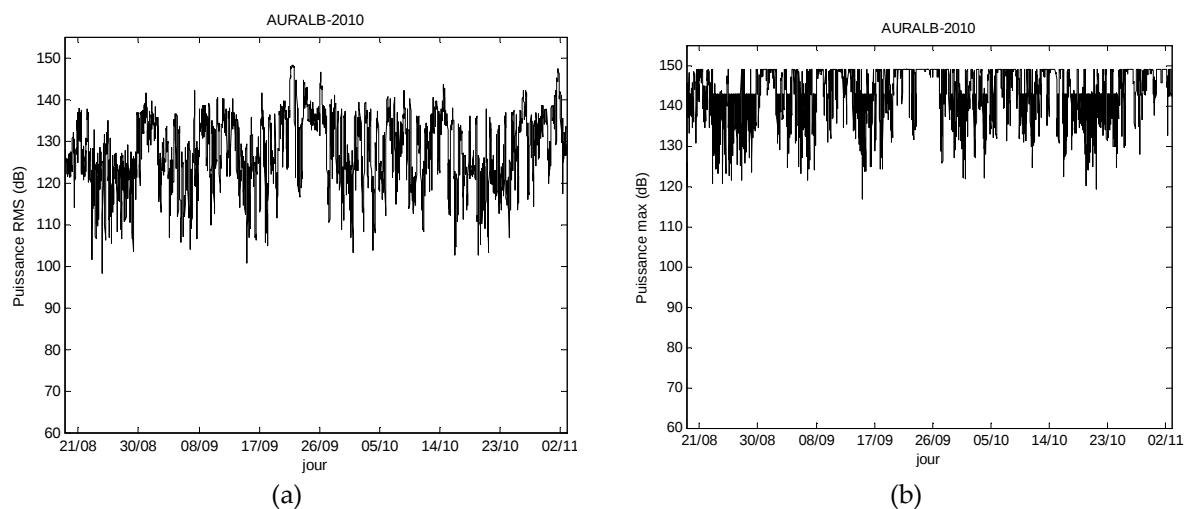
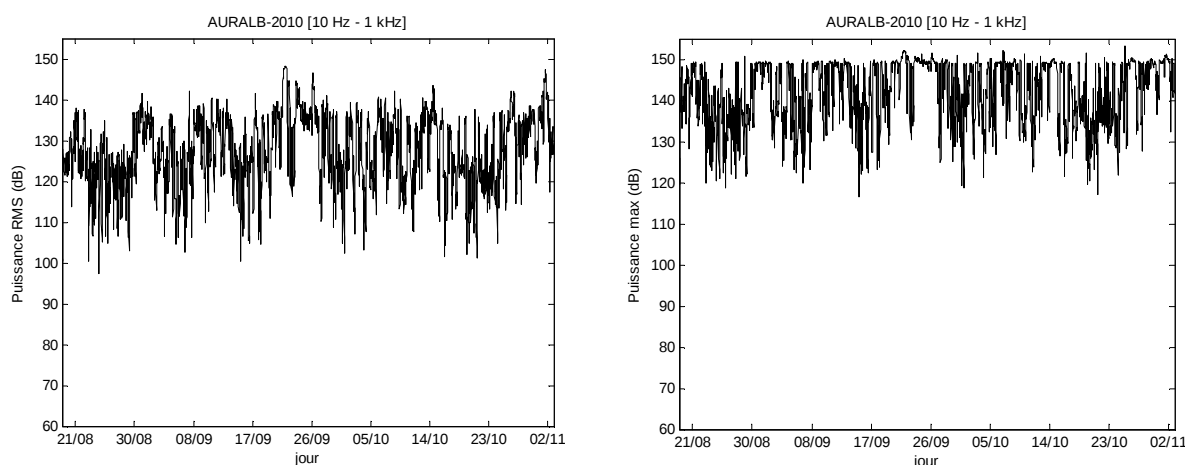
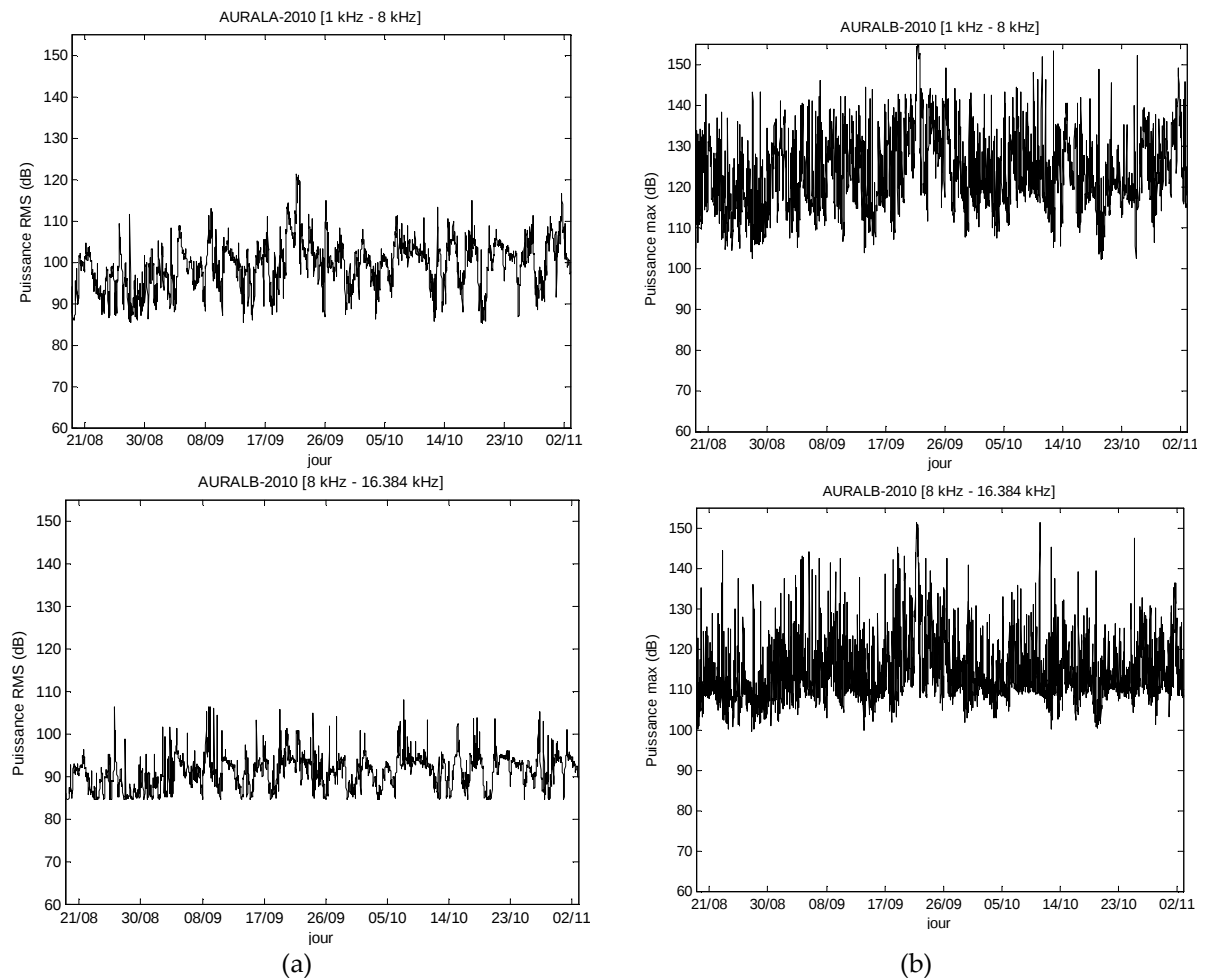


Figure 22 : évolution de la puissance au cours des enregistrements
a) puissance RMS et b) puissance max

La figure 22a montre que les intensités moyennes d'amplitude fluctuent entre 110 et 145dB re $1\mu\text{Pa}$ à 1m. D'autre part, on note que l'hydrophone est assez souvent saturé (fig. 22b), du fait des cognements répétitifs.

On s'intéresse, ensuite, à l'évolution de la puissance des enregistrements en fonction des bandes fréquentielles d'intérêt (fig. 23). Comme précédemment, on note les effets des cognements dus aux battements des piles dans le caisson de l'AURAL plus importants pour les basses fréquences que pour les hautes fréquences. On peut également noter des activités ponctuelles (pics) dans les hautes fréquences traduisant la présence de sifflements aigus dans les enregistrements (fig. 23a en bas).





(a) (b)
Figure 23 : évolution de la puissance au cours des enregistrements
dans les différentes bandes fréquentielles
a) puissance RMS et b) puissance max

3.1.2 EN 2011

Les mêmes calculs sur les puissances acoustiques ont été réalisés sur les 2 hydrophones qui ont fait les enregistrements de 2010 (les configurations des AURAL étaient les mêmes à l'exception de la durée d'enregistrement par heure : même gain, même fréquence d'échantillonnage). Ils sont présentés dans les figures suivantes, reprenant le même plan que précédemment, pour faciliter les comparaisons.

- *Hydrophone au sud : AURAL A*

En ce qui concerne les enregistrements de 2011, les puissances pour l'hydrophone au sud sont présentées dans la figure 24.

Les puissances sonores moyennes fluctuent entre 96dB et 145dB re 1 μ Pa à 1m. Le seuil minimal traduit clairement que le niveau d'intensité acoustique est particulièrement faible montrant que cette région maritime peut être particulièrement calme. Aucune activité anthropogénique n'a d'ailleurs été relevée sur plusieurs enregistrements.

D'ailleurs, si on compare avec les enregistrements de 2010, on peut voir que les puissances sonores moyennes sont légèrement inférieures (fig. 24a), mais ces différences de quelques dB est significative⁶.

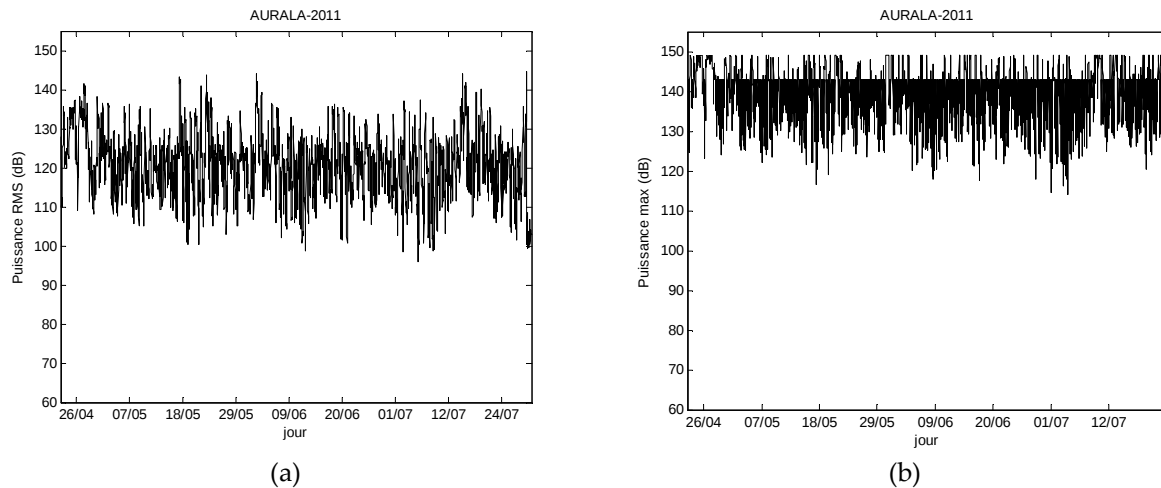


Figure 24 : évolution de la puissance au cours des enregistrements
a) puissance RMS et b) puissance max

D'autre part, la comparaison avec 2010 montre que l'hydrophone a moins saturé (fig. 24b) traduisant le fait que les piles ont moins bougées dans le caisson. Cela peut être dû à 3 choses :

- 1) les piles ont été mieux correctement placées dans l'AURAL, évitant davantage leurs mouvements latéraux.
- 2) le système d'accroche de l'AURAL au fond marin a fait en sorte que l'AURAL s'est moins mis à vibrer sur lui-même et donc réduisant ainsi le mouvement interne des piles.
- 3) les courants dans les 2 endroits ont été déployés cet AURAL étaient différents, et moins fort en 2011 qu'en 2010, entraînant moins le système sous tension. Cela pourrait être dû au courant dans le lieu de déploiement ou à la saison (été/automne pour 2010 et printemps/été pour 2011). Cette dernière hypothèse pourrait être vérifiée par des études de courantologie de cette région.

⁶ Rappelons que 3dB correspond à un doublement de l'intensité du signal

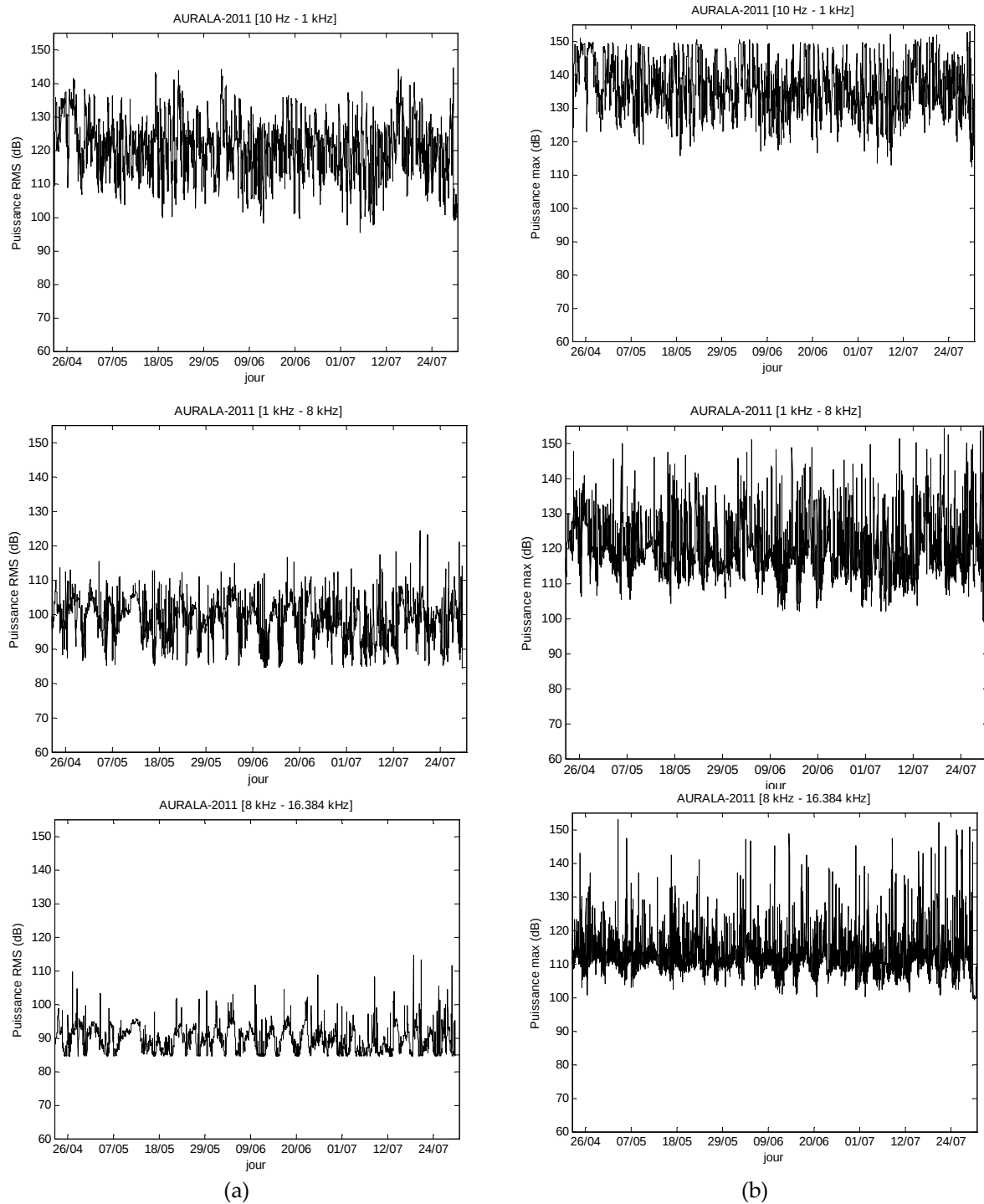


Figure 25 : évolution de la puissance au cours des enregistrements dans les différentes bandes fréquentielles
a) puissance RMS et puissance max

On retrouve, dans la figure 25, les remarques faites à partir de la figure 24, notamment concernant le seuil minimum inférieur à 90dB re 1 μ Pa à 1m, et la saturation plus parcellaire de l'hydrophone.

- *Hydrophone au nord : AURAL B*

On retrouve les mêmes ordres de grandeurs pour les puissances RMS oscillant entre 100dB et 145dB (fig. 26). Ceci étant dit, il semble que l'hydrophone a davantage saturé en 2011 qu'en 2010 (fig. 22) et que l'hydrophone placé au sud (fig. 24).

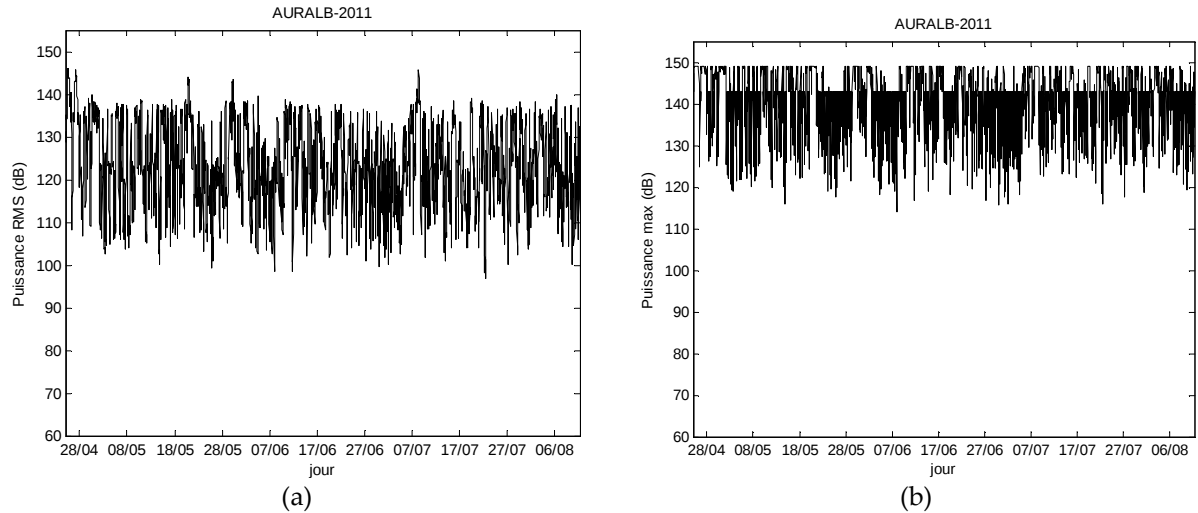
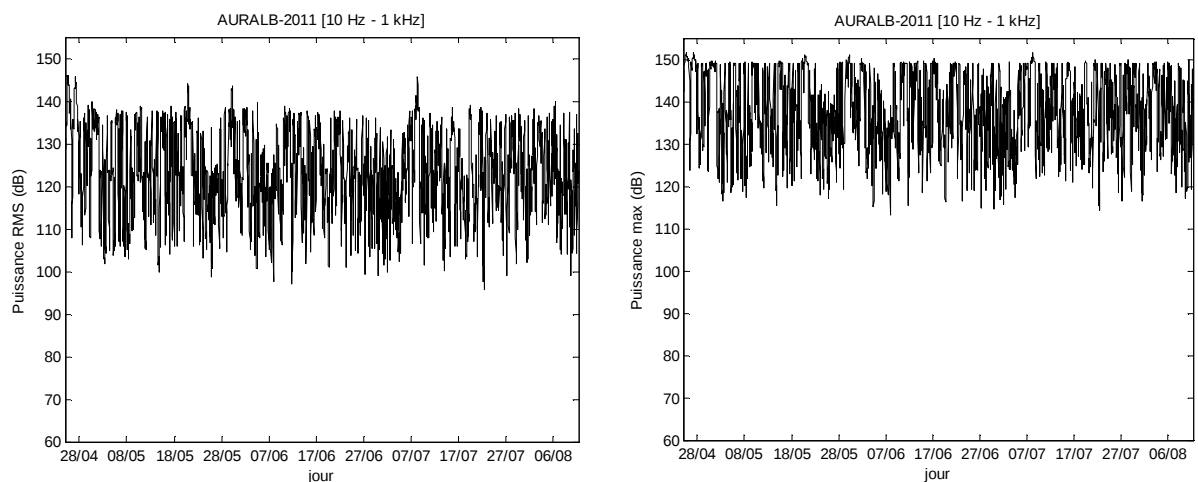


Figure 26 : évolution de la puissance au cours des enregistrements
a) puissance RMS et b) puissance max

Dans les figures 27, on retrouve cette composante basse fréquence générée par les cognements à l'intérieur de l'hydrophone, susceptible de rendre particulièrement difficile la détection de sons dont les fréquences seraient inférieures à 1kHz (comme les émissions sonores de mysticètes par exemple). Pour les autres bandes fréquentielles, on voit qu'il nous sera possible de détecter des sons de cétacés, même si le rapport signal-sur-bruit peut être défavorable (≈ 130 dB dans la bande [1-8kHz] et ≈ 110 dB dans la bande [8-16kHz]). Ce sera donc principalement des individus qui émettent des sons à forte puissance et/ou proches de l'hydrophone.



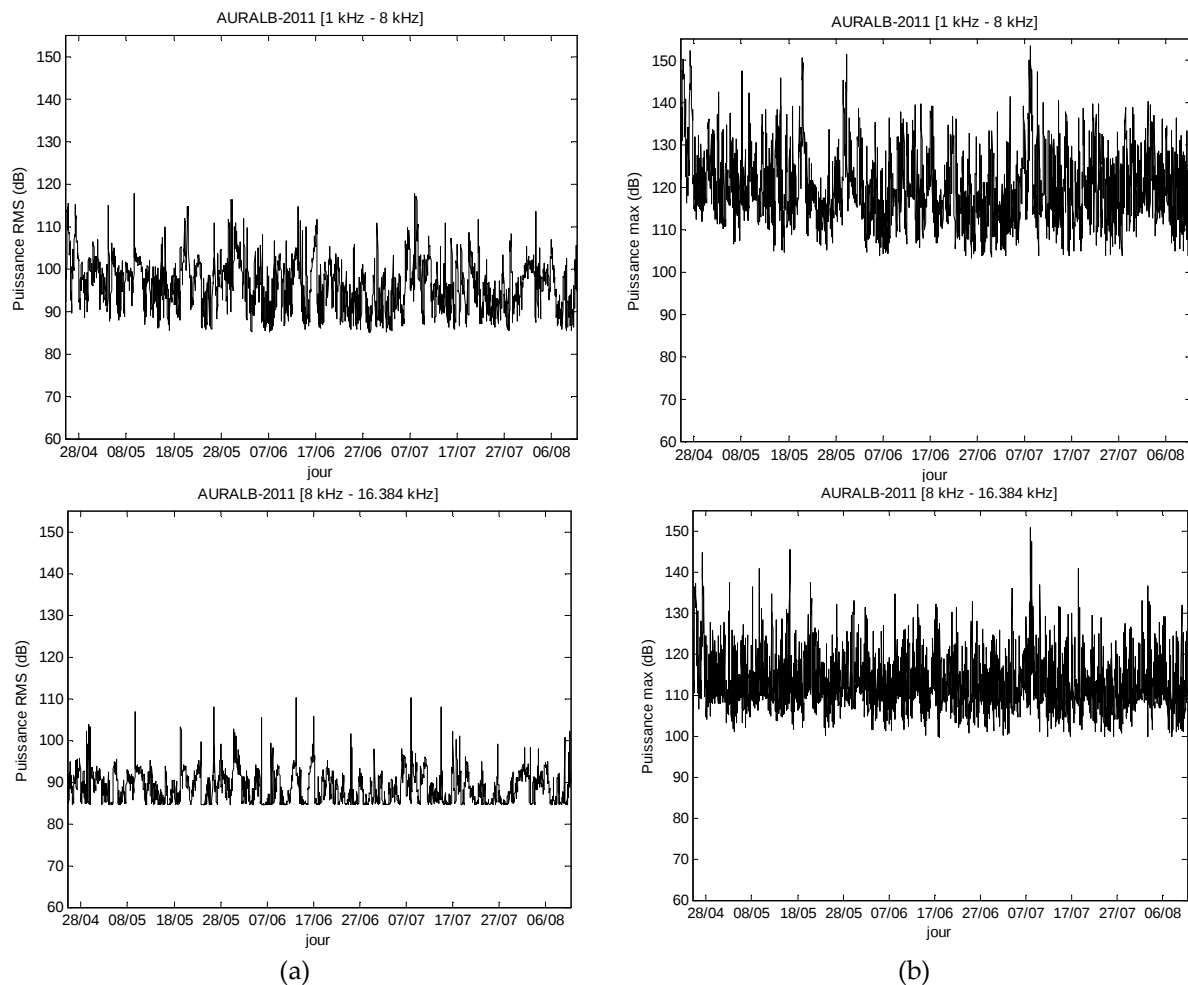


Figure 27 : évolution de la puissance au cours des enregistrements dans les différentes bandes fréquentielles
a) puissance RMS et b) puissance max

3.2. LES BRUITS

Nous nous sommes intéressés à 3 types de bruit : le trafic maritime, la pluie et les bruits internes aux hydrophones. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

Tableau 5 : bruits spécifiques dans les enregistrements

		Nb tot fichiers	Trafic (%)	Pluie (%)	Cognements (%)	Saturation (%)
2010	AURAL A	1807	218 (12%)	101 (5.6%)	660 (36.5%)	305 (17%)
	AURAL B	1807	19 (1%)	99 (5.5%)	1016 (56%)	337 (19%)
2011	AURAL A	2184	300 (14%)	97 (4%)	726 (33%)	89 (4%)
	AURAL B	2711	147 (5.5%)	184 (7%)	1376 (51%)	280 (10%)

3.2.1 LE TRAFIC MARITIME

Pour le trafic maritime, on peut noter, d'une façon générale, que pour les mêmes périodes, il y a moins de passage de bateaux devant l'hydrophone du nord que devant celui placé au sud. De même, il y a plus de trafic pendant la période avril / mi-août (année 2011) que pendant la période mi-août / octobre (année 2010) (Annexe 9.1).

Contrairement au nord, le sud est une zone beaucoup fréquentée. L'AURAL A fait état de la présence de bateaux régulièrement au cours de la journée, pour ces mois d'été et d'automne (enregistrements de 2010). En 2011, les enregistrements de l'AURAL A témoignent de la présence de bateaux tous les jours, particulièrement en juillet. On peut distinguer 2 situations : d'une part, les enregistrements de court terme, c'est-à-dire lorsque le bateau est présent sur une heure (bateau de passage) et d'autre part, les enregistrements montrant la présence d'un bateau sur plusieurs heures. Dans ce dernier cas, le bateau peut être lent ou alors être en activité de pêche ou professionnelle nécessitant une vitesse réduite ou une prospection de la zone visible (c'est-à-dire dont on peut détecter la présence sonore) autour de l'hydrophone. Par exemple, le 8 juillet 2011, sur l'AURAL A, la présence de bateaux occupe plus de 6h de la journée. Ou le 30 avril 2011 sur l'AURAL B, 2 périodes de chacune de pratiquement 3h successives sur zone. Par contre, début août, nette diminution de présence de bateaux à moteur sur la zone.

3.2.2 LA PLUIE

Concernant la pluie, les enregistrements dégradés⁷ sont relativement faible (≈5%) pour 2010 et 2011 et pour l'hydrophone du nord et celui du sud (Annexe 9.2). Ce résultat est important car l'on sait que la pluie a un effet masquant sur les émissions sonores des cétacés.

Dans le détail, pour 2010, on voit que la pluie est vraiment venue perturber les enregistrements au mois de septembre et d'octobre pour l'AURAL A (tab. 7), et on retrouve d'ailleurs les mêmes jours sur l'AURAL B. Etant donné que ces 2 hydrophones étaient à la même profondeur, les activités pluvieuses ont été enregistrées de façon similaire sur les AURAL.

Pour 2011, les jours de pluie sont réparties uniformément sur les différents mois d'observation, avec pour l'AURALA et l'AURALB pratiquement 10 jours par mois (tab. 7).

3.2.3 BRUIT INTERNE

En ce qui concerne le bruit interne à l'AURAL, on peut dire que c'est régulier d'une année sur l'autre pour les 2 systèmes, et que les résultats sont cohérents d'une année à l'autre, avec de l'ordre de 35% pour l'AURAL A et un peu plus de 50% de perturbation pour l'AURAL B. Ces résultats montrent qu'il va être important de trouver une solution d'atténuation voire d'élimination de ce type de bruit, car il vient même à faire saturer l'hydrophone entre 4% et 20% des fichiers enregistrés, ce qui est finalement beaucoup.

3.3. SONS DE CETACES DETECTES

Sur les enregistrements continus pendant ces années, on retrouve aussi bien au nord qu'au sud des émissions sonores de différentes espèces de cétacés.

La base de données collectée par les 2 AURAL sur les 2 années consécutives est riche en émissions sonores de cétacés (tab. 6).

⁷ On rappelle qu'il ne s'agit pas de faire un compte-rendu de l'activité pluvieuse sur la zone, mais de noter les enregistrements qui ont été particulièrement dégradés, en totalité ou en partie, par la pluie.

Tableau 6 : émissions sonores des cétacés

		Nb tot fichiers	Orque (%)	Cachalot (%)	Odont clic (%)	Odont buzz (%)	Odont siffl (%)	Myst (%)
2010	AURALA	1807	1	28	27	180	668	12
	AURALB	1807	0	118	3	32	268	7
2011	AURALA	2184	0	71	7	29	154	37
	AURALB	2711	1	164	7	30	227	31

Du tableau précédent, il faut noter les 4 points importants suivants :

1. La détection des orques est nettement sous-dimensionnée, dans la mesure où leurs sons sont complexes. Un détecteur généraliste n'est clairement pas optimal pour repérer cette espèce. Ils méritent à eux seuls un détecteur à part.
2. Les mysticètes sont également sous-détectés, notamment du fait de la présence de bruit basse fréquence dans les enregistrements. Le filtre passe-bas appliqué n'a pas aidé à la détection, et il conviendra, pour une étude future, soit de proposer un réhaussement de signal (type filtrage adaptatif ou filtrage de Wiener), soit de réduire le bruit en particulier de cognements à l'intérieur du caisson des AURAL.
3. Pour les cachalots, la détection est robuste dans la mesure où ces individus émettent des trains de clics et jamais un clic isolé. Il est donc possible lorsqu'un événement est détecté de confirmer sa présence par un facteur de confiance basé sur la répétitivité du son (fonction de l'ICI (interval inter-clic) qui est de l'ordre de 1sec pour des clics réguliers et inférieurs à 1sec pour les creaks).
4. Les clics, buzz, sifflements d'odontocètes appartiennent à d'autres espèces que le cachalot. Ils sont principalement émis par des dauphins. Les buzz font souvent suite à d'émissions de clics. Et les sifflements peuvent être émis en même temps que des clics ou des buzz.

Finalement, dans ce rapport, nous utiliserons 3 classes pour les odontocètes : dauphins (à partir des clics, des sifflements), orques (émissions sonores plus complexes, incluant clics, sifflements tridents, vocalises), cachalots (clics puissants et répétitifs, buzz/creaks).

3.3.1 LES ODONTOCETES

Les sons émis par les odontocètes sont caractéristiques : des clics (d'écholocation et de communication), des sifflements et des vocalises plutôt moyenne voire haute-fréquence (cétacés MF, disons au-delà de 4kHz). Certains sons ont des fréquences proches de la fréquence de Nyquist (16kHz), ce qui pourrait laisser croire que des composantes fréquentielles supérieures pourraient exister dans ces vocalises/sifflements (et qu'une bande passante plus large serait alors nécessaire pour capter ces sons dans leur intégrité).

Les sifflements sont émis par les espèces de dauphins (fig. 28). Il s'agit de sons de forte intensité, superposés (traduisant la présence de plusieurs individus sur la zone), d'énergie fréquentielle comprise entre 7kHz et 16kHz. Il est fort probable que le choix de la fréquence d'échantillonnage fixée à 32kHz masque la partie fréquentielle supérieure à 16kHz, et donc la forme complète de ces sifflements. Cela n'est pas réellement important dans notre étude, dans la mesure où l'objectif est la détection de présence des cétacés vocaux, et non la caractérisation de leurs émissions sonores.

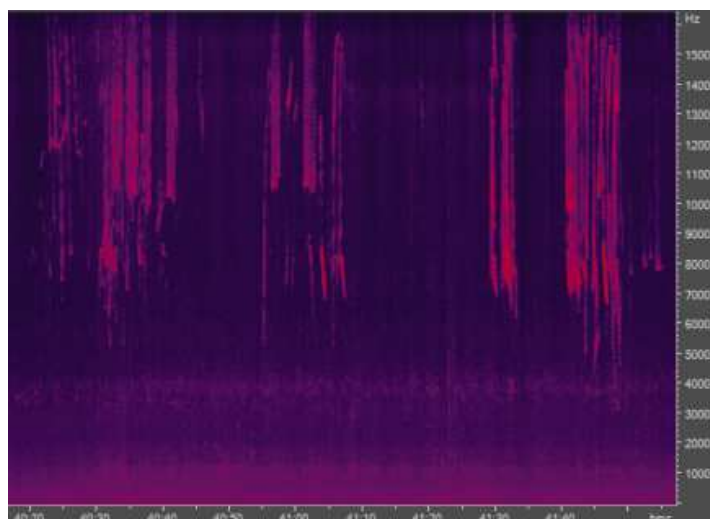


Figure 28 : sifflements de dauphins

Extraits d'AuralA 2010, A32C0045, 21/8/2010, 14:41min40 à 14:42min

Les odontocètes émettent également des clics pour l'écholocation et probablement les contacts sociaux. Dans cette étude, nous faisons la distinction des clics émis par les cachalots des autres espèces d'odontocètes. Anis, les petits et moyens odontocètes émettent des clics courts, nettement moins puissants que ceux émis par les cachalots, et avec une composante haute en fréquence. Ils émettent également des buzz (succession de clics rapprochés), peu puissants en intensité (fig. 29). Ces successions de clics et de buzz traduisent une activité de chasse et de nourrissage.

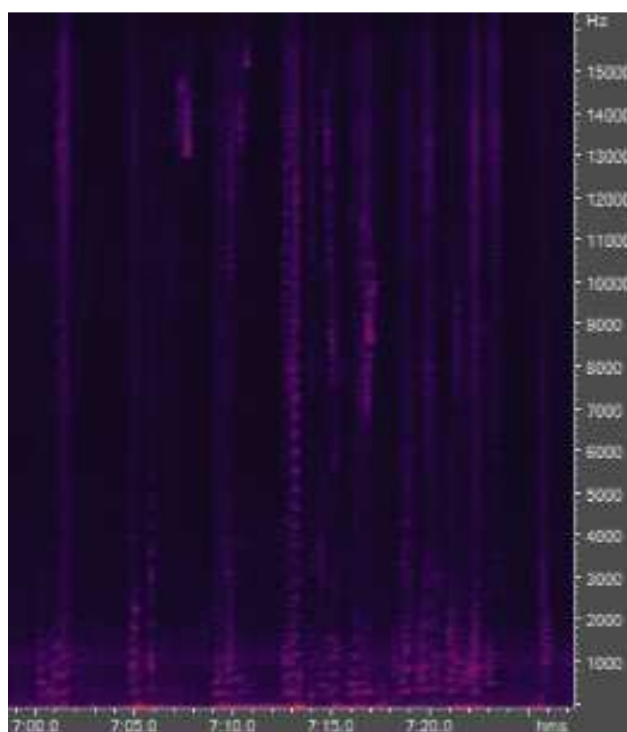


Figure 29 : clic et buzz de dauphins

Extraits d'AuralA 2010, A32C0099, 23/8/2010, 20:5min55 à 20:6min14

Pour ces espèces d'odontocètes qui émettent clics et sifflements (contrairement aux cachalots qui n'émettent que des clics (je ne considère pas les trumpet calls comme des sons usuels

pour les cachalots), il arrive que ces 2 types de sons soient émis en même temps (fig. 30). On retrouve cela sur les enregistrements, sans toutefois pouvoir dire qu'ils sont émis simultanément par un seul individu ou séparément par 2 ou plusieurs individus (la densité acoustique laisse suggérer la présence de plusieurs individus).

Sur la figure 30, on peut voir une superposition 2 types de sifflement et de clics : des sifflements fluctuants entre 8 et 11kHz et des sifflements de plus grande bande fréquentielle (de 3 à 16kHz). On voit également et des clics courts touchant l'ensemble des fréquences (traits verticaux).

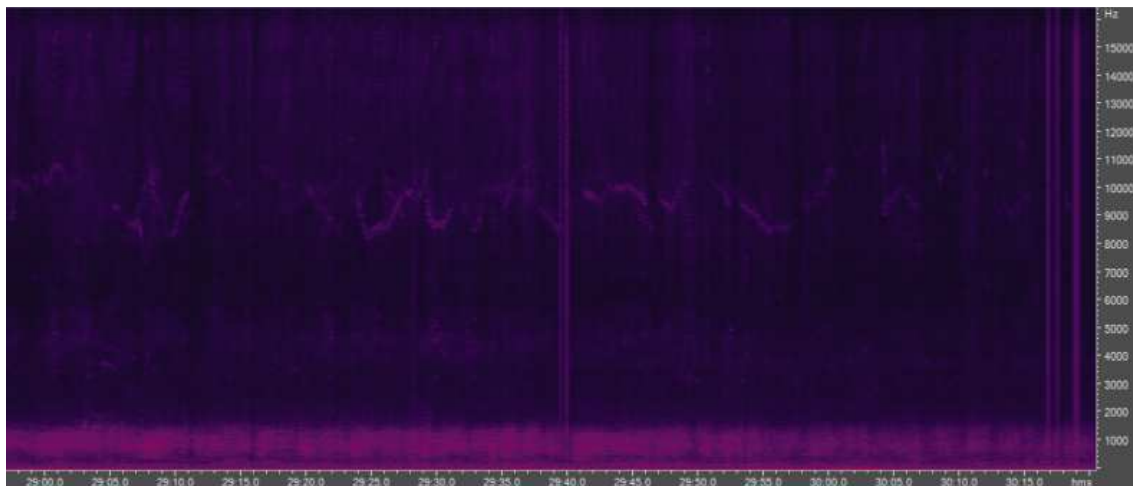


Figure 30 : clics et sifflements émis par des dauphins
Extraits d'AuralA 2010, A32C0248, 30/8/2010, 01:28min40 à 01:30min21

Lorsque le groupe de dauphins est important et qu'ils évoluent proches des hydrophones, les émissions sonores ont une forte intensité et viennent se superposer les unes aux autres (fig. 31). On retrouve les sifflements illustrés dans la figure 30, avec une énergie fréquentielle plus importante dans la bande [6kHz ; 16kHz]. Ces sons traduisent une activité de groupe importante, probablement une activité de chasse.

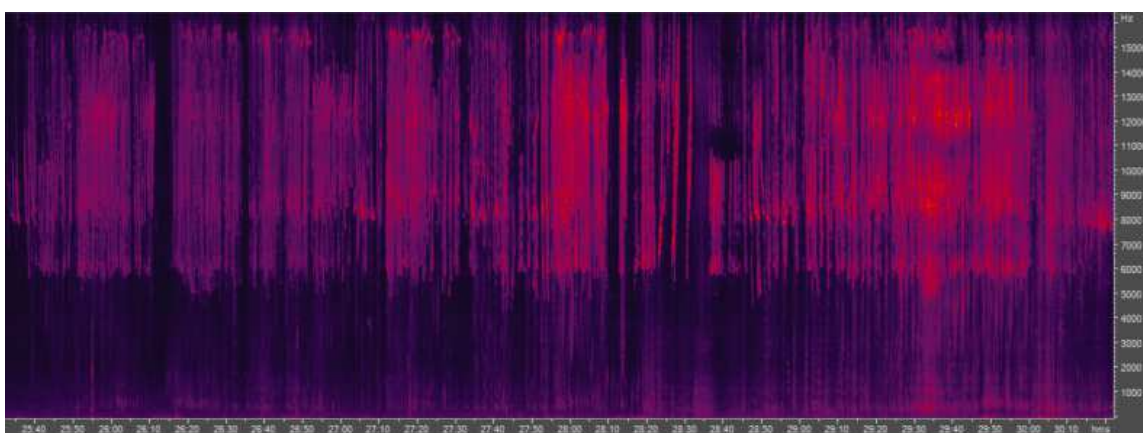


Figure 31 : plusieurs dauphins émettant des clics et des sifflements à proximité de l'hydrophone
Extraits d'AuralA 2010, A32C0254, 30/8/2010, 07:27min52 à 07:30min

Les enregistrements sur les AURAL A et B sur les 2 années montrent la présence de ces dauphins tous les jours (en 2010, d'août à novembre et, en 2011, d'avril à juillet, avec une abondance acoustique plus importante en juillet).

Certaines espèces d'odontocète sont plus facilement reconnaissables à partir de leurs émissions sonores :

- Les orques : elles ont un panel large de différents sons, tels des sifflements, mugissements, grognements, vocalises, clics. La figure 32 illustre des vocalises stridentes, dans la bande passante 1.6kHz à 4kHz.

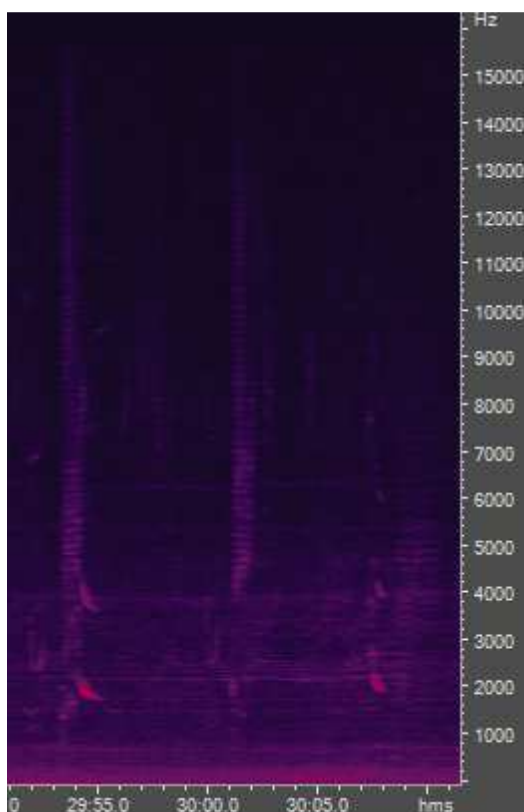


Figure 32 : vocalises d'orques

Structure pulsée suivie d'une vocalise type downsweep (2kHz) avec harmoniques

Extraits d'AuralA 2010, A32C0256, 30/8/2010, 09:29min45 à 30min

Leurs larges catalogues de sons (fig. 33 et 34) est un bon indicateur pour les détecter à l'oreille, mais cela est plus difficile de façon automatique, car il est nécessaire de définir de grands catalogues si l'on cherche à faire du matching entre les templates du dictionnaire et les sons détectés. Certaines de leurs émissions sonores sont d'ailleurs souvent classées comme provenant d'un mysticète, car faisant penser à des vocalises, notamment de baleines à bosse, de par leur structure basses fréquences.

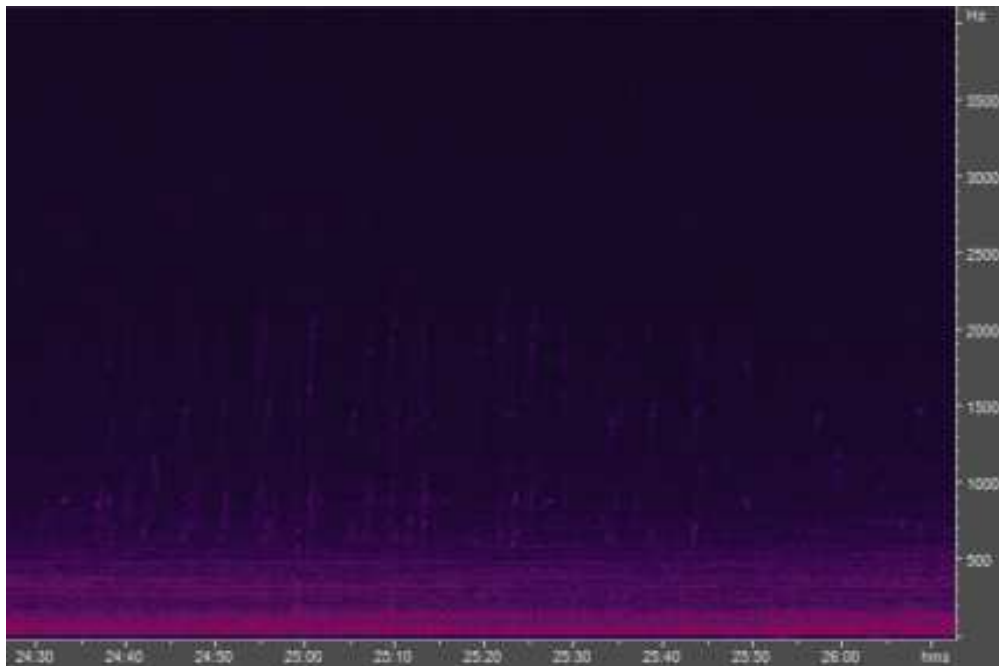


Figure 33 : vocalises d'orques

Probablement plusieurs individus émettant différents sons (quasi-) simultanément
Extraits d'AuralB, 2011, 7F210553, 18/5/2011, 21:24min25 à 26min18

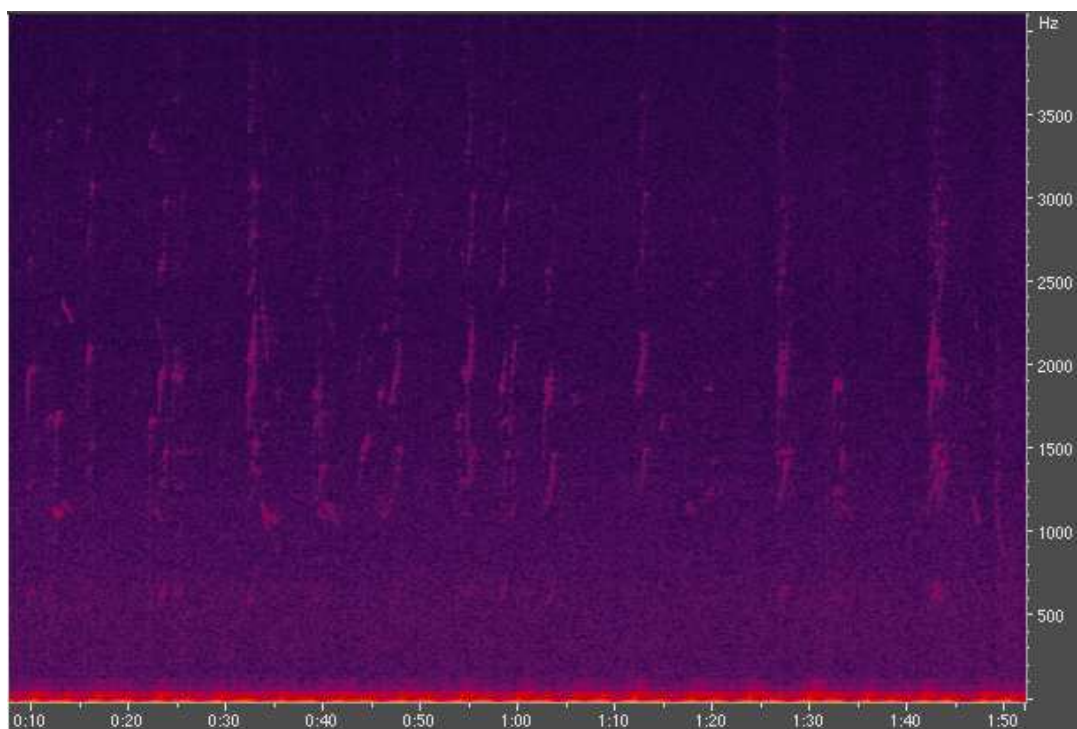


Figure 34 : vocalises d'orques

Emissions sonores contenant des hautes fréquences ($F_0 \approx 500\text{Hz}$, et harmoniques au-dessus de 1 kHz)
Structures complexes : upsweep, modulations de fréquence, avec variations rapides
Extraits d'AuralB, 2011, 7F212547, 9/8/2011, 23:00 à 23:04

- Les cachalots : leurs clics sont des sons spécifiques, facilement reconnaissable (fig. 35). Ils sont d'intensité plus forte que les autres espèces d'odontocètes, leur durée est également plus longue. La dispersion fréquentielle balaye tout le spectre avec des pics énergétiques vers 5kHz, 8kHz et 11kHz, soit relativement plus basse que pour les autres espèces d'odontocètes. Il est à noter également que les cachalots restent plus longtemps sur la zone autour des hydrophones, il est donc plus facile de détecter leurs émissions sonores (avec un rythme d'1 clic par seconde pour les regular clicks). Sur certains enregistrements, le cachalot présent est tellement proche de l'AURAL que les clics viennent faire saturés l'hydrophone, indiquant que l'intensité acoustique est supérieur à 149dB. Des creaks (émission de clics rapprochés) ont également été enregistrés correspondant à des activités de chasse.

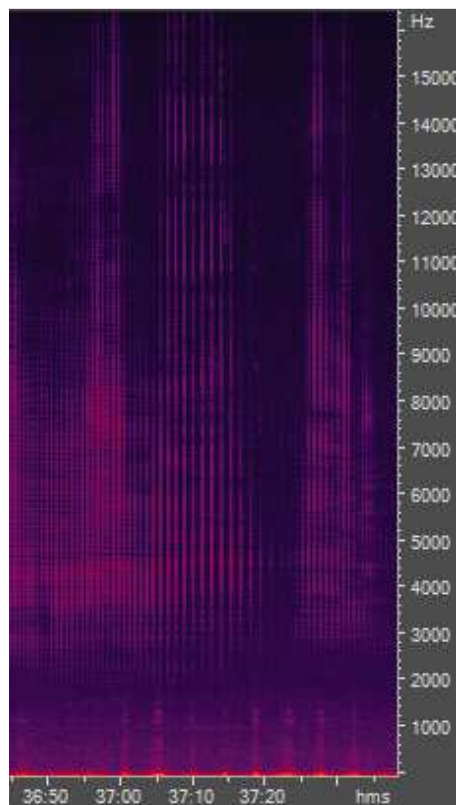


Figure 35 : clics de cachalot

Extraits d'AuralA, A32C0299, 1/9/2010, 04:37min à 04:39min

Les AURAL ont permis la détection de cachalots au nord et au sud de l'archipel et sur les 2 années consécutives (Annexe 9.3).

Les enregistrements montrent la présence de cachalots en 2010, sur l'AURAL A, les 30 et 31 août, le 1^{er} septembre, puis les 11, 20 et 21 octobre, avec en moyenne 4h30 d'enregistrements par jour (allant d'1h à 7h max).

Sur l'AURAL B, en 2010, la présence est plus importante, en septembre et en octobre. On notera qu'un (ou plusieurs) cachalot(s) reste(nt) jusqu'à 17h successives à proximité de l'hydrophone, ce qui pourrait en faire une zone de chasse particulièrement intéressante. D'autre part, le 26 septembre par exemple, un cachalot est enregistré le matin pendant 4 heures successives, puis pendant 1 heure en milieu d'après-midi, comme si il était revenu sur

la zone de l'hydrophone ou avait recommencé son activité de chasse dans cette zone. Des observations visuelles seraient les bienvenues pour confirmer l'ensemble de ces hypothèses. En 2011, des clics de cachalots ont été enregistrés sur l'AURAL A en mai, juin et juillet. Enfin, il semble que le site du nord est beaucoup plus fréquenté par les cachalots que le site du sud.

3.3.2 LES MYSTICETES

Les mysticètes n'émettent ni clic, ni sifflement. Leurs émissions sonores sont des vocalises de durée variable, de forme variable (constante fréquemment, chirp montant (up-sweep) ou descendant (down-sweep) et dont la fréquence fondamentale est souvent inférieure à 1 kHz (fig. 36 et fig. 38). Elles sont parfois émises en 2 parties successives, séparées par un silence, caractéristique du fonctionnement de leur générateur vocal. Ceci étant dit, d'une façon générale, on peut dire que ces sons sont plutôt de structures simples, comme les baleines bleues ou les rorquals communs, et d'autres, de structures plus complexes comme ceux des baleines à bosse. D'autre part, les émissions sonores peuvent contenir des harmoniques voire des formants, pour certains dépassant les 5kHz (fig. 37 et fig. 38).

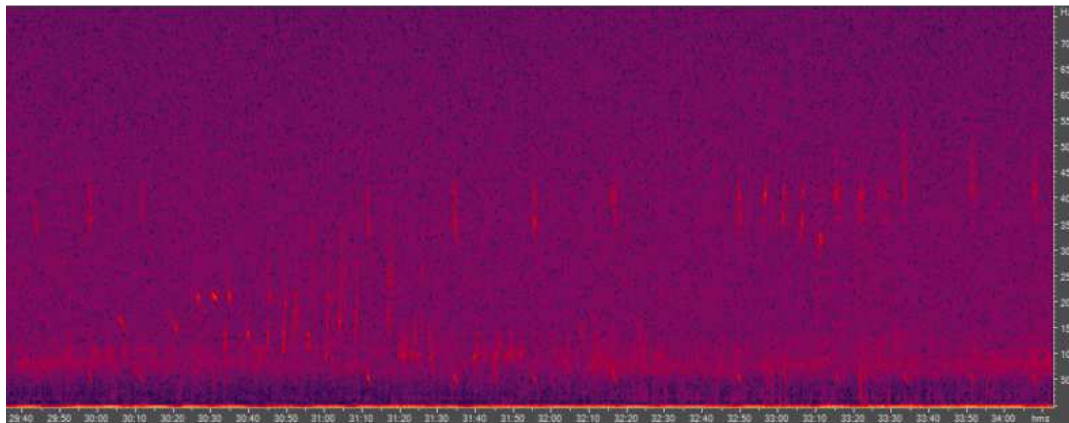


Figure 36 : vocalises de mysticète avec 2 composantes distinctes, la première entre 50Hz et 200Hz (avec des motifs répétitifs très semblables, comme le son downswEEP à 50Hz répété toutes les 20sec) et une deuxième entre 300Hz et 500Hz.

Extrait d'AuralA 2010, A32C0968, 29/9/2010, 01:32min50 à 34min15

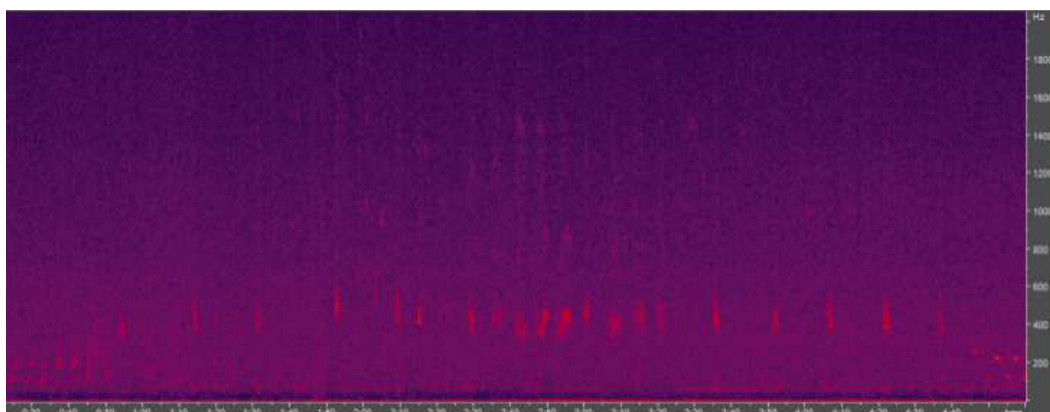


Figure 37 : vocalises de mysticètes

On retrouve des sons downswEEP entre 300Hz et 500Hz, avec des résidus plus haut en fréquence, qui probablement auraient été plus distincts si la baleine avait été plus proche de l'hydrophone

Extrait d'AuralA 2010, A32C0998, 30/9/2010, 07:00min20 à 6min10

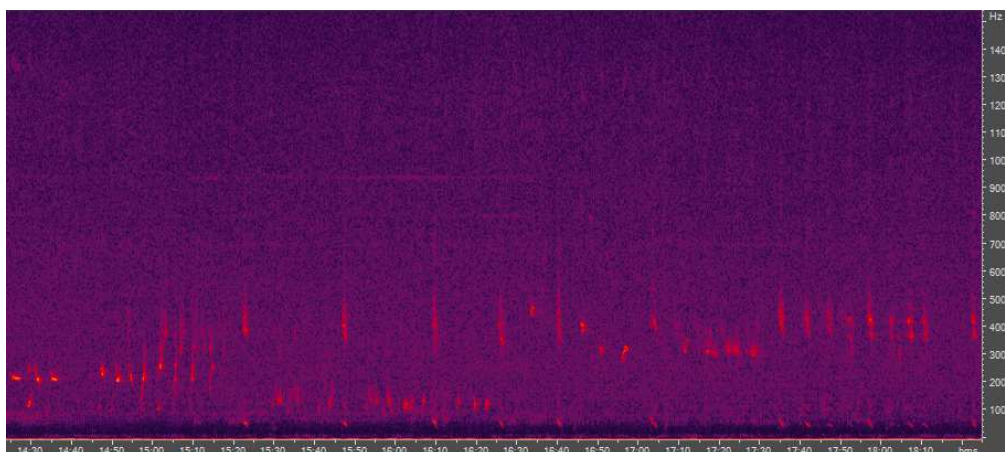


Figure 38 : vocalises de mysticètes

Extrait d'AuralA 2010, A32C1019, 1/10/2010, 07:20min46 à 18min30

Enfin, il faut noter que ces émissions sonores sont répétitives, ce qui permet à certains détecteurs automatiques de proposer un indice de confiance sur des détections d'événements. On parle de séquences lors de plusieurs émissions sonores successives émises par la même baleine dans un intervalle de temps limité. On parle également de sessions, lorsque 2 séquences successives émises par la même baleine sont détectées.

On note également des vocalises très courtes, qui ne sont pas des clics comme les odontocètes peuvent les émettre car elles n'ont pas d'organe (les lèvres phoniques ou museau de singe) pour les générer (fig. 39). Il s'agit davantage de grognements avec le principal de l'énergie fréquentielle inférieure à 1 kHz. Ces sons peuvent avoir un rôle social ou accompagner une activité de nourrissage.



Figure 39 : grognements de mysticète

Sons courts qui peuvent être répétés en séquence

Extrait d'AuralA, 2011, A32C1680, 2/7/2011, 13:29min56 à 30min55

Des espèces de mysticètes sont plus facilement identifiables que d'autres.

- 1) Les baleines bleues émettent des sons stéréotypés (fig. 40). Ces sons sont d'ailleurs utilisés pour distinguer les différentes sous-espèces qui évoluent dans différents océans. Par exemple, les baleines bleues antarctiques vont émettre des sons qui seront totalement différents des baleines bleues pygmées type Madagascar. Il en va de même pour celles de l'Atlantique Nord, où plusieurs types de vocalise ont été répertoriés (Mellinger and Clark, 2003 ; McDonald et al., 2006 ; Di Iorio, 2009).

Ces sons sont généralement émis par le même individu en séquence. Avec des hypothèses sur les intensités des émissions sonores à la source et la connaissance de la bathymétrie environnante et de certains paramètres de la colonne d'eau (pour estimer la célérité de l'onde acoustique), il est possible de donner une estimation de la distance de ces baleines à l'hydrophone (Samaran, 2008).

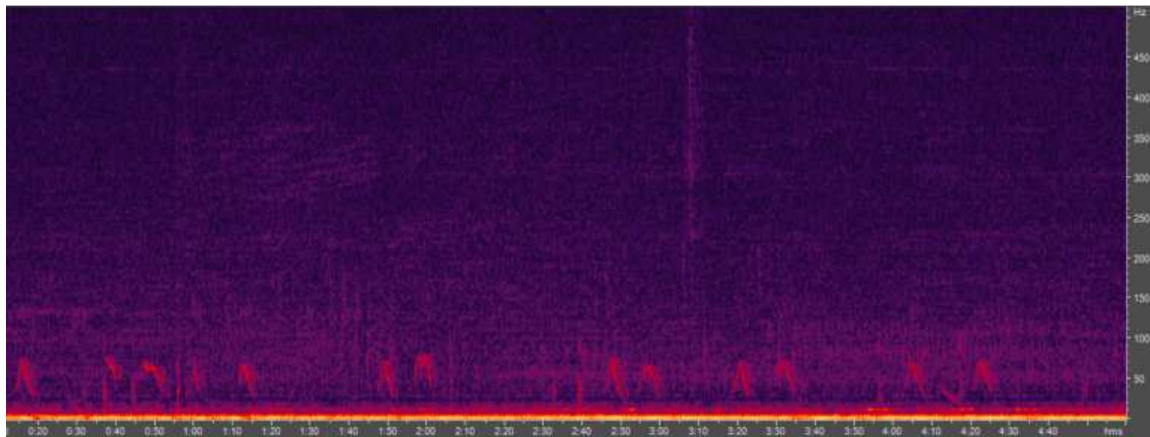


Figure 40 : vocalises de baleines bleues

Vocalises en 2 parties : une phase montante de 20Hz à 50Hz suivie immédiatement par une phase descendante.

Extrait d'AuralB, 2010, 7F210002, 19/8/2010, 19:00 à 19:04

Toutefois, lorsque les émissions sonores sont plus difficilement détectables (parce que la baleine est trop éloignée de l'hydrophone ou/et que le bruit ambiant est plus présent), il peut s'avérer délicat de statuer de façon sûre sur l'espèce, notamment lorsque ces 2 espèces sont présentes toutes les 2 en même temps dans la zone géographiques d'intérêt (fig. 41).

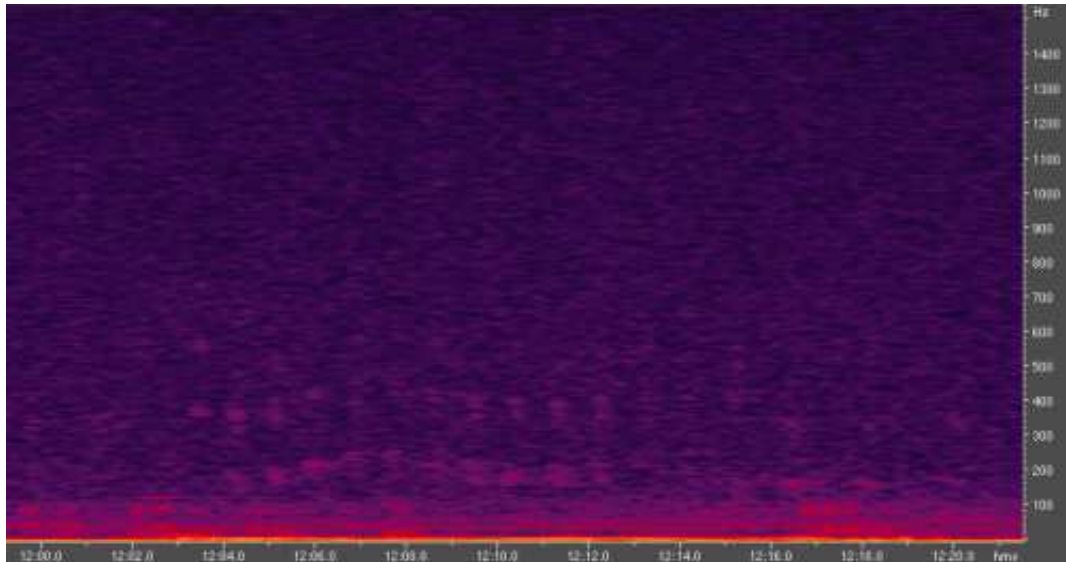


Figure 41 : vocalises de mysticètes

Les émissions sonores font penser à des sons de baleine bleue ou de rorqual commun
Extrait d'AuralB, 2010, 7F210026, 20/8/2010, 19:12 à 19:14

- 2) Dans les enregistrements acoustiques, il est plus facile d'identifier les sons des baleines à bosse. Ces dernières sont connues pour leurs chants complexes dans les zones de reproduction, mais récemment, il a été montré qu'elles sont également actives (Mattila et al., 1987, McSweeney et al., 1989).

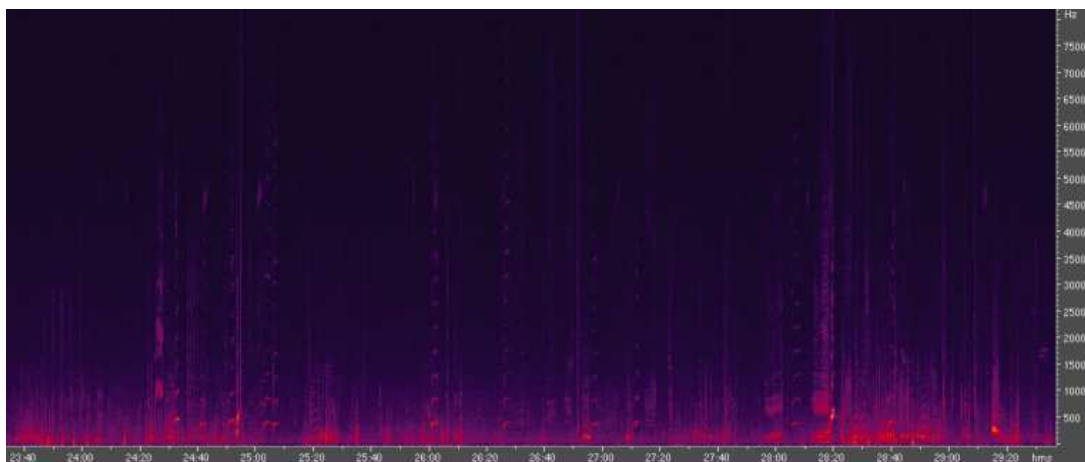


Figure 41 : vocalises de baleines à bosse

On reconnaît les unités sonores émises entre 2 silences. La fréquence fondamentale est inférieure à 300Hz. Les unités contiennent des harmoniques ou pas. Certaines peuvent être complexes (harmoniques > 5kHz, modulation fréquentielle au cours de l'émission).
Extrait d'AuralA, 2011, A32C0777, 25/5/2011, de 22:25min20 à 25min

Elles émettent des unités sonores de durée variable (allant de moins d'une seconde à plusieurs secondes) et espacées par des silences (fig. 39). Ces unités peuvent avoir ou pas des harmoniques, du fait de la structure spécifique de leur générateur sonore (Adam et al., 2013 ; Cazau et al., 2013). Du fait de ces variations sonores, leurs chants sont considérés comme complexes. Et il est plus facile de les distinguer par rapport à des émissions d'autres espèces de mysticètes.

Certaines unités sonores sont répétées systématiquement et organisées dans le même ordre, faisant référence à un leitmotiv dans les chants émis pendant la période de reproduction. On retrouve ces caractéristiques dans ces enregistrements, montrant que ces baleines sont vocales et qu'elles ont tendance à ré-émettre des sons proches successivement (fig. 42 et 43).

Les sons émis par les baleines à bosse sont des sons sociaux mais sont également utilisés dans leurs activités de chasse. Il s'agit principalement de sons simples, courts et peu construits (par exemple, fig. 43).



Figure 42 : vocalises de baleines à bosse

Répétition d'unités sonores de forme et de contenu fréquentiel proches
Extrait d'AuralA, 2011, A32C0779, 26/5/2011, 00:22min à 24min15

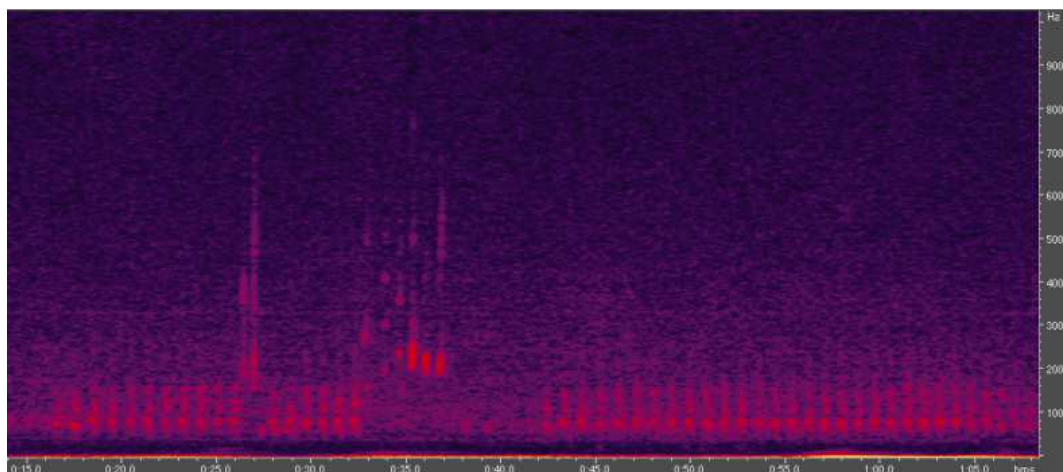


Figure 43 : vocalises de baleines à bosse

Unités sonores basse fréquence (<300 Hz) répétées successivement
Extrait d'AuralA, 2011, A32C1670, 2/7/2011, 03:01min15 à 2min05

Il est plus compliqué de savoir combien de baleines sont présentes en même temps sur une zone géographique (fig. 44). Premièrement, il n'est pas sûr que tous les individus émettent des vocalises. Par exemple, pour les baleines bleues, le doute porte sur les femelles. Pour les baleines à bosse, on sait que les femelles émettent nettement moins d'unités sonores que les males, notamment dans les zones de reproduction. Deuxièmement, les cétacés ont tendance à émettre des sons simultanément, et plusieurs vocalises peuvent donc se chevaucher, ce qui les rend particulièrement difficile à détecter. Troisièmement, il n'existe pas, à ce jour, de signature acoustique individuelle chez les mysticètes, ce qui ne nous permet d'identifier les individus directement par leurs émissions sonores (actuellement, les seules façons de faire sont la génétique et la photo-identification). Quatrièmement, il n'existe pas d'approches robustes pour donner une estimation du nombre d'individus à partir d'une densité acoustique.

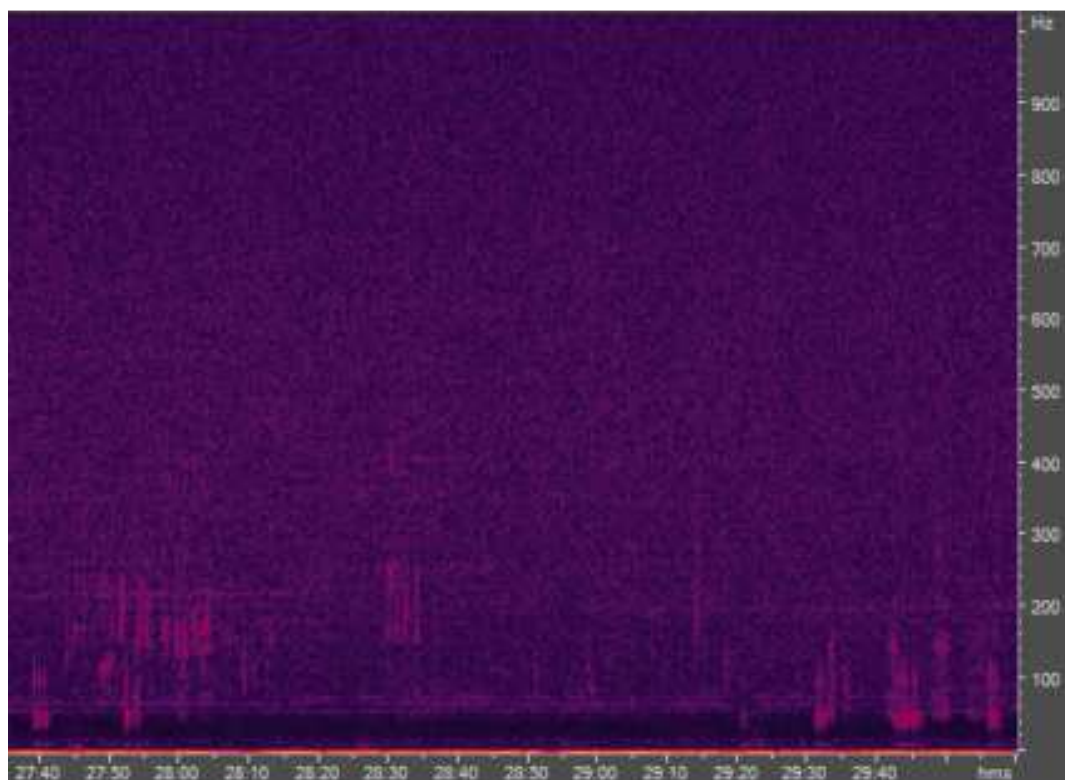


Figure 44 : vocalises de mysticète (inférieur à 300Hz)

Plusieurs individus pourraient être à l'origine de ces vocalises diverses, notamment du fait qu'elles sont répétées de façon très proches (l'interval inter cri est le critère utilisé par les scientifiques pour mettre en évidence la présence d'une ou de plusieurs baleines dans les enregistrements acoustiques).

Extrait d'AuralA, 2010, A32C1099, 4/10/2010, 12:27min40 à 30min

Les détections de mysticètes dans ce travail montrent une présence au nord et au sud⁸ de St Pierre et Miquelon en aout, septembre et octobre pour 2010, et en avril, mai, juin et juillet pour 2011 (Annexe 9.4).

⁸ Davantage de mysticètes ont été détectés au sud qu'au nord, du fait probablement de la présence plus important de bruit sur l'hydrophone AURAL B.

4. DISCUSSION

Le recours à l'acoustique passive pour détecter les présences de cétacés autour de l'archipel de St Pierre-et-Miquelon a été motivé d'une part par le manque de moyens pour procéder à des observations visuelles régulières sur zone et d'autre part par les conditions météorologiques difficiles une partie de l'année.

4.1.1 LA BASE DE DONNEES

A ma connaissance, il s'agit d'une première sur la zone de St Pierre-et-Miquelon, rendant impossible les comparaisons avec les années antérieures. Les résultats présentés ici pourront éventuellement servir de référence.

La base de données acoustiques collectée au cours de ces 2 années est particulièrement riche et ce premier travail ouvre des perspectives :

- Sur ces données. D'abord, il s'agit d'identifier de façon plus précise les différentes espèces présentes. Pour mieux détailler le groupe de dauphins, il conviendrait de trouver des références descriptives dans la littérature ou de procéder à des enregistrements opportunistes in situ lorsque les différentes espèces sont présentes autour du bateau. Il en est de même pour les mysticètes, avec la nécessité de répertorier toutes les différentes vocalises, pour ensuite procéder à des hypothèses sur les espèces probables qui les a émises. Ces identifications permettraient d'affiner les résultats, tant en terme de fréquentation qu'en terme de distribution spatiale et temporelle autour de l'archipel. Deuxièmement, il serait intéressant de coupler les informations obtenues via ces observations acoustiques avec des observations visuelles, même si ces dernières sont ponctuelles. Troisièmement, ces enregistrements représentent clairement d'excellentes références pour tester et évaluer des méthodes automatiques de détection et de classification : grande diversité d'émissions sonores de différentes espèces et différents individus de la même espèce, caractéristiques variantes en temps (d'amplitude très faible à la saturation) et en fréquence (toutes les bandes fréquentielles entre 0 et la fréquence de Nyquist sont balayées), présence de bruit ambiant variant. Il serait intéressant de proposer une étude comparative de différentes techniques de détection automatique pour évaluer celle qui correspond au mieux aux caractéristiques de cette base de données diverses. Il sera utile de faire un bilan détections correctes / fausses détections sur ces enregistrements pour donner une estimation du taux de détection.
- Sur de futures données. Les enregistrements acquis ont montré la grande diversité et le grand taux de fréquentation des sites nord et sud. Premièrement, ces déploiements ont servi d'étalonnage dans la mesure où c'était la première fois que de tels instruments étaient utilisés dans la zone. Plusieurs choix sur les paramètres des systèmes d'acquisition ont été testés, comme le gain, la durée d'enregistrement et le choix de la fréquence d'échantillonnage :
 - o le choix du gain a été motivé par la volonté de détecter le plus d'individus, c'est-à-dire y compris lorsque les cétacés émettent des sons de faible amplitude ou lorsqu'ils évoluent loin des hydrophones. Ce choix était

raisonnable, même si parfois, l'hydrophone vient à saturer montrant ainsi que les cétacés émettent des sons à plus de 149dB re 1μPa à 1m. Je pense qu'il faut rester sur ce choix dans la mesure où, pour l'instant, nous n'attachons pas d'importance au contenu exact des émissions sonores.

- o Pour la durée d'enregistrement, 2 solutions ont été retenues : des enregistrements continus de 45min par heure pour 2010, et des enregistrements continus de 30min par heure pour 2011. Ainsi, les temps aveugles sont respectivement 15min et 30min, ce qui par exemple, correspondrait à 1 et 2km si on considère un cétacé évoluant à 4km/h. Dans ce cas, pour qu'il soit détecté par l'hydrophone (sensibilité minimale de 59dB re 1μPa à 1m (§2.1.2), il faudra qu'il émette un son supérieur respectivement à 117dB et 119dB. Finalement, on voit que ces 2 tests ne changent pas grand-chose dans les résultats pour 2 raisons : d'une part, les cétacés n'émettent pas un seul son puis redeviennent silencieux. Au contraire, les sons sont répétitifs, avec des intervalles inter cris allant de moins d'une seconde à quelques minutes. D'autre part, parce qu'il sera possible de recourir à des analyses statistiques pour combler le manque d'information correspondant à ces temps aveugles.
- o Pour la fréquence d'échantillonnage, il a été montré qu'elle était très souvent particulièrement juste, puisque les sons (clics, vocalises ou sifflements atteignaient facilement 16kHz laissant supposer que des fréquences supérieures pourraient exister). Ceci étant dit, pour des déploiements futurs, l'important sera de trouver un compromis entre la place de stockage en mémoire et l'autonomie du système d'enregistrement. La fréquence d'échantillonnage a un rôle crucial à jouer sur ces 2 paramètres, et comme précédemment, le fait que l'on s'intéresse ici plus à la détection qu'à l'étude du contenu exact des sons émis, on peut se permettre de limiter cette fréquence d'échantillonnage à 16kHz.

4.1.2 LES EFFETS DE MASQUAGE

L'analyse montre différents types de masquage possible pour la détection de sons émis par ces cétacés.

- Les bruits du matériel. Il faut citer le bruit du matériel qui est présent dans les enregistrements. Comme nous l'avons vu précédemment, ce bruit vient dégrader l'ensemble de la bande fréquentielle, avec une énergie particulière sur les fréquences inférieures à 1kHz. Du coup, ce type de bruit rend difficile la détection d'émissions de mysticètes en particulier. Par contre, il est facile à corriger, notamment en prêtant attention à la fixation des différents éléments à l'intérieur du boîtier (et notamment des piles) et au dispositif d'encrage (pas de chaîne ou de maillons en fer).

- La pluie. La pluie se comporte comme un bruit blanc, elle génère un souffle et vient masquer de façon importante l'ensemble de la bande fréquentielle. Dans ce cas, même les odontocètes sont particulièrement difficiles à détecter à partir de leurs émissions sonores. Il ne s'agit pas d'un problème de profondeur (les hydrophones étaient mouillés à -50m et -60m en dessous de la surface). Et on peut dire que, dans notre travail, cette méthode est finalement dépendante de l'activité pluvieuse de cette région. Il sera nécessaire, pour le futur, de travailler sur un filtre qui permettrait de réduire ce bruit ou de rehausser le signal.
- La présence du trafic maritime vient rajouter du bruit sur les enregistrements et parfois faire saturer les hydrophones. Ceci étant dit, il ne s'agit pas d'un problème pour 2 raisons : d'une part, parce que le trafic est relativement faible et que les bateaux ne restent pas en permanence sur zone⁹⁹. Le masquage est donc localisé en temps et revient, au pire, à considérer l'hydrophone comme non utilisable pendant cette période. D'autre part, les sons générés par ces bateaux sont énergétiquement basse fréquence, et donc viennent masquer en particulier les sons simples des mysticètes (type rorqual commun ou rorqual bleu). On peut détecter des sifflements, des clics ou des vocalises présentant des harmoniques supérieures à 5kHz en présence d'un bateau.
- Présence de plusieurs cétacés simultanément. Les émissions sonores de plusieurs individus simultanément peuvent se superposer et donc se masquer (celle d'intensité la plus forte venant masquer celle d'intensité la plus faible, comme cela est également le cas en acoustique aérienne). Il faut aussi noter le fait que certains individus sont venus faire saturer l'hydrophone, et là aussi, la saturation fait que les autres sons ne sont alors pas détectables.

5. RECOMMANDATIONS

Le recours à des hydrophones déployés en station semi-permanente est une méthode particulièrement intéressante dans cette zone d'intérêt. Les enregistrements ont montré une grande présence et une grande activité de cétacés. Les recommandations dans la suite de ce travail pourraient être :

- Poursuivre l'effort d'observation. Il existe plusieurs méthodes d'observation des cétacés. Ces observations n'ont de sens que si elles s'inscrivent dans la durée. On pourrait également inciter l'achat de nouveaux enregistreurs afin de couvrir une zone plus large d'enregistrement, voire de permettre un enregistrement continu pendant toute l'année (via un système de roulement).

⁹⁹ Il ne s'agit pas d'un chenal type mer du nord ou Gibraltar dans lequel les bateaux se succèdent sans discontinuité pendant la journée. Dans cette base de données, les bateaux étant de passage, leur bruit vient masquer de façon temporaire les autres sons.

- Minimiser les inconvénients. On peut recenser 2 problèmes majeurs : la perte d'un instrument et la présence de bruit. Il faudra trouver des solutions adaptées pour s'affranchir de ces 2 situations.
- Comparer aux données collectées à Terre-Neuve. D'autres observations visuelles et acoustiques ont été réalisées sur Terre-Neuve. Il serait intéressant de faire le bilan de ces observations, suivant les mêmes protocoles de collecte et d'analyse pour faciliter les comparaisons. A priori, on peut s'attendre à des résultats similaires du fait que ce sont les mêmes espèces de cétacés qui fréquentent ces lieux. Par contre, il serait intéressant d'avoir une idée plus précise sur leur localisation et éventuellement mettre en évidence des préférences potentielles de fréquentation, voire d'envisager de préciser un statut de résidence / semi-résidence / passage pour les différentes espèces. On pourrait imaginer également de procéder à un suivi des espèces si les hydrophones sont placés relativement proches les uns des autres.

6. CONCLUSION

L'acoustique passive au nord et au sud de l'archipel de St Pierre-et-Miquelon a montré la présence régulière d'espèces de cétacés. La détection de cachalot a été faite par hydrophone, sans que des observations visuelles n'aient été faites.

Ces données collectées peuvent servir à une étude écologique fine, notamment en précisant les taux et les durées de fréquentation des zones. Ainsi, par exemple, il serait intéressant d'investiguer la présence des cachalots (la zone est peu profonde) et leur stratégie de chasse (présence en moyenne de plus de 4h sur zone), en mettant en opposition le fait qu'ils sont finalement assez rares. Il serait intéressant par exemple de pouvoir les suivre, ou de positionner une balise Argos pour mettre en évidence leurs mouvements sur une plus grande échelle de temps. Il serait également intéressante de faire des statistiques sur les fréquentations diurne/nocturne de ces chasses.

Nous pouvons nous poser ces mêmes questions pour les autres espèces, que ce soit des odontocètes et des mysticètes, avec peut-être une préférence pour les espèces résidentes, comme les orques potentiellement. Un des travaux qui seraient importants serait de préciser le statut de résidence de ces espèces.

7. REFERENCES

- Adam, O., Cazau, D., Gandilhon, N., Fabre, B., Laitman, J. T., and Reidenberg, J. S. (2013) New acoustic model for humpback whale sound production, *Applied Acoustics*, 74(10): 1182–1190
- Andrew-Goff, V., Patterson, T., Hindell, M., Charrassin, J.-B. Accounting for uncertainty when extracting location-specific environmental information - a case study utilising GPS positions of ice-foraging Weddell seals. *J. Anim. Ecol.* (soumis).

- Cazau, D., Adam, O., Laitman, J. T., and Reidenberg, J. S. (2013) Understanding the intentional acoustic behavior of humpback whales: a production-based approach, *Journal of the Acoustical Society of America (JASA)*, 143(3): 2268-2273
- Di Iorio, L. (2009). Vocal communication in blue whales (*Balaenoptera musculus*) and noise interference, University of Zurich, Faculty of Science.
- Matilla, D. K., Guinee, L. N., and Mayo, C. A. (1987). Humpback whale songs on a North Atlantic feeding ground, *Journal of Mammalogy*, 68: 880-883
- McDonald, M. A., Mesnick, S. L., and Hildebrand, J. A. (2006). Biogeographic characterisation of blue whale song worldwide: using song to identify populations, *J. Cetacean Res. Manage.* 8(1): 55-65.
- McSweeney, D. J., Chu, K. C., Dolphin, W. F., and Guinee, L. N. (1989). North pacific humpback whale songs: a comparison of Southeast Alaskan feeding ground songs with Hawaiian wintering ground songs. *Marine Mammal Science*, 5: 39-148
- Mellinger, D., and Clark, C.W. (2003). Blue Whale (*Balaenoptera musculus*) sounds from the North Atlantic, *J. Acoust. Soc. Am.* 114(2): 1108-1119.
- Samaran, F. (2008) Analyse des signaux acoustiques d'origine biologiques enregistrés dans l'Océan Indien : implication dans le recensement et le suivi des mouvements saisonniers des cétacés, Université de la Rochelle
- Southall, B. L., Bowles, A. E., Ellison, W. T., Finneran, J. J., Gentry, R. L., Greene, C. R., Kastak, D., Ketten, D. R., Miller, J. H., Nachtigall, P. E., Richardson, W. J., Thomas, J. A., and Tyack, P. L. (2007). Marine mammal noise exposure criteria: initial scientific recommendations. *Aquatic mammals*, 33: 411-521

8. REMERCIEMENTS

Merci à Prof Gianni Pavan (Cibra, Italie), Prof Hervé Glotin (LSIS, Université de Toulon), Dr Flore Samaran (La Rochelle), Julien Delarue (Jasco, Canada) pour leur aide dans l'identification et la confirmation de certaines espèces.

9. ANNEXES

9.1. PRESENCE DE BATEAUX MOTORISES

		Passage de bateaux à moteur	
		Jours	Heures
2010	AURALA	Du 19 au 20/08	De 17h à 3h45, puis de 8h à 9h45, puis de 15h à 15h45
		21/08	De 5h à 5h45, de 13h à 13h45, puis de 16h à 17h45
		22/08	De 1h à 1h45, de 5h à 8h45, puis de 19h 19h45
		23/08	De 3h à 4h45, de 9h à 9h45, puis de 11h à 13h45
		24/08	De 0h à 0h45, de 9h à 10h45 puis de 18h à 19h45
		25/08	De 2h à 2h45, de 6h à 6h45, puis de 20h à 20h45
		26/08	De 1h à 1h45, de 7h à 8h45, de 10h à 11h45
		Du 26 au 27/08	De 22h à 1h45, de 17h à 18h45, de 23h à 23h45
		28/08	De 2h à 2h45, de 6h à 6h45, de 11h à 12h45, de 16h à

	16h45, de 20h à 20h45
29/08	De 2h à 2h45, de 11h à 11h45, de 18h à 22h45
30/08	De 8h à 9h45, de 12h à 12h45
31/08	De 8h à 11h45, de 20h à 21h45
01/09	De 2h à 2h45
02/09	De 6h à 7h45, de 21h à 22h45
03/09	De 1h à 1h45, de 4h à 6h45, de 10h à 10h5
04/09	De 6h à 6h45, de 10h à 11h45
05/09	De 13h à 15h45
06/09	De 9h à 9h45, de 11h à 12h45, de 19h à 19h45
07/09	De 6h à 6h45, de 9h à 9h45
08/09	De 2h à 2h45, de 16h à 17h45
09/09	De 21h à 22h45
10/09	De 2h à 2h45
11/09	De 4h à 5h45, de 11h à 11h45, de 20h à 20h45
12/09	De 1h à 2h45, de 23h à 23h45
13/09	De 2h à 3h45, de 5h à 6h45, de 19h à 19h45
14/09	De 4h à 4h45, de 10h à 10h45, de 13h à 13h45, de 23h à 23h45
15/09	De 1h à 1h45, de 6h à 6h45, de 20h à 20h45
16/09	De 6h à 7h45, de 10h à 11h45, de 21h à 21h45, de 23h à 23h45
17/09	De 7h à 8h45
18/09	De 3h à 3h45, de 12h à 13h45, de 21h à 21h45
19/09	De 2h à 2h45, de 7h à 9h45, de 11h à 11h45, de 13h à 14h45
20/09	De 10h à 10h45, de 13h à 13h45, de 23h à 23h45
24/09	De 22h à 22h45
25/09	De 8h à 8h45, de 13h à 13h45, de 15h à 15h45
26/09	De 0h à 1h45
28/09	De 8h à 8h45, de 11h à 11h45, de 17h à 18h45, de 21h à 21h45
29/09	De 8h à 8h45
30/10	De 16h à 16h45
Du 30 au 01/10	De 23h à 00h45
01/10	De 12h à 12h45
02/10	De 0h à 1h45, de 12h à 12h45
03/10	De 9h à 9h45, de 15h à 15h45, de 20h à 20h45
04/10	De 1h à 1h45, de 7h à 7h45, de 19h à 19h45
05/10	De 2h à 4h45, de 9h à 9h45, de 14h à 14h45, de 18h à 18h45
07/10	De 5h à 5h45
08/10	De 3h à 3h45
09/10	De 19h à 19h45
10/10	De 3h à 3h45
11/10	De 4h à 7h45, puis de 11h à 11h45
13/10	De 2h à 2h45, de 23h à 23h45
14/10	De 3h à 4h45, de 19h à 19h45
15/10	De 0h à 0h45
17/10	De 10h à 12h45, de 20h à 21h45
18/10	De 2h à 2h45, de 18h à 18h45, de 21h à 21h45

		20/10	De 1h à 1h45, de 14h à 14h45, de 23h à 23h45
		21/10	De 20h à 20h45
		22/10	De 4h à 5h45
		24/10	De 10h à 10h45, de 13h à 14h45, de 22h à 22h45
		25/10	De 2h à 3h45, de 6h à 7h45, de 11h à 13h45, de 15h à 15h45
		26/10	De 5h à 6h45
		27/10	De 4h à 4h45, de 8h à 8h45
		28/10	De 22h à 23h45
		29/10	De 20h à 22h45
		30/10	De 11h à 12h45
		02/11	De 3h à 3h45, de 14h à 15h45
	AURALB	19/08	De 17h à 18h45
		25/08	De 11h à 11h45
		28/08	De 13h à 13h45
		29/08	De 8h à 8h45
		30/08	De 8h à 8h45, de 15h à 15h45
		07/09	De 18h à 18h45
		14/09	De 13h à 13h45
		13/10	De 13h à 13h45, de 21h à 21h45
		17/10	De 7h à 7h45
		20/10	De 14h à 14h45
		21/10	De 6h à 6h45
		24/10	De 0h à 0h45
		25/10	De 18h à 18h45
		27/10	De 0h à 2h45
2011	AURAL A	24/04	De 16h01 à 16h31, de 23h01 à 23h31
		25/04	De 7h01 à 7h31
		26/04	De 5h01 à 5h31, de 17h01 à 17h31, de 23h01 à 23h31
		27/04	De 1h01 à 1h31, de 4h01 à 4h31, 18h à 18h31
		28/04	De 19h01 à 19h31, de 22h01 à 23h31
		29/04	De 18h01 à 18h31
		30/04	De 4h01 à 8h31, de 11h01 à 20h31
		02/05	De 1h01 à 1h31, de 14h01 à 15h31
		03/05	De 9h01 à 9h31
		04/05	De 2h01 à 2h31, de 11h01 à 11h31, de 16h01 à 16h31
		05/05	De 9h01 à 12h31, de 16h01 à 16h31
		06/05	De 0h01 à 2h31
		07/05	De 5h01 à 5h31, de 12h01 à 14h31
		08/05	De 0h01 à 0h31, de 7h01 à 7h31, de 10h01 à 10h31, de 17h01 à 19h31
		09/05	De 8h01 à 8h31
		11/05	De 16h01 à 16h31
		Du 12 au 13/05	De 23h01 à 0h31
		13/05	De 12h01 à 13h31, de 20h01 à 22h31
		14/05	De 1h01 à 1h31, de 4h01 à 5h31, de 10h01 à 10h31, de 13h01 à 13h31, de 18h01 à 18h31
		15/05	De 22h01 à 23h31
		16/05	De 0h01 à 0h31, de 8h01 à 8h31
		17/05	De 4h01 à 4h31, de 14h01 à 15h31, de 19h01 à 20h31
		18/05	De 1h01 à 1h31, de 7h01 à 7h31, de 19h01 à 20h01, de

	22h01 à 22h31
19/05	De 12h01 à 14h31, de 19h01 à 20h31
20/05	De 7h01 à 7h31, de 17h01 à 17h31, de 20h01 à 21h31
21/05	De 7h01 à 7h31
22/05	De 13h01 à 13h31, de 17h01 à 17h31
23/05	De 8h01 à 8h31, de 17h01 à 17h31
24/05	De 11h01 à 12h31
25/05	De 16h01 à 16h31
26/05	De 3h01 à 3h31, de 6h01 à 8h31, de 12h01 à 12h31, de 14h01 à 14h31, de 18h01 à 19h31
28/05	De 5h01 à 5h31
29/05	De 1h01 à 1h31, de 7h01 à 7h31, de 16h01 à 16h31, de 19h01 à 20h31
30/05	De 17h01 à 17h31
31/05	De 6h01 à 6h31, de 14h01 à 14h31
01/06	De 12h01 à 12h31
02/06	De 5h01 à 5h31, de 22h01 à 22h31
03/06	De 5h01 à 5h31
04/06	De 12h01 à 12h31
05/06	De 12h01 à 12h31
06/06	De 2h01 à 2h31, de 16h01 à 16h31
07/06	De 10h01 à 12h31, de 17h01 à 17h31
08/06	De 10h01 à 10h31, de 15h01 à 15h31
Du 08 au 09/06	de 22h01 à 2h31
09/06	De 8h01 à 8h31, de 20h01 à 20h31
10/06	De 6h01 à 6h31, de 14h01 à 14h31
11/06	De 8h01 à 9h31, 11h01 à 12h31
13/06	De 0h01 à 0h31, de 6h01 à 6h31, de 9h01 à 10h31, de 19h01 à 19h31
14/06	De 7h01 à 7h31, de 9h01 à 9h31, de 19h01 à 22h31
16/06	De 5h01 à 5h31, de 9h01 à 9h31, de 17h01 à 20h31
17/06	De 5h01 à 6h31, de 13h01 à 14h31
18/06	De 2h01 à 2h31, de 8h01 à 8h31
19/06	De 6h01 à 6h31, de 8h01 à 8h31, de 13h01 à 13h31
21/06	De 4h01 à 4h31, de 7h01 à 8h31, de 21h01 à 23h31
22/06	De 3h01 à 3h31, de 17h01 à 22h31
23/06	De 9h01 à 9h31, de 16h01 à 16h31, de 18h01 à 18h31, de 20h01 à 20h31
24/06	De 1h01 à 03h31, de 6h01 à 7h31, de 10h01 à 10h31
25/06	De 5h01 à 5h31, de 10h01 à 10h31, de 20h01 à 22h31
26/06	De 3h01 à 4h31, de 11h01 à 13h31
27/06	De 2h01 à 5h31, de 9h01 à 9h31, de 16h01 à 16h31
28/06	De 1h01 à 1h31, de 3h01 à 3h31, de 6h01 à 6h31, de 9h01 à 9h31, de 23h01 à 23h31
29/06	De 3h01 à 4h31, de 7h01 à 7h31, de 21h01 à 21h31
30/06	De 3h01 à 4h31, de 9h01 à 9h31
01/07	De 6h01 à 6h31
02/07	De 2h01 à 2h31, de 4h01 à 4h31, de 6h01 à 7h31, de 11h01 à 13h31
03/07	De 7h01 à 8h31, de 12h01 à 12h31
04/07	De 2h01 à 4h31, de 22h01 à 22h31

	05/07	De 4h01 à 4h31, de 6h01 à 6h31, de 9h01 à 9h31, de 14h01 à 16h31
	Du 05 à 06/07	De 23h01 à 03h31
	06/07	De 21h01 à 22h31
	07/07	De 8h01 à 8h31, de 18h01 à 19h31
	08/07	De 8h01 à 10h31, de 13h01 à 16h01
	09/07	De 1h01 à 2h31, de 8h01 à 8h31, de 10h01 à 10h31, de 14h01 à 14h31
	10/07	De 18h01 à 18h31
	12/07	De 8h01 à 8h31, de 10h01 à 10h31, de 14h01 à 14h31
	13/07	De 1h01 à 1h31, de 11h01 à 11h31, de 16h01 à 17h31
	14/07	De 3h01 à 4h31, de 9h01 à 10h31
	15/07	De 14h01 à 14h31
	16/07	De 0h01 à 5h31, de 8h01 à 8h31, de 22h01 à 22h31
	17/07	De 0h01 à 0h31, de 13h01 à 13h31
	Du 18 au 19/07	De 23h01 à 0h31
	19/07	De 6h01 à 9h31, de 17h01 à 17h31
	20/07	De 2h07 à 2h31, de 6h01 à 7h31, de 14h01 à 14h31, de 17h01 à 19h31, de 22h01 à 22h31
	21/07	De 18h01 à 18h31, de 20h01 à 20h31
	22/07	De 1h01 à 1h31, de 15h01 à 20h31
	23/07	De 2h01 à 2h31, de 6h01 à 6h31, de 12h01 à 12h31
AURALB	25/04	De 21h à 21h30
	27/04	De 5h à 5h31
	30/4	De 0h à 4h30, de 13h à 15h30
	04/05	De 6h à 11h30, de 15h à 15h30
	07/05	De 13h à 13h30, de 16h à 16h30, de 20h à 20h30
	08/05	De 9h à 9h30
	09/05	De 14h à 14h30
	10/05	De 3h à 3h30, de 15h à 15h30
	11/05	De 2h à 2h30
	13/05	De 13h à 14h30
	14/05	De 13h à 13h30, de 17h à 18h30
	15/05	De 5h à 5h30, de 16h à 16h30, de 23h à 23h30
	16/05	De 8h à 9h30, de 15h à 17h30
	17/05	De 17h à 17h30, de 19h à 19h30, de 22h à 22h30
	18/05	De 19h à 19h30
	20/05	De 13h à 16h30
	24/05	De 8h à 8h30, de 18h à 18h30
	26/05	De 4h à 4h30, de 14h à 15h30, de 18h à 19h30
	27/05	De 17h à 17h30
	28/05	De 5h à 5h30
	29/05	De 13h à 13h30
	31/05	De 14h à 14h30
	01/06	De 6h à 6h30
	05/06	De 1h à 1h30
	06/06	De 17h à 17h30
	07/06	De 7h à 7h30
	08/06	De 0h à 0h30, de 18h à 18h30
	09/06	De 1h à 2h30, de 17h à 17h30
	11/06	De 2h à 2h30

13/06	De 8h à 8h30, de 17h à 17h30
16/06	De 20h à 22h30
17/06	De 3h à 4h30, de 9h à 9h30, de 13h à 13h30, de 18h à 18h30
18/06	De 8h à 8h30
21/06	De 2h à 2h30, de 6h à 6h30, de 11h à 13h30
23/06	De 18h à 18h30
24/06	De 15h à 15h30, de 18h à 18h30
25/06	De 11h à 11h30, de 16h à 16h30, de 20h à 20h30
27/06	De 13h à 13h30
28/06	De 19h à 19h30
29/06	De 19h à 19h30
02/07	De 6h à 6h30, de 8h à 8h30
03/07	De 4h à 4h30, de 11h à 11h30, de 16h à 16h30, de 18h à 18h30
04/07	De 13h à 14h30
05/07	De 15h à 16h30, de 20h à 22h30
07/07	De 3h à 3h30, de 9h à 9h30, de 14h à 14h30
08/07	De 9h à 9h30, de 14h à 14h30
11/07	De 13h à 14h30
13/07	De 7h à 7h30
15/07	De 17h à 17h30
17/07	De 14h à 14h30, de 18h à 18h30
20/07	De 13h à 13h30
25/07	De 3h à 3h30, de 18h à 18h30
26/07	De 9h à 9h30
27/07	De 18h à 18h30
29/07	De 9h à 9h30, de 11h à 14h30
30/07	De 15h à 17h30
02/08	De 11h à 12h30
05/08	De 17h à 18h30
07/08	De 20h à 20h30
08/08	De 12h à 12h30, de 18h à 18h30
09/08	De 12h à 14h30
12/08	De 9h à 11h30
14/08	De 6h à 6h30
15/08	De 6h à 6h30

9.2. LA PLUIE

Enregistrements d'activités pluvieuses			
		Jours	Heures
2010	AURALA	23/08	De 16h à 16h45
		Du 04 au 05/09	De 20h à 07h45
		09/09	De 11h à 19h45

	10/09	De 6h à 6h45, puis de 12h à 12h45
	15/09	De 3h à 3h45
	16/09	De 20h à 20h45
	20/09	De 2h à 2h45, puis de 13h à 16h45
	21/09	De 0h à 12h45
	07/10	De 19h à 19h45
	08/10	De 4h à 4h45
	10/10	De 1h à 1h45
	11/10	De 8h à 8h45
	Du 15 au 16/10	De 20h à 14h45
	19/10	De 5h à 5h45
	21/10	De 15h à 17h45
	Du 22 au 23/10	De 21h à 11h45, puis de 22h à 22h45
	28/10	De 2h à 9h45
	Du 30 au 31/10	De 3h à 4h45 puis de 20h à 2h45
	01/11	De 10h à 10h45
AURALB	19/08	De 18h à 18h45
	20/08	De 8h à 8h45 puis de 16h à 17h45
	24/08	De 14h à 15h45
	25/08	De 21h à 21h45
	26/08	De 23h à 23h45
	27/08	De 2h à 3h45
	28/08	De 12h à 13h45
	03/09	De 17h à 17h45
	07/09	De 5h à 5h45
	09/09	De 17h à 22h45
	10/09	De 0h à 0h45 puis de 13h à 13h45
	15/09	De 21h à 21h45
	16/09	De 11h à 11h45 puis de 19h à 19h45
	Du 17 au 18/09	De 22h à 2h45
	19/09	De 4h à 4h45
	20/09	De 4h à 4h45 puis de 7h à 7h45
	21/09	De 7h à 11h45
	23/09	De 21h à 21h45
	27/09	De 12h à 12h45
	29/09	De 7h à 7h45
	30/09	De 13h à 14h45
	02/10	De 18h à 20h45
	07/10	De 12h à 20h45
	Du 08 au 09/10	De 9h à 12h45, de 15h à 15h45 puis de 22h à 0h45
	09/10	De 2h à 2h45, de 8h à 9h45 puis de 20h à 20h45
	10/10	De 4h à 4h45
	11/10	De 9h à 9h45
	12/10	De 15h à 15h45
	16/10	De 6h à 7h45
	18/10	De 13h à 13h45, de 18h à 18h45 puis de 23h à 23h45
	19/10	De 3h à 4h45, de 10h à 13h45 puis de 16h à 16h45
	20/10	De 1h à 1h45
	21/10	De 17h à 19h45
	28/10	De 1h à 8h45
	31/10	De 0h à 2h45, de 7h à 14h45

2011	AURALA	27/04	De 17h01 à 17h31
		28/04	De 12h01 à 12h31, puis de 16h01 à 20h31
		02/05	De 2h01 à 2h31
		21/05	De 8h01 à 9h31
		25/05	De 8h01 à 8h31, de 12h01 à 15h31 puis de 18h01 à 21h31
		26/05	De 12h01 à 12h31
		28/05	De 8h01 à 8h31
		30/05	De 10h01 à 10h31
		Du 02 au 03/06	De 06h01 à 20h31, puis de 23h à 4h31
		08/06	De 6h01 à 6h31
		20/06	De 1h01 à 3h31, puis de 6h01 à 6h31
		25/06	De 23h01 à 23h31
		26/06	De 14h01 à 15h31
		27/06	De 0h01 à 1h31
		30/06	De 12h01 à 19h31
		05/07	De 5h01 à 5h31
		09/07	De 19h01 à 22h31
		10/07	De 2h01 à 17h31
		Du 12 au 13/07	De 21h01 à 8h31
		18/07	De 20h à 20h31
		22/07	De 4h à 5h31
		23/07	De 0h à 1h31
	AURALB	30/04	De 16h à 17h30
		01/05	De 2h à 9h30
		06/05	De 19h à 19h30
		21/05	De 7h à 7h30
		25/05	De 2h à 20h30
		28/05	De 15h à 20h30
		30/05	De 6h à 11h30
		Du 02 au 03/06	De 3h à 20h30
		07/06	De 12h à 12h30 puis de 20h à 20h30
		08/06	De 11h à 11h30
		10/06	De 18h à 21h30
		11/06	De 21h à 21h30
		Du 15 au 16/06	De 12h à 6h30
		Du 19 au 20/06	Du 14h à 14h30, puis de 21h à 6h30
		Du 22 au 23/06	De 22h à 7h30
		28/06	De 9h à 10h30
		04/07	De 16h à 16h30
		De 09 au 10/07	De 19h à 1h30
		10/07	De 6h à 10h30
		13/07	De 0h à 0h30
		De 14 au 15/07	De 16h à 0h30
		21/07	De 7h à 7h30, puis de 10h à 10h30
		22/07	De 4h à 11h30
		24/07	De 6h à 16h30
		31/07	De 10h à 10h30
		16/08	De 10h à 15h30, puis de 18h à 18h30

9.3. EMISSIONS SONORES DE CACHALOTS

Emissions sonores de cachalots			
		Jours	Heures
2010	AURALA	30/08	De 22h à 23h45
		31/08	De 6h à 6h45, de 11h à 11h45, 17h à 18h45, de 20h à 23h45
		01/09	De 4h à 5h45, de 15h à 16h45
		11/10	De 5h à 7h45, de 19h à 22h45
		20/10	De 22h à 22h45
		21/10	De 0h à 6h45
	AURALB	23/08	De 1h à 9h45, de 15h à 19h45
		28/08	De 5h à 6h45
		07/09	De 18h à 18h45
		De 07 à 08/09	De 21h à 2h45
		08/09	De 14h à 22h45
		09/09	De 2h à 2h45
		18/09	De 20h à 20h45, de 22h à 23h45
		19/09	De 3h à 3h45, de 6h à 16h45
		20/09	De 0h à 0h45, de 3h à 3h45
		Du 20 au 21/09	De 17h à 0h45
		Du 21 au 22/09	De 23h à 1h45
		25/09	De 0h à 0h45
		26/09	De 1h à 4h45, de 14h à 14h45
		27/09	De 10h à 14h45
		30/09	De 12h à 12h45
		Du 30 à 01/10	De 16h à 7h45
		Du 04 à 05/10	De 19h à 11h
		10/10	De 20h à 21h45
		11/10	De 4h à 4h45, de 6h à 7h45, de 18h à 21h
		17/10	De 16h à 21h
2011	AURALA	05/05	De 19h01 à 22h31
		13/05	De 10h01 à 12h31, de 17h01 à 19h31, de 21h01 à 21h31, de 23h01 à 23h31
		14/05	De 0h01 à 1h31
		15/05	De 23h01 à 23h31
		16/05	De 1h01 à 2h31, de 7h01 à 7h31, de 9h01 à 9h31
		18/05	De 16h01 à 16h31
		19/05	De 3h01 à 5h31
		Du 01 à 02/06	De 22h01 à 5h31
		12/06	De 0h01 à 1h31
		Du 15 au 16/06	De 20h01 à 0h31
		27/06	De 5h01 à 5h31
		07/07	De 10h01 à 10h31, de 22h01 à 22h31
		08/07	De 8h01 à 8h31
		11/07	De 10h01 à 14h31
		20/07	De 0h01 à 0h31, de 17h01 à 17h31, de 19h01 à 23h31
		21/07	De 0h01 à 14h31
		23/07	De 3h01 à 5h31, de 10h01 à 10h31
	AURALB	26/04	De 1h à 1h30
		27/04	De 0h à 5h30, de 9h à 10h30

	30/04	De 5h à 6h30
	01/05	De 17h à 17h30
	03/05	De 0h à 3h30
	04/05	De 4h à 13h30, de 18h à 21h30
	08/05	De 6h à 6h30, de 11h à 11h30, de 13h à 23h30
	09/05	De 6h à 6h30, de 12h à 12h30, de 14h à 14h30, de 16h à 17h30, de 20h à 22h30
	10/05	De 0h à 8h30, de 12h à 14h30
	12/05	De 14h à 14h30, de 17h à 17h30
	13/05	De 6h à 6h30, de 11h à 13h30
	Du 13 au 14/05	De 16h à 3h30
	14/05	De 14h à 14h30, de 17h à 17h30, de 22h à 23h30
	15/05	De 15h à 15h30, de 17h à 20h30
	16/05	De 4h à 4h30, de 10h à 10h30, de 16h à 20h30
	17/05	De 13h 14h30
	Du 17 au 18/05	De 19h à 3h30
	18/05	De 6h à 8h30, de 15h à 16h30
	Du 20 au 21/05	De 16h à 0h30
	04/06	De 22h à 22h30
	Du 05 au 06/06	De 23h 0h30
	06/06	De 13h à 13h30
	07/06	De 17h à 19h30, de 22h à 23h30
	08/06	De 0h à 4h30
	06/07	De 21h à 21h30
	07/07	De 1h à 1h30
	08/07	De 0h à 0h30
	17/07	De 18h à 18h30
	Du 17 au 18/07	De 20h à 2h30
	18/07	De 5h à 6h30, de 8h à 8h30, de 11h à 13h30
	25/07	De 1h à 1h30, de 10h à 11h30, de 22h à 22h30
	02/08	De 18h à 18h30
	Du 02 au 03/08	De 20h à 0h30
	03/08	De 15h à 17h30, de 20h à 20h30

9.4. EMISSIONS SONORES DE MYSTICETES

Emissions sonores de mysticètes			
		Jours	Heures
2010	AURALA	29/09	De 1h à 1h45, de 23h à 23h45
		30/09	De 5h à 7h45, de 22h à 22h45
		01/10	De 2h à 4h45
		04/10	De 12h à 12h45
		12/10	De 19h à 19h45
		24/10	De 21h à 21h45
	AURAL B	19/08	De 17h à 19h45
		20/08	De 19h à 19h45
		14/09	De 15h à 15h45
		19/09	De 17h à 17h45

		20/10	De 6h à 6h45
2011	AURAL A	23/04	De 22h01 à 22h31
		27/04	De 3h01 à 3h31
		30/04	De 17h01 à 17h31, de 22h01 à 22h31
		07/05	De 21h01 à 21h31
		13/05	De 5h01 à 5h31
		15/05	De 3h01 à 3h31
		16/05	De 6h01 à 6h31
		Du 25 au 26/05	De 22h01 à 4h31
		Du 26 au 27/05	De 23h01 à 0h31
		01/06	De 15h01 à 15h31
		06/06	De 18h01 à 19h31
		13/06	De 19h01 à 19h31
		28/06	De 0h01 à 0h31, de 23h01 à 23h31
		29/06	De 1h01 à 1h31
		01/07	De 9h01 à 9h31
		02/07	De 3h01 à 3h31, de 13h01 à 13h31
		03/07	De 7h01 à 7h31
		05/07	De 11h01 à 11h31
		06/07	De 5h01 à 5h31
		08/07	De 7h01 à 8h31
		16/07	De 2h01 à 2h31
		19/07	De 12h01 à 12h31
		21/07	De 0h01 à 0h31
		22/07	De 22h01 à 23h31
		23/07	De 12h01 à 12h31
	AURALB	27/04	De 4h à 4h30
		04/05	De 11h à 12h30, de 18h à 18h30, de 21h à 21h30
		07/05	De 20h à 23h30
		08/05	De 1h à 1h30, de 6h à 6h30, de 16h à 23h30
		09/05	De 6h à 7h30
		10/05	De 6h à 6h30, de 21h à 22h30
		18/05	De 21h à 21h30
		27/05	De 3h à 3h30, de 21h à 21h30
		28/05	De 6h à 7h30
		04/08	De 3h à 3h30
		09/08	De 23h à 23h30