

Sono-proxy : un capteur non intrusif du comportement de la coquille Saint Jacques

Bazile Kinda, Cedric Gervaise, Laurent Chauvaud, Virginie Jaud, Sylvain Busson, T. Robson

▶ **To cite this version:**

Bazile Kinda, Cedric Gervaise, Laurent Chauvaud, Virginie Jaud, Sylvain Busson, et al.. Sono-proxy : un capteur non intrusif du comportement de la coquille Saint Jacques. Annales hydrographiques, 2010, 7 (776), pp.8.1-8.8. 10.17183/AH_776_2010 . hal-00522564

HAL Id: hal-00522564

https://ensta-bretagne.hal.science/hal-00522564

Submitted on 25 Apr 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

"SONO-PROXY" : UN CAPTEUR NON INTRUSIF DU COMPORTEMENT DE LA COQUILLE SAINT-JACQUES

par B. Kinda*, C. Gervaise*, L. Chauvaud**, V. Jaud*, S. Busson*, T. Robson**

RÉSUMÉ

Dans cet article, nous prouvons la faisabilité d'un suivi comportemental des organismes benthiques *in situ* sans dérangement en écoutant uniquement les sons qu'ils produisent. Notre modèle d'étude est la coquille Saint-Jacques (*Pencten maximus*). Ces travaux sont menés d'une part pour identifier et caractériser les sources de bruit ambiant en milieu très côtier et d'autre part pour définir un outil de suivi du comportement des organismes vivants marins utilisés par la communauté comme archives biologiques. A partir de mesures en laboratoire et de terrain, nous démontrons que l'activité de respiration de la coquille Saint-Jacques est associée à une production sonore mesurable. Cette activité, traduite par une ouverture et une fermeture rapide de la coquille, crée un son transitoire large bande à partir de 10 kilohertz d'une durée de l'ordre d'une seconde. Le niveau spectral de cette production sonore excède le bruit ambiant en rade de Brest ou dans l'archipel de Molène de 8 dB. Grâce à cet excédent, la portée de détection de ces sons est comprise entre 80 centimètres et 120 centimètres.

ABSTRACT

In this paper, we prove the feasibility of an undisturbing in situ behavioral monitoring of benthic organisms by only listening to the sounds they produce. Our study model is the scallop ("coquille Saint-Jacques", Pencten maximus). This work is carried out firstly to identify and characterize the sources of noise in very shallow waters and secondly to define a tool for monitoring the behavior of marine organisms used by the community as biological archives. From laboratory and in situ measurements, we demonstrate that the scallop breathing activity is associated with sound production which can be measured. This activity, resulting in a rapid opening and closing of the shell, produces a broadband transient sound starting at 10 kHz with duration of about one second. The spectral level of the sonic production exceeds the ambient noise in the bay of Brest or the Molène archipelago by 8 dB. With this signal excess, the detection range of these sounds is made possible between 80 centimeters and 120 centimeters.

* EA3876 & DTN, ENSIETA, 2 rue François Verny, 29200 Brest, France.
** LEMAR - UMR 6539 - Institut Universitaire Européen de la Mer, place Nicolas Copernic, 29280 Plouzané, France.

1. INTRODUCTION

Le Prix Nobel 1995 de chimie Paul Crutzen, de l'Université de Mainz, a proposé il y a quelques années le néologisme "Anthropocène" pour décrire cette nouvelle ère de notre planète marquée par l'impact croissant de l'humanité sur la biosphère. Si l'impact anthropique sur le climat de la planète ne peut désormais plus être nié, son ampleur reste toutefois relativement difficile à évaluer. Plus précisément, il est difficile d'estimer les parts respectives des activités anthropiques et de la variabilité climatique naturelle sur les changements observés de nos jours au niveau de la structure et du fonctionnement des écosystèmes. Dans cette optique, mais également dans l'objectif de modéliser correctement l'évolution future de ces écosystèmes, il est crucial de disposer d'informations permettant de quantifier l'importance des variations climatiques et environnementales naturelles avant toute influence humaine majeure, *i.e.* avant le début de l'ère industrielle. Il est notamment capital d'appréhender la variabilité naturelle passée du système océanique (*e.g.* température, salinité, production primaire), l'océan mondial étant un acteur essentiel du système climatique (circulation thermohaline, pompe biologique de carbone, etc.). Pour ce faire, les scientifiques font souvent appel à des enregistrements instrumentés de divers paramètres environnementaux. Ces enregistrements sont toutefois assez rares et épars. De plus, la longueur de ces séries temporelles n'excède généralement pas deux siècles pour les plus longues. Au-delà, la communauté scientifique utilise des *proxies* au sein de différents types d'archives naturelles comme les sédiments ou les coraux. Un *proxy* est une variable, souvent géochimique (rapports d'isotopes stables, concentrations élémentaires), dont la valeur est une fonction d'un paramètre environnemental tel que la température, la concentration en nutriments, la productivité, etc. (Wefer *et al.*, 1999). C'est dans cette optique que des activités de recherche se sont essentiellement focalisées sur l'utilisation des coquilles de mollusques comme archives de la variabilité passée de l'environnement marin côtier. Ces archives présentent de nombreux avantages par rapport aux carottes de sédiments ou de coraux, le premier d'entre eux étant la présence de marques de croissance formées avec une fréquence très élevée (par exemple des marques journalières) dans la matrice coquillière, permettant ainsi de replacer les variations du *proxy* étudié sur une échelle calendaire. Cette caractéristique confère aux mollusques un potentiel considérable en terme de reconstruction haute résolution des variations infra saisonnières des conditions environnementales, alors que les coraux et les sédiments n'offrent le plus souvent qu'une résolution infra annuelle à décennale. D'autre part, les mollusques permettent une couverture géographique très large des enregistrements de type *proxies* (écosystèmes polaires, tempérés et tropicaux, estuaires, zones côtières, plateau continental, sources hydrothermales, etc.).
De toutes les familles de mollusques ayant été étudiées dans un cadre paléocéanographique, celle des coquilles Saint-Jacques (*Bivalvia* ; *Pectinidae*) compte parmi les plus intéressantes. Les études menées ont notamment démontré que la coquille Saint-Jacques européenne, *Pecten maximus,* était un outil puissant pour décrire l'hydroclimat, puisque leurs coquilles enregistrent à très haute fréquence de nombreuses informations hydrobiologiques nécessaires à la compréhension du fonctionnement des écosystèmes côtiers et de leur climat (présence de stries de croissance journalières chez *Pecten maximus,* Chauvaud *et al.*, 1998 ; Thébault *et al.*, 2006 ; Thébault *et al.*, 2007). En ce qui concerne *Pecten maximus*, il a déjà été démontré des covariations de floraisons phytoplanctoniques et de ralentissements de croissance (Chauvaud *et al.*, 1998 ; Lorrain *et al.*, 2000), des concentrations en vanadium et nickel au sein de la calcite des coquilles ayant vécu la catastrophe pétrolière de l'Erika (Chiffoleau *et al.*, 2004), de la respiration/calcification et du $\delta^{13}C_{CID}$ et $\delta^{13}C_{calcite}$ (Lorrain *et al.*, 2004), de la température et du $\delta^{18}O_{calcite}$ des valves (Chauvaud *et al.*, 2005), du rapport $(Sr/Ca)_{calcite}$ et de la croissance des valves (Lorrain *et al.*, 2005), et très récemment, des floraisons phytoplanctoniques et des concentrations coquillières en baryum et molybdène (Barats *et al.*, 2009 ; Thébault *et al.*, 2009). Reste aujourd'hui à comprendre ce qui est à l'origine des variations de la croissance de cet animal. Puisque les informations biogéochimiques qui sont enregistrées dans les valves de *Pecten maximus* dépendent de la taille des incréments journaliers alors il est aisé de percevoir l'intérêt que revêt une étude du comportement de ce bivalve pour comprendre la fonction de passage entre conditions environnementales et croissance de l'animal durant les périodes où l'animal présente des points d'inflexion dans cette dernière.
Pour *Pecten maximus*, un mouvement régulier et fréquent d'ouverture et de fermeture de ses deux valves permet de renouveler l'eau contenue dans la coquille et rend compte de l'activité ventilatoire de l'animal. Ce comportement régulier est parfois associé à des mouvements plus brusques et moins fréquents de fuites en présence de prédateurs. *Pecten maximus* est une espèce endogée et cherche à s'enfouir par des mouvements brusques en position verticale. Pour être satisfaisant, le suivi de ces différents comportements doit être réalisé sur le long terme, de façon la moins intrusive possible et ceci sur un nombre significatif d'individus. Pour cela, les moyens de suivi vidéo ont été testés et ont montré leurs limites pour le suivi sur de longues périodes puisqu'ils sont sensibles aux bio-salissures. L'une des pistes prometteuses envisagée est de développer des capteurs de mouvement miniatures autonomes collés sur les coquilles pour suivre au cours du temps leurs activités comme cela l'a été fait pour les moules, *Mytilus edulis* (Robson *et al.*, 2009) et les huîtres *Crassostrea virginica* (Frank *et al.*, 2007). La mise en œuvre de ces capteurs reste cependant difficile, coûteuse et la question de la perturbation du comportement des spécimens étudiés est ouverte en particulier lorsque l'on s'intéresse aux espèces subtidales vagiles.
A l'image de la production sonore des poissons (Loye & Proudfoot., 1946), des crustacés (Hazlett & WInn, 1962) ou des crevettes claqueuses (Everest *et al.*, 1948; Au & Banks, 1998; Ferguson & Cleary, 2001), nous soupçonnons que ces activités valvaires très transitoires chez *Pecten maximus* produisent des sons qui peuvent être mis à profit pour leur suivi comportemental. Nous présentons ici une étude de faisabilité du monitorage par acoustique passive (PAM[1]) des mouvements valvaires chez *Pecten maximus*. Nos travaux préliminaires permettent entre autre de définir le concept novateur de sono-proxy et mettent en perspective l'acoustique passive comme un moyen non intrusif de monitorage du comportement des organismes vivants dans leur milieu naturel par la production sonore qu'ils génèrent. Le présent

[1] Passive Acoustic Monitoring

travail démontre que l'activité valvaire de *Pecten maximus* produit des sons dont nous mesurons le niveau. Ce niveau sonore est comparé aux niveaux de bruit ambiant que l'on peut trouver dans le milieu naturel de cet animal, la rade de Brest (milieu côtier très anthropisé) et le parc naturel marin de la mer d'Iroise (milieu côtier faiblement anthropisé). Notre capacité à détecter *in situ* la production sonore de *Pecten maximus* est démontrée.

Dans cet article, le paragraphe 2 présente les mesures et expériences disponibles pour l'étude ainsi que les méthodes utilisées. Le paragraphe 3 présente les résultats, qui sont analysés dans le paragraphe 4. Finalement, le paragraphe 5 tire les conclusions et présente les perspectives de cette étude préliminaire.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Matériel expérimental

Nos travaux exploitent les résultats de 5 jours d'expériences réalisées en 2009 et 2010 dont 3 en laboratoire et 2 en milieu naturel. Lors de ces expériences, deux chaînes de mesure des sons ont été utilisées. La première chaîne dite "B&K" est composée d'un hydrophone large bande 8106 Bruel et Kjaer de sensibilité hydrophonique égale à -171 dB réf (1μPa/V), d'un conditionneur de signaux hydrophoniques Nexus Bruel et Kjaer et d'un enregistreur numérique de sons PMD 620 Marantz utilisé avec une fréquence d'échantillonnage égale à 98 kilohertz et une dynamique de quantification égale à 24 bits. Autonome mais de qualité métrologique sensiblement plus faible, la seconde chaîne de mesure dite "AURAL" est un enregistreur AURAL développé par la société Multi-Electronique (MTE©, http://www.multi-electronique.com/) constitué d'un hydrophone HTI large bande, d'une amplification de 22 dB et d'une conversion analogique numérique sur 16 bits à une fréquence d'échantillonnage égale à 32 kilohertz. Parallèlement aux mesures de sons, des capteurs de mouvement ont été utilisés. Collés sur les coquilles, ces accéléromètres miniaturisés fournissent un signal pré-amplifié et échantillonné à une fréquence égale à 12 hertz sur 16 bits de quantification.

Pour les expériences en laboratoire, des individus (5 au maximum) de *Pectens maximus* ont été déposées dans des aquariums (1 m x 1 m) d'un volume approximatif égal à 200 litres sur un fond sableux, la distance entre les coquilles et l'hydrophone de mesure est comprise entre 10 centimètres et 1 mètre. Ces aquariums et leurs coquilles ont été positionnés dans un local au calme, dans la pénombre et à température ambiante (entre 17 °C et 20 °C). Nous avons complété les expériences en laboratoire par deux expériences de terrain. La première a consisté à disposer sur une zone d'une centaine de mètres carrés en rade de Brest, plus de 100 coquilles Saint-Jacques préalablement draguées. La production sonore de ces coquilles a été enregistrée par une chaîne AURAL positionnée au centre de la zone pendant une journée. Ces mesures ont été effectuées dans le bruit ambiant de la rade de Brest, aire comportant de nombreuses activités anthropiques. Une seconde journée de mesure a été dédiée à la mesure du bruit ambiant dans une zone comportant moins d'activités anthropiques au sein du parc naturel marin de la mer d'Iroise (15 stations représentatives de la diversité des conditions dans l'archipel molénais) afin de compléter notre connaissance sur le bruit ambiant de différentes zones d'études futures. Le tableau 1 résume les expériences réalisées.

2.2 Méthodes

2.2.1 Post-traitement des mesures hydrophoniques : reconstruction de la pression instantanée p(t) en niveau absolu (μPa ou dB réf 1μPa)

Pour les deux chaînes de mesures des sons, les données sont enregistrées au format Wav, la dynamique de mesure, le gain d'amplification et la sensibilité de l'hydrophone sont annotés manuellement lors de l'expérience et liés aux fichiers Wav correspondants. Les fichiers Wav sont post-traités après les expériences grâce aux logiciels Adobe Audition® et MatLab®. La première phase commune à tous nos traitements est la reconstruction de la pression instanta-

Jour	Lieu	Capteurs	Objectifs
1	Laboratoire IUEM	Son : chaîne "B&K"	Connaissance et mesure de la production sonore de *Pencten maximus*
2	Laboratoire IUEM	Son : chaîne "B&K", chaîne "AURALI", capteur de mouvement	Connaissance et mesure de la production sonore de *Pencten maximus*, liens avec l'activité respiratoire
3	Laboratoire IUEM	Son : chaîne "B&K", chaîne "AURAL", capteur de mouvement	Connaissance et mesure de la production sonore de *Pencten maximus*, liens avec l'activité respiratoire
4	Rade de Brest	Son : chaîne "AURAL"	Connaissance du bruit ambiant en rade de Brest et étude de la détectabilité de la production sonore de *Pencten maximus* en milieu réel
5	Parc naturel marin de la mer d'Iroise	Son : chaîne "B&K"	Connaissance du bruit ambiant en rade de Brest et étude de la détectabilité de la production sonore de *Pencten maximus* en milieu réel

Tableau 1 : Synthèse des expériences exploitées dans le présent article.

née mesurée à l'hydrophone (p(t)) en niveau absolu exprimé en micro Pascal (μPa) ou en décibel référencé à un micro Pascal (dB réf 1μPa) en corrigeant les données numérisées au sein des fichiers Wav de la dynamique de mesure, du gain de traitement et de la sensibilité hydrophonique.

2.2.2 Connaissance et mesure de la production sonore de la coquille et du bruit ambiant

La mesure de la pression réalisée par l'hydrophone fournit une mesure temporelle globale incluant bruit ambiant et signal utile simultanément. Pour dissocier le bruit ambiant (qui peut être fort) de la production sonore de la coquille Saint-Jacques (qui peut être plus faible), nous utilisons le fait que le bruit ambiant et la production sonore de la coquille Saint-Jacques sont des vibrations acoustiques de fréquences différentes. Aussi à partir des mesures temporelles, pour connaître et identifier la production sonore de la coquille Saint-Jacques, nous construisons le spectrogramme (Hlawatsch & Boudreaux-Bartels, 1992) des mesures qui fournit une cartographie du niveau acoustique reçu (dB réf 1μPa^2/Hz) dans l'espace temps/fréquence. Cette cartographie peut mettre en avant clairement les sons produits par la coquille Saint-Jacques et les zones de "silence" constituées de bruit ambiant uniquement.
En parcourant l'intégralité des mesures et en analysant le spectrogramme, nous pouvons d'une part extraire et isoler Nc segments utiles ($c_i(t)$, iϵ[1,N_c]) de sons produits par la coquille Saint-Jacques et d'autre part extraire et isoler N_b segments de bruit ambiant ($b_j(t)$, jϵ[1,N_b]). Nous construisons alors le niveau spectral sonore de ces deux contributions ($\gamma_c(f)$ et $\gamma_b(f)$ exprimés en μPa^2/Hz en moyennant le périodogramme (Stoica et Moses, 1997) de chaque segment.

2.2.3 Détectabilité et portée de la production sonore de *Pecten maximus in situ*

Les sons produits par la coquille Saint-Jacques autour de la fréquence f_0 sont détectables si le niveau spectral $\gamma_c(f0)$ est supérieur à $\gamma_b(f_0)$. Dans ce cas, si R_0 (mètre) est la distance entre la coquille Saint-Jacques émettant les sons lors de nos expériences et l'hydrophone de mesure, alors la portée maximale de détection (R en mètre) de la coquille *in situ* en présence d'un bruit ambiant de niveau $\gamma_b(f_0)$ est donnée, sous l'hypothèse d'un modèle de propagation par perte sphérique (Lurton, 2002), par :

$$R = R_0 10^{\frac{\gamma_c(f)-\gamma_b(f)}{20}} .$$

2.2.4 Comparaison mesures de mouvement et mesures des sons

Le mouvement des coquilles Saint-Jacques est enregistré par les capteurs de mouvement à une fréquence d'échantillonnage de 12 hertz (Robson *et al.*, 2009), les sons produits par ces mouvements sont audibles à des fréquences plus importantes et donc échantillonnés à une plus haute cadence. Aux faibles fréquences, le bruit ambiant est très élevé dans les mesures (Wenz, 1962). Aussi afin d'effectuer une comparaison entre mesures de mouvement et mesures de sons, nous avons prétraité les mesures de la façon suivante :

- mesure de mouvement m(t) : élévation au carré puis lissage par un filtre passe-bas RII d'ordre 1 avec un temps d'intégration égal à 0,5 seconde, le signal construit est l'enveloppe énergétique du mouvement que nous nommons $E_m(t)$,
- mesure de son c(t) : filtrage passe haut à partir de 2 500 hertz pour éliminer le bruit ambiant puis élévation au carré puis lissage par un filtre passe-bas RII d'ordre 1 avec un temps d'intégration égal à 0,5 seconde, le signal construit est l'enveloppe énergétique du mouvement que nous nommons $E_c(t)$.

3. RÉSULTATS

3.1 Exploration qualitative de la production sonore de la coquille Saint-Jacques

Lors de nos expérimentations en laboratoire, nous avons enregistré en continu les sons produits par les coquilles Saint-Jacques avec la chaîne de mesure "B&K", simultanément nous avons enregistré les mouvements des coquilles par simple observation visuelle ou grâce aux capteurs de mouvement, la date de chaque mouvement a été annotée. Grâce à ces dates, nous avons sélectionné les sons correspondant aux phases de mouvement pour calculer leurs spectrogrammes et découvrir les caractéristiques de ces sons. Dans la figure 1, nous présentons les caractéristiques des sons émis lors d'un mouvement typique d'ouverture et fermeture de la coquille lors de sa respiration.

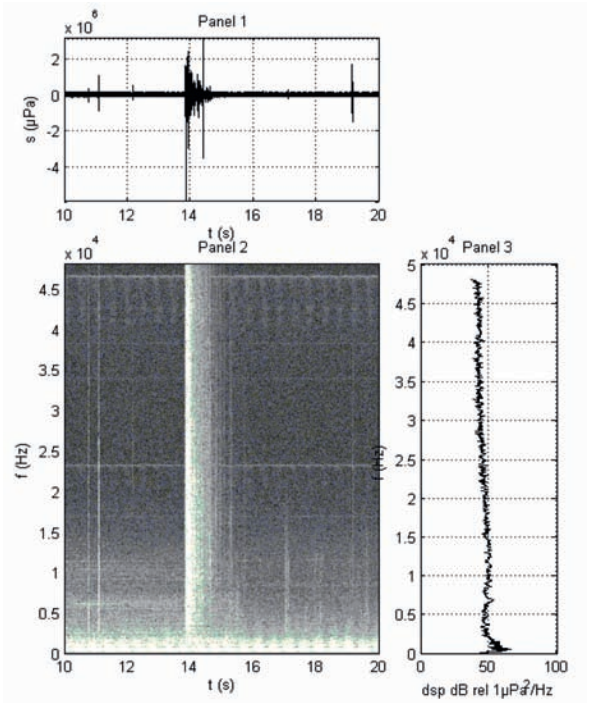


Figure 1 : étude du son produit lors d'un mouvement respiratoire typique, Panel 1 : évolution temporelle du niveau sonore, Panel 2 : carte temps/fréquence du niveau sonore (spectrogramme, taux de recouvrement = 50 %, fe = 96 kHz, L = 2048 ; fenêtre = rectangle, la carte de niveau sonore exprimé en dB est représentée sur une échelle de gris avec une dynamique de 70 dB, le noir correspondant aux valeurs faibles et le blanc aux valeurs fortes), Panel 3 : évolution fréquentielle du niveau sonore.

Le spectrogramme des mesures montre deux composantes de fort niveau (zones blanches) bien séparables :

- un pavé temps/fréquence horizontal de 10 s à 20 s et de 0 Hz à 2 000 Hz : le bruit ambiant concentré principalement aux basses fréquences (entre 0 Hz jusqu'à 5 kHz) aux propriétés stationnaires dans le temps,
- un pavé temps/fréquence vertical de 14 s à 15 s et de 3 000 Hz à 45 kHz : la production sonore due à l'ouverture et la fermeture de la coquille Saint-Jacques, celle-ci est concentrée sur des lignes verticales dans le spectrogramme traduisant des sons courts, soudains, impulsionnels d'une durée de l'ordre de 1 seconde approximativement et contenu sur les moyennes et les hautes fréquences.

3.2 Comparaison entre les mesures de sons et les mesures de mouvement

Lors des nos expériences en laboratoire pour lesquelles nous avons eu simultanément en opération la mesure des sons et la mesure de mouvement, nous avons sélectionné 2 heures de mesure contenant une vingtaine de mouvements d'ouverture et fermeture et nous avons calculé les enveloppes énergétiques du mouvement et de son $E_m(t)$ et $E_c(t)$). La figure 2 présente le tracé superposé de ces deux quantités.

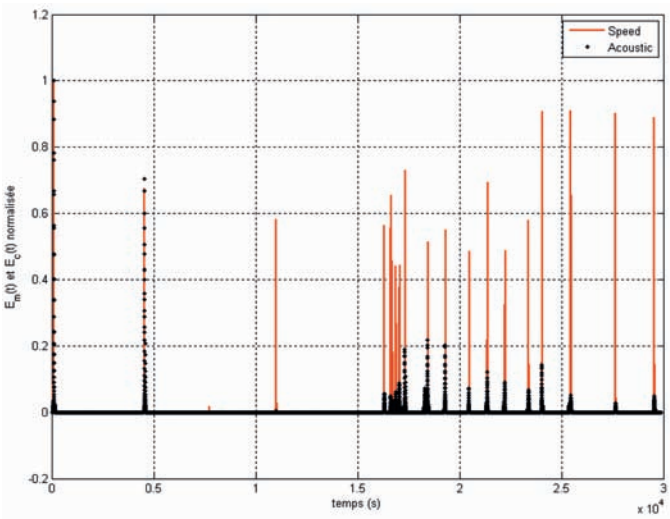


Figure 2 : comparaison des mesures de sons et de mouvement, en rouge $E_m(t)$, en noir $E_c(t)$.

La comparaison démontre une corrélation nette entre la puissance sonore reçue et le mouvement valvaire. Chaque mouvement ample est associé à un pic de son (le troisième pic vers 0.8×10^4s est d'une amplitude trop faible pour être visible mais existe bien). On remarque toutefois que l'amplitude sonore ne suit pas forcément l'amplitude du mouvement. Les raisons probables sont l'évolution de la distance entre la coquille et l'hydrophone au cours du temps et une possible directivité de l'émission sonore.

3.3 Comparaison entre le niveau de la production sonore de la coquille Saint-Jacques et les niveaux de bruit ambiant naturels

A partir de nos différentes expériences, nous avons calculé le niveau spectral $\gamma_c(f)$ des sons émis par les coquilles Saint-Jacques en rade de Brest mesuré avec la chaîne "AURAL" lors de leurs respirations et 2 niveaux de bruit ambiant :

- $\gamma_r(f)$ mesuré en rade de Brest avec la chaîne "AURAL",
- $\gamma_m(f)$ mesuré dans l'archipel de Molène avec la chaîne "B&K".

Nous présentons dans la figure 3 ces trois spectres.

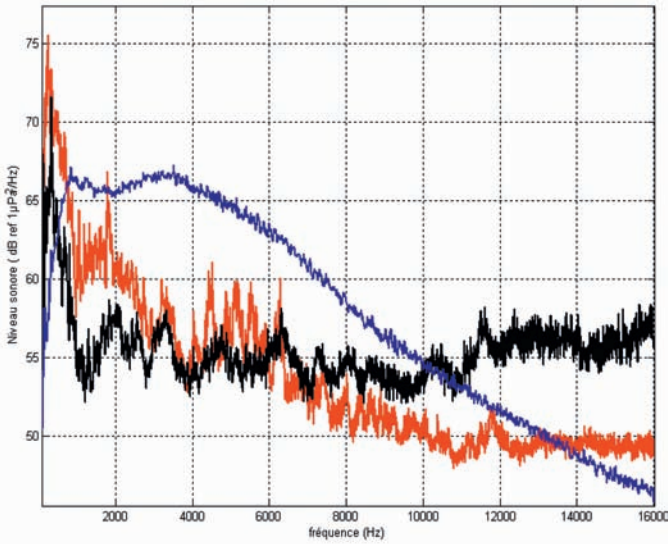


Figure 3 : Niveaux spectraux mesurés, en noir : $\gamma_c(f)$, en rouge : $\gamma_r(f)$ et en bleu : $\gamma_m(f)$

Le niveau de bruit ambiant dans la rade de Brest est supérieur à celui de l'archipel de Molène aux fréquences inférieures à 500 hertz, le trafic maritime soutenu en rade de Brest et quasi inexistant dans l'archipel de Molène pouvant expliquer cette différence. Aux fréquences intermédiaires comprises entre 500 hertz et 14 kilohertz le bruit ambiant de Molène dépasse celui de la rade de Brest, la différence de l'état de la mer entre un milieu ouvert comme la mer d'Iroise et un milieu plus fermé comme la rade de Brest pouvant expliquer cette tendance.

Aux fréquences inférieures à 4 kHz, le niveau spectral du bruit ambiant est supérieur au niveau spectral des sons produits par les coquilles Saint-Jacques alors qu'aux fréquences supérieures à 10 kHz la différence s'inverse et le niveau sonore produit par les coquilles est supérieur au niveau de bruit ambiant d'approximativement 6 dB pour la rade de Brest et 8 dB pour l'archipel de Molène.

La gamme de fréquence étudiée est limitée à 16 kilohertz par la chaîne d'acquisition "AURAL", cependant les évolutions des niveaux vers les hautes fréquences laissent penser qu'aux fréquences supérieures à 20 kilohertz la différence entre le niveau de coquille et celui du bruit de l'archipel de Molène pourrait augmenter de façon significative.

4. DISCUSSION

4.1 La production sonore des coquilles Saint-Jacques permet d'observer l'activité respiratoire

Lors de nos expériences, nous avons identifié trois comportements typiques : des mouvements de ventilation fréquents

et plus rarement des mouvements permettant la fuite (nage) et l'enfouissement. Nous avons constaté et démontré que ces trois comportements typiques étaient associés à une production sonore due soit aux mouvements des valves l'une sur l'autre lors de l'ouverture de la coquille soit au flux d'eau expulsé lors de la fermeture des coquilles. Logiquement puisque les trois types de comportement sont associés à des mouvements brusques, les sons induits sont transitoires de type impulsionnel.

4.2 La production sonore de la coquille est détectable en milieu naturel

Le niveau de la production sonore des coquilles Saint-Jacques devient supérieur à celui du bruit ambiant à partir de 10 kHz, nous avons mesuré que celui-ci est supérieur de 6 dB à celui de bruit ambiant en rade de Brest et de 8 dB à celui de l'archipel de Molène. Lors des expériences qui ont permis de mesurer le niveau sonore des coquilles, la distance entre les coquilles et l'hydrophone de mesure était comprise entre 10 centimètres et 40 centimètres. Aussi sous l'hypothèse de pertes sphériques, la portée de détection des coquilles en milieu naturel pour la rade de Brest est comprise entre 20 centimètres et 80 centimètres alors qu'elle est comprise entre 30 centimètres et 120 centimètres dans l'archipel de Molène.

Cette étude des niveaux sonores doit être complétée par la définition d'outils de détection automatique pour envisager une application opérationnelle du monitorage par acoustique passive. Le niveau sonore produit par la coquille prend la forme de courtes impulsions d'une durée de l'ordre d'une seconde balayant toutes les fréquences contenues entre 10 kilohertz et 50 kilohertz. Le signal émis par la coquille est donc de nature transitoire et impulsionnelle. Alors que la différence de niveau entre le niveau de la coquille Saint-Jacques et le bruit ambiant est limitée, cette nature impulsionnelle peut être mise à profit pour développer des détecteurs spécifiques aux signaux transitoires qui peuvent surpasser les détecteurs basés sur l'énergie notamment aux faibles rapports signal à bruit. La piste que nous envisageons est l'utilisation des moments d'ordre supérieur à partir d'outils qui ont démontré leur pertinence pour la détection des clics de mammifères marins (Gervaise *et al.*, 2010) et que nous avons d'ores et déjà testé dans une étude préliminaire sur les sons des coquilles Saint-Jacques (Busson *et al.*, 2010).

Lors de nos expériences sur le terrain, nous avons constaté que le bruit ambiant contenait de nombreux signaux transitoires de type impulsionnel que nous avons attribué à d'autres organismes benthiques. Ces signaux possèdent approximativement le même niveau que ceux de la coquille mais ont une durée beaucoup plus courte. Il sera donc nécessaire de compléter notre détecteur par un classificateur de transitoires pour réellement automatiser la fonction de monitorage de la coquille par acoustique.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous avons démontré que les mouvements valvaires associés permettant la fuite, l'enfouissement et la ventilation de la coquille Saint-Jacques produisaient des sons. Nous avons mesurés les caractéristiques de ces sons comme leur niveau spectral et leur durée. Nous avons mesuré que le niveau spectral de la production sonore de la coquille dépassait celui du bruit de 6 à 8 dB en fonction des conditions et que cette différence procurait une portée de détection de l'ordre du mètre. La nature transitoire des sons produits indique qu'une automatisation de la détection pourra se faire à partir de détecteur de signaux transitoires notamment basés sur les moments d'ordre supérieur. Nos premiers résultats montrent donc un potentiel prometteur pour observer le comportement des coquilles Saint-Jacques *in situ*, sans contact et sans dérangement, en écoutant uniquement les sons qu'elles produisent.

A court terme, les perspectives à nos travaux se déclinent suivant un volet technique de l'acoustique et suivant un volet écologique en milieu marin. Pour le premier volet, il s'agira de développer les méthodes de traitement du signal pour traiter les sons mesurés automatiquement et pour détecter et suivre en fonction du temps le rythme des ouvertures et fermetures liés à la ventilation/respiration. Ces outils devront être capables de s'adapter aux faibles rapports signal à bruit et de pouvoir classifier les signaux transitoires. Pour le second volet, il s'agira de démontrer que la mesure de la production sonore de la coquille Saint-Jacques permet de suivre son comportement en fonction des conditions environnementales comme le cycle jour/nuit, une anoxie du milieu ou la présence d'un bloom d'algues toxiques, et possiblement d'identifier des réactions comportementale à ces changement. Nous débuterons par un travail en bassins dont on maîtrise les conditions environnementales et dans lesquels le bruit ambiant est faible puis dans un second temps nous irons dans un milieu naturel comme la rade de Brest.

A moyen terme, nous envisageons d'adapter cette méthode de monitorage par acoustique passif à d'autres espèces benthiques comme les moules ou encore les huîtres.

Il faut noter que ces travaux orientés vers l'écologie marine ont aussi leur apport en acoustique puisqu'ils nous permettent de comprendre finement les causes du bruit ambiant en milieu côtier tempéré à l'image des travaux qui ont été effectués sur le bruit des crevettes "claqueuses" dans des eaux plus chaudes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier J. Meunier, l'équipe de plongeurs scientifiques de l'IUEM[2], le personnel du *Côte d'Aquitaine* pour leur assistance lors de la journée d'expérimentation en rade de Brest et L. Di Iorio, C. Ducatel, le personnel du parc naturel marin d'Iroise pour leur assistance lors de la journée d'expérimentation dans l'archipel de Molène. Ce travail a été partiellement financé par le projet ANR Blanc CHIVAS et le projet MER CALME du GIS[3] Europôle Mer.

BIBLIOGRAPHIE

AU W & BANKS K (1998): "The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay". *J. Acous. Soc. Am.* 103 (1)

[2] Institut Universitaire Européen de la Mer [3] Groupement d'Intérêt Scientifique

BARATS A., AMOUROUX D., CHAUVAUD L., PECHEYRAN C., LORRAIN A., THÉBAULT J., CHURCH T. M. and DONARD O. (2009): "High frequency Barium profiles in shells of the Great Scallop *Pecten maximus*: a methodical long-term and multi-site survey in Western Europe". *Biogeoscience* (6, 1-14).

BUSSON S., GERVAISE C., BARAZZUTTI A., KINDA B., JAUD V., CHAUVAUD L., ROBSON A. (2010): "Higher-order statistics for bioacoustic click detection". 10e Congrès Français d'Acoustique, 12-16 April 2010, Lyon.

CHAUVAUD L., DUNBAR R., LORRAIN A., PAULET Y-M., THOUZEAU G., JEAN F., GUARINI J-M., MUCCIARONE D. (2005): "The shell of the Great Scallop *Pecten maximus* as a high frequency archive of paleoenvironmental change". *Geochemistry Geophysics Geosystems*. 6 (DOI: 10.1029/2004GC000890).

CHAUVAUD L., THOUZEAU G. & Y-M. PAULET (1998): "Effects of environmental factors on the daily growth rate of *Pecten maximus* juveniles in the Bay of Brest (France)"(. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 227: 83-111).

CHIFFOLEAU J-F., CHAUVAUD L., AMOUROUX D., BARATS A., DUFOUR A., PECHERAN C. and ROUX N. (2004): "Nickel and Vanadium contamination of benthic invertebrates following the "Erika" wreck". *Aquat. Living Ressour.* (17: 273-280).

EVEREST F., YOUNG W. & JOHNSON M. (1948): "Acoustical characteristics of noise produced by snapping shrimp". *J. Acous. Soc. Am.* 20 (2).

FERGUSON B. & CLEARY J. (2001): "In situ source level and source position estimates of biological transient signals produced by snapping shrimp in an underwater environment". *J. Acous. Soc. Am.* 109 (6).

FRANK D. M., HAMILTON J. H., WARD J.E & SHUMWAY S. E. (2007): "A fiber optic sensor for high resolution measurement and continuous monitoring of valve gape in bivalve molluscs". *Journal of Shellfish Research* (26(2):575-580).

GERVAISE C., BARAZZUTTI A., BUSSON S., SIMARD Y. & ROY N. (2010): "Automatic detection of bioacoustics impulses based on kurtosis under weak signal to noise ratio"(. *Applied Acoust.* DOI: 10.1016/j.apacoust.2010.05.009).

HAZLETT B. & WINN H. (1962): "Sound production and associated behavior of bermunda crustaceans (Panulirus, gindactylus, Alpheus and Synalpheus)". *Crustaceana* (4 (1): 25-38).

HLAWATSCH F. and BOUDREAUX-BARTELS G. F. (1992): "Linear and quadratic time-frequency signal representations". *IEEE Signal Processing Magazine* (vol. 9, no. 2, pp. 21-67).

LORRAIN A., PAULET Y-M., CHAUVAUD L., DUNBAR R., MUCCIARONE D., FONTUGNE M. (2004): "$\delta^{13}C$ variations in scallop shells: Increasing metabolic carbon contribution with body size?". *Geochimica and Cosmochimica Acta* (17: 3509-3519).

LORRAIN A., GILLIKIN D., PAULET Y-M., CHAUVAUD L., NAVEZ J., LE MERCIER A., ANDRÉ L (2005): "Strong kinetic effects on Sr/Ca ratios in the calcitic bivalve *Pecten maximus*". *Geology* (12: 965-968).

LORRAIN A., PAULET Y-M., CHAUVAUD L., SAVOYE N., NÉZAN E. & GUÉRIN L. (2000): "Growth anomalies in Pecten maximus from coastal waters (Bay of Brest, France): relationship with diatom blooms". *J. Marine Biological Association of the United Kingdom* (80: 667-673).

LORRAIN A., PAULET Y-M., CHAUVAUD L., SAVOYE N., DONVAL A., SAOUT C. (2002): "Differential $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ signatures among scallop tissues: implications in ecology and physiology". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* (275: 47-61).

LOYE D. & PROUDFOOT D. (1946): "Underwater noise due to marine life". *J. Acoust. Soc. Am.* 18 (2).

LURTON X. (2002): "An introduction to underwater acoustics: principles and applications". Springer-Verlag (ISBN 3-540-42967-0).

ROBSON A. A., THOMAS G. R., DE LEANIZ C. G. (2009): "Valve gape and exhalant pumping in bivalves: optimization of measurement". *Aquatic Biology* (6: 191-200).

STOICA P., MOSES R.: "Introduction to Spectral analysis (1997)". Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458.

THEBAULT J., CHAUVAUD L., CLAVIER J., FICHEZ R., MORIZE E. (2006): "Evidence of bi-daily striae in the tropical scallop *Comptopallium radula* using calcein marking". *Marine Biology* (149: 257-267).

THEBAULT J., CHAUVAUD L., CLAVIER J., GUARINI J., DUNBAR R. B., FICHEZ R., MUCCIARONE D. A. and MORIZE E. (2007): "Reconstruction of seasonal temperature variability in the tropical Pacific Ocean from the shell of the scallop, *Comptopallium radula*". *Geochimica & Cosmochimica Acta* (71(4), 918-928).

THEBAULT J., CHAUVAUD L., CLAVIER J., JACQUET S., BARATS A., PEYCHERAN C. and AMOUROUX D. (2009): "Molybdenum and barium content in scallop shells as high resolution proxies for diazotroph and diatom dynamics in tropical coastal seawater". *Limnology and Oceanography* (54:1002-1014).

WEFER G., BERGER W. H., BIJMA J. & FISCHER G. (1999): "Clues to ocean history: a brief overview of proxies". In *Use of proxies in paleoceanography: examples from the South Atlantic* (eds. G. Fischer & G. Wefer), Springer-Verlag, Berlin (p. 1-68).

WENZ G. (1962): "Acoustic ambient noise in the ocean: spectra & source". *J. Acous. Soc. Am.* 34 (12).