

Août 2010

CRISP



Coral Reef InitiativeS for the Pacific
Initiatives Corail pour le Pacifique

RAPPORT DE STAGE DE MASTER

Étude des capacités auditives des poissons au stade larvaire lors des phases de colonisation et d'installation dans les récifs coralliens

CRISP



Coral Reef Initiatives for the Pacific
Initiatives Corail pour le Pacifique



La cellule de coordination du CRISP a été intégrée au Secrétariat de la Communauté du Pacifique en 2008 afin d'assurer une coordination et synergie maximales des actions touchant à la gestion des écosystèmes coralliens dans le Pacifique.



Le CRISP est un programme mis en œuvre dans le cadre de la politique développée par le Programme régional océanique de l'Environnement afin de contribuer à la protection et la gestion durable des récifs coralliens des pays du Pacifique.

L'initiative pour la protection et la gestion des récifs coralliens dans le Pacifique (CRISP), portée par la France et préparée par l'AFD dans un cadre interministériel depuis 2002, a pour but de développer une vision pour l'avenir de ces milieux uniques et des peuples qui en dépendent. Elle vise à mettre en place des stratégies et des projets visant à préserver leur biodiversité et à développer dans le futur les services économiques et environnementaux qu'ils apportent tant au niveau local que global. Elle est conçue, en outre, comme un vecteur d'intégration entre états développés (Australie, Nouvelle-Zélande, Japon, USA), collectivités françaises de l'outre-mer et pays en développement du Pacifique.

Pour ce faire, l'initiative développe une approche spécifique qui vise à :

- associer activités de réseau et projets de terrain ;
- articuler recherche, aménagement et développement ;
- combiner les apports de disciplines scientifiques diverses, incluant la biologie, l'écologie, l'économie, la sociologie, le droit et les sciences humaines ;
- intervenir sur l'ensemble des thèmes - terrestres et marins - intéressant les récifs (y compris l'assainissement et la gestion des bassins versants) ;
- ne pas créer de structure nouvelle, mais apporter des ressources financières à des partenaires déjà opérationnels et souhaitant développer leurs activités dans un esprit de coopération régionale. C'est la raison pour laquelle l'initiative a été préparée sur la base d'un appel à propositions auprès de l'ensemble des institutions et réseaux.

Cellule de Coordination CRISP (CCU)
Chef de programme **Éric CLUA**
CPS - BP D5
98848 Nouméa Cedex
Nouvelle-Calédonie
Tél./Fax : (687) 26 54 71
E-mail : ericc@spc.int
www.crisponline.net

Cette approche se décline sur une série d'objectifs thématiques qui sont :

Objectif 1 : Meilleure connaissance de la biodiversité, de l'état et du fonctionnement des écosystèmes coralliens.

Objectif 2 : Réalisation d'opérations de protection et de gestion des écosystèmes coralliens à une échelle significative.

Objectif 3 : Valorisation du potentiel économique reposant sur les valeurs d'usage et la biodiversité des écosystèmes coralliens.

Objectif 4 : Diffusion de l'information et des savoirs ; renforcement des capacités et animation des réseaux locaux, nationaux et internationaux.

Le dispositif d'intervention du CRISP se structure en trois composantes majeures :

Composante 1A : AMP et bassins versants

- 1A1 : Planification de la conservation de la biodiversité marine
- 1A2 : Aires marines protégées (AMP)
- 1A3 : Renforcement institutionnel et mise en réseau
- 1A4 : Gestion intégrée des zones côtières récifales et des bassins versants

Composante 2 : Développement des écosystèmes coralliens

- 2A : Connaissance, valorisation et gestion des écosystèmes coralliens
- 2B : Restauration récifale
- 2C : Valorisation des Substances actives marines (SAM)
- 2D : Mise en place d'une base de données régionale (ReefBase Pacifique)

Composante 3 : Coordination et valorisation du programme

- 3A : Capitalisation, valorisation et vulgarisation des acquis du programme CRISP
- 3B : Coordination, promotion et développement du Programme CRISP
- 3C : Appui aux filières économiques alternatives et durables
- 3D : Vulnérabilité des écosystèmes et des espèces
- 3E : Cellule économique

Le Programme CRISP est financé par les organisations suivantes :



CONSERVATION
INTERNATIONAL



UNITED NATIONS
FOUNDATION

IFRECOR

MASTER 2 PRO "Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques"

UFR Sciences & Techniques Côte Basque

Allée du Parc Montaury, 64600 Anglet



**Etude des capacités auditives
des poissons au stade larvaire
lors des phases de colonisation et d'installation
dans les récifs coralliens**

par Bonhomme Baptiste

Stage effectué du 21 Février au 31 Juillet 2010 à Moorea (Polynésie Française).

Sous la direction scientifique de : Lecchini David (IRD - UMR 227 CoReUs)

Berten Laetitia (Université de Liège)

Galzin René (UMS 3278 CNRS-EPHE)



« Le présent rapport constitue un exercice pédagogique et ne peut en aucun cas impliquer la responsabilité du laboratoire d'accueil. »

Remerciements

Au terme de ces six mois de recherche, je tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, scientifiquement, financièrement ou moralement, ont contribué à l'aboutissement de ce rapport.

Je désire remercier David Lecchini, Chargé de recherche à l'Institut de Recherche pour le Développement (UMR 227 Coreus) et René Galzin, Directeur d'études à l'EPHE (UMS 3278 CNRS-EPHE) qui m'ont permis de réaliser ce stage de Master. Je leur sais gré de m'avoir fait confiance tout au long de ce travail de Master.

Je désire remercier aussi l'équipe du projet CRISP pour leur aide de tous les jours et leurs précieux conseils : Laetitia Berten, Viliame Pita Waqalevu, Moana Le Rohellec, Christophe Brié, Stephen Simpson, Craig Radford, Eric Parmentier, Kévin Peyrusse, Lindon Havimana, et Rynae Greta Lanyon,.

Ce travail a été réalisé au centre de recherche de Moorea (CRIOBE). Je tiens à remercier très chaleureusement Serge Planes et Yannick Chancerelle d'avoir entrepris de nombreuses démarches pour le bon déroulement de ces analyses.

Un grand merci à tous ceux que j'ai pu côtoyer au CRIOBE et que je n'ai pas encore cité. Je pense notamment à Francky (plongées, soirées et anecdotes en tout genre), Pascal (pour les pauses effectuées ensemble), Thierry, Les Benois, Les 4 Julies (j'en connais une qui va raller en voyant que je l'ai mise avec les autres → maman), Pauline, Héloïse (pour tout), Jean (pour tout le reste), Mohsen (pour les graines de piaf), Marine, Cédric, Johann (sorties requins), PATOU bien sur, Nico, Martin, Moana, Viliame et Laeti !!! Merci !

Financement de 'étude

Financement par le programme CRISP (Coral Reef Initiative in the South Pacific) :

L'étude a été financée par le programme CRISP : "Amélioration des techniques de capture des post-larves de poissons et de crustacés" (Composante C2A, R. Galzin & D. Lecchini; janvier 2010 / décembre 2010). L'initiative pour la protection et la gestion des récifs coralliens dans le Pacifique, engagée par la France et ouverte à toutes les contributions, a pour but de développer pour l'avenir une vision de ces milieux uniques et des peuples qui en dépendent ; elle se propose de mettre en place des stratégies et des projets visant à préserver leur biodiversité et à développer les services économiques et environnementaux qu'ils rendent, tant au niveau local que global. Elle est conçue en outre comme un vecteur d'intégration régionale entre états développés et pays en voie de développement du Pacifique. Le CRISP est un programme mis en œuvre dans le cadre de la politique développée par le Programme Régional Océanien pour l'Environnement afin de contribuer à la protection et la gestion durable des récifs coralliens des pays du Pacifique.



Résumé

La présente étude a pour objectif d'étudier les capacités auditives des larves de poissons coralliens dans la reconnaissance de leur habitat de vie. L'habitat de vie est défini comme les différents biotopes coralliens caractérisant le lagon de Moorea. Le pouvoir attracteur de ces biotopes est testé sur plusieurs espèces de poissons au stade larvaire pour apporter des éléments de réponses à deux questions : *i*) comment les larves océaniques détectent-elles l'île à coloniser (son émis par le biotope « crête récifale ») et *ii*) comment les larves qui ont colonisé détectent-elles l'habitat d'installation (son émis par les biotopes : récif frangeant, récif barrière et mangrove) ? J'ai démontré par des expériences *in situ* que : *i*) les larves pélagiques n'utilisaient pas d'avantage le son provenant de la crête récifale que celui émis à deux kilomètres dans l'océan pour détecter l'île à coloniser (N=134 ; $0,35 < p\text{-value} < 0,77$) et *ii*) que les larves qui ont colonisé n'utilisaient pas les sons générés par l'habitat corallien, qu'ils proviennent du récif frangeant ou du récif barrière pour sélectionner l'habitat d'installation (N=455 ; $0,47 < p\text{-value} < 1, >$). La comparaison de l'environnement sonore de la mangrove a conduit à l'élaboration d'un aquarium. Après la période de mise au point de l'aquarium, les résultats obtenus (N=126 ; $0,32 < p\text{-value} < 0,82$) indiquent que la répartition spatiale d'aucune espèce n'a été modifiée significativement par l'émission des sons mangrove et récif barrière.

Mots-clés: larves de poisson ; biotopes coralliens ; son

Abstract

This study was designed to study hearing abilities of fish larvae in recognition of their habitat life. The habitat of life refers to different reef habitats characterizing Moorea's lagoon. Attraction of these habitats is tested on several species of larvae fish, to answer about two questions: *i*) how fish larvae detect island to colonize (sound of biotope "reef crest") and *ii*) how fish larvae detect settlement habitat to colonize (sounds of biotopes: fringing reef, barrier reef and mangrove)? During march and april, it was demonstrated *in situ*: *i*) that pelagic fish larvae don't use sound from the reef crest or ocean sound to detect island to colonize (N=134, $0.35 < p\text{-value} < 0.77$) and *ii*) that the larvae don't use sounds of fringing reef or barrier reef habitat in selection settlement habitat (N=455, $0.47 < p\text{-value} < 1$). Comparing mangrove's sound during may and june led to the development of an aquarium. After development period of the aquarium, results (N=126, $0.32 < p\text{-value} < 0.82$) indicate that the spatial distribution hasn't been significantly modified by the emission of mangrove sound and barrier reef sound.

Key-words: fish larvae ; coral biotopes ; sound

Table des matières

1.	Introduction	1
2.	Matériel et Méthodes	5
2.1.	Site d'étude.....	5
2.2.	Modèle d'étude, outils et sites de capture des larves de poissons coralliens	7
2.3.	Acquisition des enregistrements sonores	11
2.4.	Expérience à double choix (<i>in situ</i>) : « Choice chamber ».....	14
2.5.	Expérience en aquarium : « Arena chamber »	16
2.6.	Analyses numériques et outils statistiques	18
3.	Résultats.....	19
3.1.	Comparaison des sons des différents biotopes coralliens	19
3.2.	Expérience à double choix (<i>in situ</i>) : « Choice chamber ».....	19
3.3.	Expérience en aquarium : « Arena chamber »	22
4.	Discussion.....	26
5.	Conclusion	30
6.	Bibliographie	31
7.	Annexes	35

1. Introduction

a) Cycle biologique des organismes marins dans l'écosystème corallien

La plupart des crustacés, des mollusques et des poissons vivant dans les récifs coralliens ont un cycle de vie complexe, avec une phase larvaire océanique et pélagique, de quelques semaines à quelques mois, suivie d'une phase récifale relativement sédentaire pour les juvéniles et les adultes (Werner 1988). Au moment de la reproduction, des produits génitaux ou des œufs sont expulsés vers l'océan où ils se développent en larves pélagiques. Les larves s'éloignent alors plus ou moins loin de leur île natale grâce aux courants (Milicich 1994) et/ou à une dispersion active (Stobutzki & Bellwood 1997). Après cette phase océanique, les larves colonisent de nuit le récif d'origine ou non (Jones *et al.* 1999; Swearer *et al.* 1999) pour continuer leur développement en juvénile, puis en adulte (Fig. 1).

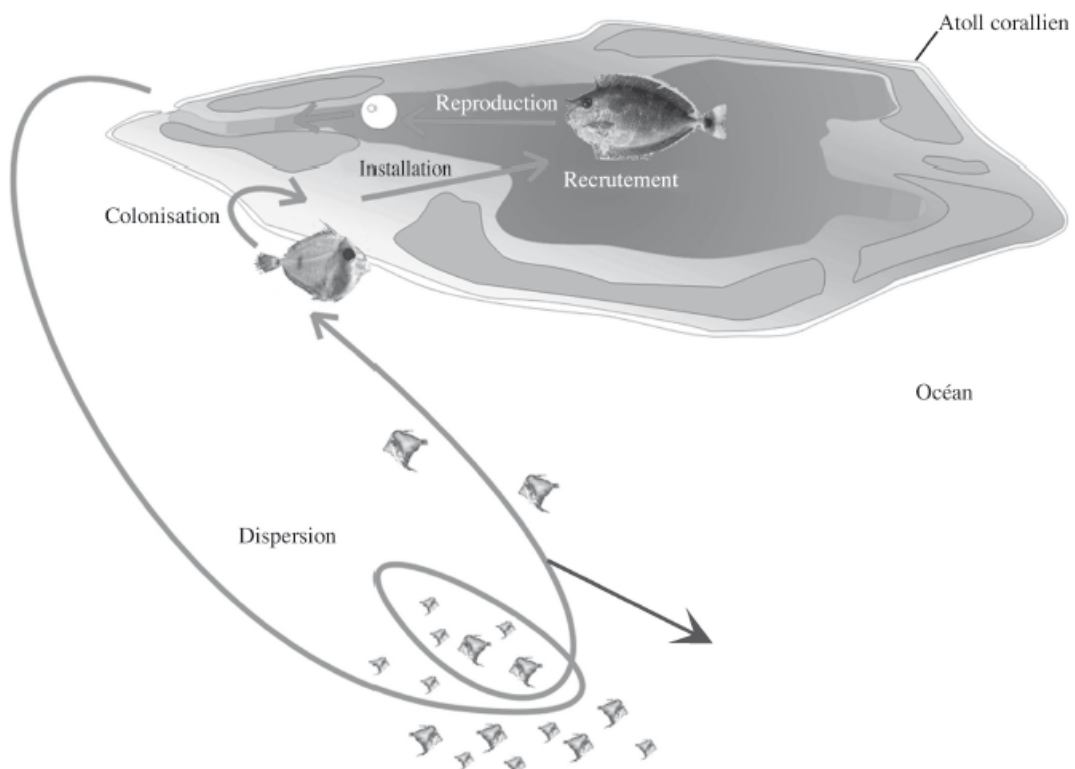


Figure 1 : Cycle biologique des poissons coralliens à phase larvaire océanique.

La phase de colonisation est le moment où les larves franchissent la crête récifale (Dufour & Galzin 1993). L'importance du flux larvaire (nombre de larves franchissant la crête récifale) est proportionnelle à la diminution d'éclairement. Ainsi, la colonisation se caractérise par des cycles journaliers et lunaires. Les larves franchissent la crête en "surfant" les vagues qui déferlent. Dans les heures qui suivent cette colonisation, les larves se métamorphosent en juvéniles. Ce changement ontogénique abrupt dans la morphologie, la physiologie et le comportement des animaux les conduit à rechercher un nouvel habitat, et ceux parmi de nombreux substrats potentiels, des compétiteurs et des prédateurs (phase d'installation, Lecchini *et al.* 2007).

Lors de la phase d'installation, la recherche de l'habitat de vie est un challenge primordial pour les larves marines (poissons, crustacés, mollusques) puisqu'il conditionne la survie et la croissance des individus jusqu'au stade adulte. Pour chaque espèce, il existe un habitat essentiel (ou optimal) sur lequel la croissance des larves est maximale et leur mortalité est minimale (Benaka 1999). Généralement, les larves choisissent de façon sélective leur habitat d'installation selon les caractéristiques du refuge, les interactions intra- et inter-spécifiques avec les résidents et la disponibilité des ressources alimentaires. L'importance de ces facteurs sur les stratégies d'installation est due à leur impact sur la survie des larves (Lecchini *et al.* 2007). Dufour *et al.* (1998) estiment le taux de mortalité sur un flux larvaire multi-spécifique à 90% durant les 10 premiers jours suivant l'installation. Doherty *et al.* (2004) estiment à 60% la mortalité de *Naso unicornis* (poisson chirurgien) durant le premier jour d'installation, puis cette mortalité reste constante à 13% par jour (sur les 15 jours de l'échantillonnage). Ce taux varie, néanmoins, selon les caractéristiques de l'habitat choisi et les espèces qui y sont associées (Lecchini *et al.* 2007).

Dans les jours qui suivent cette installation, les larves se métamorphosent et deviennent des juvéniles adaptés au milieu récifal. Après quelques mois sur l'habitat d'installation, les juvéniles intègrent la population d'adultes (phase de recrutement) et deviennent ensuite mature sexuellement. Le terme recrutement fréquemment utilisé par les écologistes marins peut prendre différents sens selon le domaine d'étude : halieutique, physiologique ou écologique. Dans mon rapport, le recrutement est défini comme l'intégration des juvéniles dans la population d'adultes (définition écologique - Vigliola et Harmelin-Vivien, 2001).

b) Contexte scientifique de l'étude

Le succès de l'installation ne peut être dû seulement à la chance de rencontrer l'habitat essentiel par hasard (Doherty 2002). Les larves des organismes marins seraient donc capables de détecter, localiser et identifier les informations émises, volontairement ou involontairement, par les conspécifiques et/ou l'habitat. De plus, les larves de certaines espèces ont des capacités natatoires suffisantes pour contrôler leur patron de dispersion dans l'océan et leur retour vers le récif. En effet, de récents travaux ont démontré qu'à l'approche du récif les larves de certaines espèces étaient capables de nager activement en contrôlant leur profondeur et leur direction (Leis & McCormick 2002 ; Kingsford *et al.* 2002). Cependant, ces capacités natatoires ne leur serviront que si elles détectent l'habitat d'installation. Ainsi, l'une des grandes énigmes de l'écologie des organismes marins à phase larvaire océanique pourrait s'exprimer de la façon suivante : comment les larves localisent-elles les relatifs rares agrégats d'habitats sur lesquels elles peuvent s'installer ? La réponse doit se trouver dans le "monde sensoriel" de ces poissons et invertébrés.

Malgré les nombreuses études sur les patrons d'installation des poissons et des invertébrés, peu d'informations sont disponibles sur les réponses des larves aux signaux sensoriels de l'environnement conditionnant la recherche de l'habitat essentiel (Myrberg & Fuiman 2002). Ces signaux peuvent être émis par l'habitat corallien (forme spécifique d'une colonie corallienne ou odeur d'une anémone) et/ou par les conspécifiques (odeur ou son émis par les poissons déjà présents sur l'habitat d'installation - Lecchini 2004). Chez les poissons coralliens (mon modèle d'étude), les larves peuvent détecter ces signaux grâce à différents sens, à savoir la vue (signal visuel), l'odorat (signal chimique), l'ouïe grâce aux otolithes dans l'oreille interne (signal acoustique) et la ligne latérale (signal issu des ondes vibratoires) (Popper & Schilt 2008).

Parmi les différents sens utilisés par les larves de poissons, l'audition peut être perçue comme un sens qui dans le monde marin joue un rôle déterminant en terme de sélection naturelle (Fay & Popper 2000; Fay 2008). Par exemple, les larves de Pomacentridae (poisson demoiselle) sont capables de détecter un son du récif, mais aussi de déterminer la direction de la source sonore (Leis *et al.* 2002, Tolimieri *et al.* 2004). Simpson *et al.* (2004) montrent que des pièges lumineux équipés de haut-parleurs émettant des sons récifaux capturent plus de

larves de poissons que les pièges lumineux dépourvus de ce système. Cette capture est significative à la fois en terme d'abondance (67% de larves en plus) et en terme de diversité spécifique (81 espèces pour les pièges équipés de haut-parleurs contre 68 espèces pour les autres). Simpson *et al.* (2008) montrent aussi que le son influence le déplacement nocturne des poissons coralliens, aussi bien au stade larvaire qu'adulte. En conclusion, de nombreuses études ont montré un pouvoir attracteur du son significatif sur les larves de poissons coralliens. Néanmoins, de nombreuses zones d'ombre existent encore. Parmi elles, quel est le pouvoir attracteur de différents biotopes coralliens dans l'attraction larvaire lors des phases de colonisation et d'installation.

c) Problématique scientifique de l'étude

La présente étude a pour objectif d'étudier les capacités auditives des larves de poissons coralliens dans la reconnaissance de leur habitat de vie. L'habitat de vie correspond, dans ce rapport, aux différents biotopes coralliens caractérisant le lagon de Moorea.

Dans un premier temps, l'objectif est d'acquérir des données sonores des différents biotopes coralliens (crête récifale, récif frangeant, récif barrière, mangrove). Dans un second temps, le pouvoir attracteur de ces différents biotopes est testé sur différentes espèces de poissons au stade larvaire. Ainsi, mes données permettront d'apporter des éléments de réponses à deux questions : (i) comment les larves océaniques détectent-elles l'île à coloniser (son émis par le biotope « crête récifale ») et (ii) comment les larves qui ont colonisé détectent-elles l'habitat d'installation (son émis par les biotopes : récif frangeant, récif barrière et mangrove) ?

2. Matériel et Méthodes

2.1. Site d'étude

L'île de Moorea ($17^{\circ}31'60''S$, $149^{\circ}49'60''W$) est située dans l'archipel de la Société en Polynésie française (Fig. 2). Localisée à 18 kilomètres au Nord-Ouest de Tahiti, elle présente un climat de type océanique chaud et humide avec une saison sèche de juin à septembre et une saison humide d'octobre à avril.

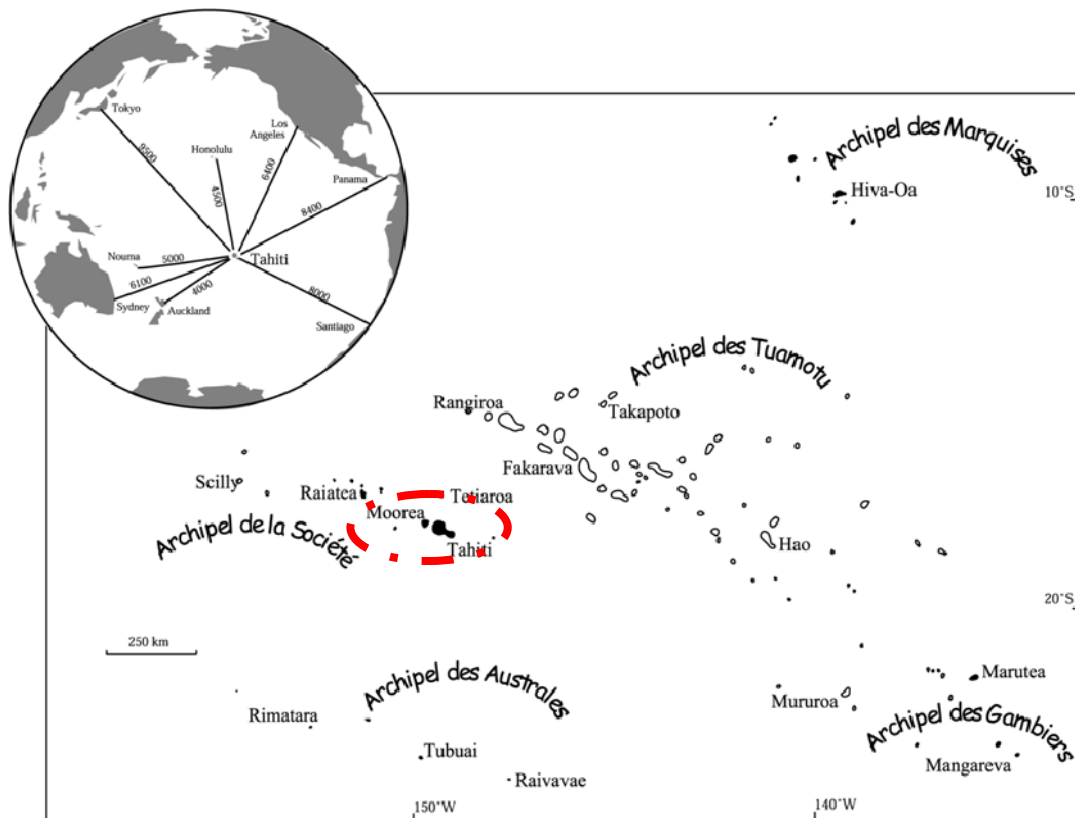


Figure 2 : Localisation de l'île de Moorea dans le Pacifique.

Ile volcanique haute, formée il y a deux millions d'années, Moorea a subi, d'une part, une érosion terrestre causée par les vents et les précipitations et d'autre part, un affaissement provoqué par son poids sur le plancher océanique. L'écosystème corallien à Moorea est composé de cinq unités géomorphologiques de la côte vers le large (Fig. 3) : (1) le récif frangeant directement accolé à la côte ; (2) le chenal, zone sableuse la plus profonde du lagon

soumise à des courants en direction de la passe ; (3) le récif barrière qui est l'ancien récif frangeant éloigné du littoral par l'enfoncement de l'île ; (4) la crête récifale qui constitue une véritable frontière entre lagon et océan et (5) la pente externe soumise à un hydrodynamisme fort, voir violent de la part de l'océan.

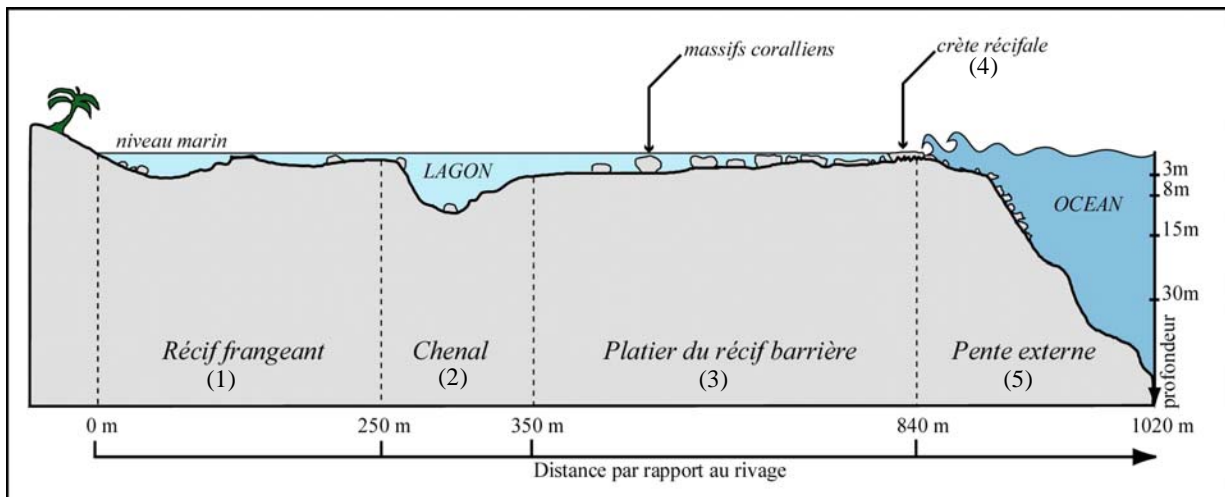


Figure 3 : Schéma des principales unités géomorphologiques d'une île volcanique haute comme Moorea.

Le site d'étude est la côte nord de Moorea. Les différents biotopes coralliens (crête récifale, récif frangeant, récif barrière, mangrove) utilisés pour les enregistrements sonores se situent sur la zone de Matautia (Fig. 4). Lors de l'acquisition des données sonores sur chaque biotope (5 relevés sonores par biotope), les coordonnées GPS ont été notées.



Figure 4 : Vue aérienne de la côte Nord de l'île de Moorea. Localisation du site de Matautia (zone d'étude) avec les différents biotopes de l'habitat corallien.

2.2. Modèle d'étude, outils et sites de capture des larves de poissons coralliens

Aucune liste d'espèces cibles n'a été préalablement définie pour cette étude. Cela dépend des captures quotidiennes effectuées grâce aux deux moyens de capture : filet de crête et piège lumineux.

a) Filet de crête :

La capture des larves de poissons coralliens s'effectue grâce à un outil de capture passif et non-sélectif appelé filet de crête (Dufour et Galzin 1993 – Fig. 5 enlève explicatif de la légende). Ce dernier est placé sur la crête récifale et permet de capturer les larves de poissons lorsque celles-ci colonisent, de nuit, le lagon afin de s'y installer. Les larves sont capturées de manière passive lorsqu'elles franchissent la crête à l'aide des vagues. Ainsi, toutes les espèces franchissant la crête peuvent y être capturées.

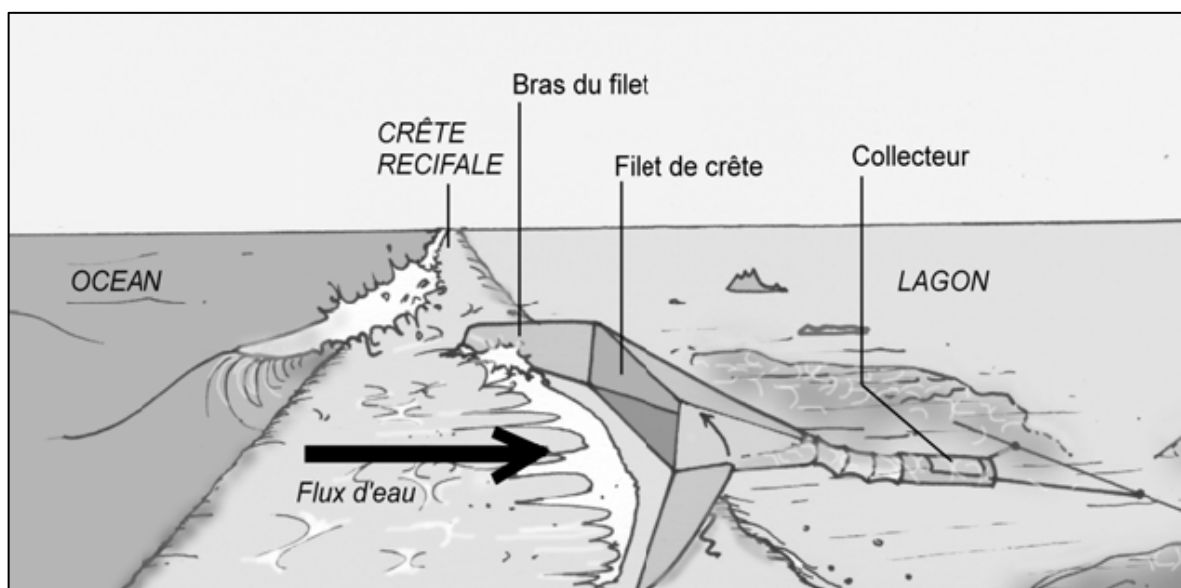


Figure 5 : Schéma explicatif d'un filet de crête.

Le filet de crête est constitué d'un cadre rectangulaire en inox de 1,50 m x 0,80 m d'ouverture solidaire d'un filet trapézoïdal terminé par un collecteur. Le cadre d'inox constitue l'entrée du piège. Il est fixé perpendiculairement à la crête récifale par des tiges en inox, lesquelles sont amovibles de sorte que l'ensemble du piège soit rapidement démontable. Le filet trapézoïdal mesure 5 m de longueur. Il est constitué d'une maille filtrante en nylon Blutex monofilament. Cette maille est de type planctonique avec 1 mm de vide de maille. Accolé à la partie filtrante, le collecteur en PVC (forme cylindrique de diamètre 30 cm et de longueur 1 m) équipé d'un anti-retour permet de récolter les larves. Le filet de crête est installé au crépuscule et les larves sont récoltées dans le collecteur le matin suivant.

Afin d'optimiser l'utilisation du filet de crête, deux sites ont été utilisés : Gendront (sur la côte Ouest de Moorea) et Temae (sur la côte Nord-Est -Fig. 6). Le filet de crête ne peut pas être exposé à des violentes houles puisque les vagues l'endommageraient. Ainsi, durant les deux mois lunaires de mars et d'avril (fin de l'été austral), le filet a été installé à Gendront car la houle dominante à cette période est de secteur Nord. Au début de l'hiver austral (mai et juin), le filet a été installé à Temae à cause d'une houle dominante de Sud-Ouest.

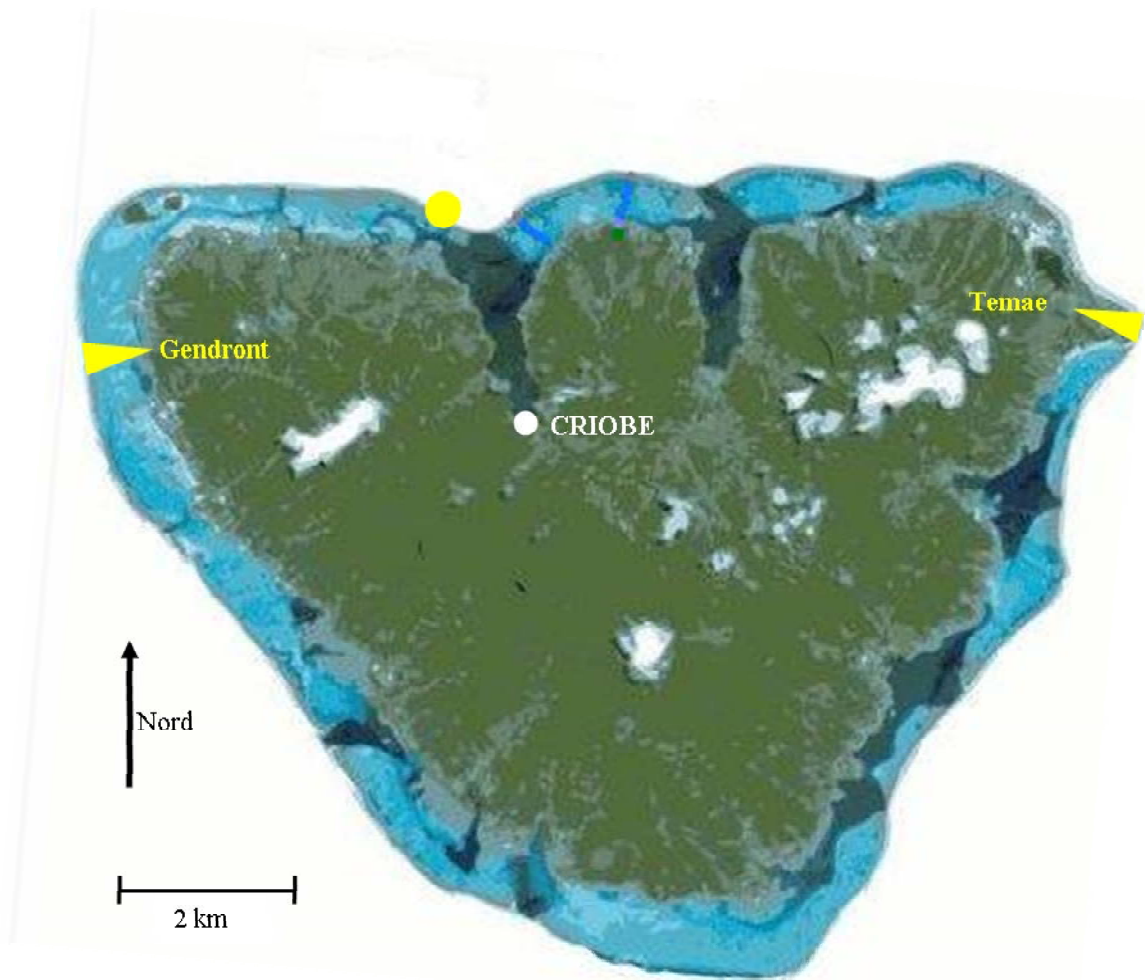


Figure 6 : Localisation géographique des sites de capture de larves de poissons coralliens sur l'île de Moorea. Les triangles représentent les deux sites utilisés pour le filet de crête, le point celui des pièges lumineux.

b) Piège lumineux :

Le piège lumineux collecte les larves de poissons selon un processus actif. Le piège lumineux est généralement installé sur la pente externe. Il émet une source lumineuse qui attire les larves selon la clarté du milieu et la puissance du dispositif d'éclairage. Les larves doivent alors nager "volontairement" vers le piège pour y pénétrer. Ainsi, le piège lumineux est sélectif et ne collecte que les espèces présentant un phototropisme positif.

Le piège lumineux est composé de trois parties imbriquées les unes dans les autres. La première partie (celle du haut) est un cylindre en PVC dans lequel se trouve le module d'éclairage (52 LED) d'une autonomie de 24 h relié à deux batteries (12 V). La deuxième

partie constitue l'attracteur lumineux. Il est de forme cylindrique (40 × 45 cm) et constitué par plusieurs plaques de PVC transparent incurvées vers l'extérieur, évitant ainsi la fuite des larves. Les larves ainsi capturées descendent dans la troisième partie constituée par le collecteur (50 × 25 cm) équipé d'un anti-retour. Le piège lumineux est installé au crépuscule et relevé le matin suivant avec des larves dans le collecteur. Afin d'éviter la dérive des pièges lumineux par les courants, la mise en place de corps morts sur le substrat corallien est nécessaire (Fig. 7) Les 6 pièges lumineux ont été installés sur la côte nord de Moorea (Fig. 6).

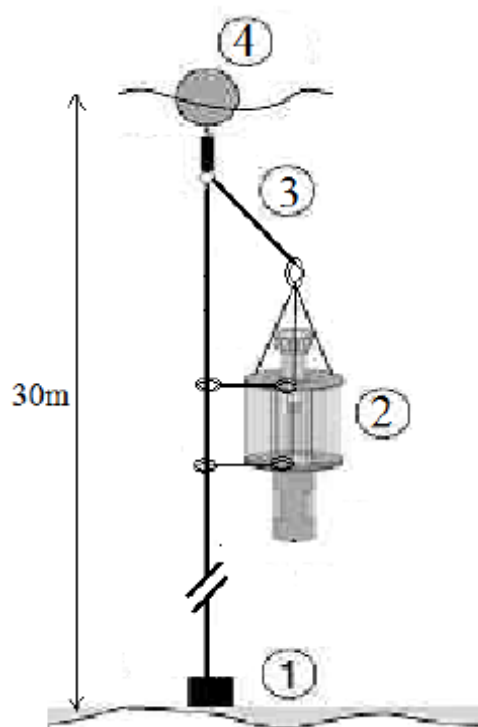


Figure 7 : Schéma du dispositif de la mise en place des pièges lumineux. Un orin relie une bouée en surface (4) à un corps-mort est placé sur le fond (1). Le piège lumineux (2) coulisse sur cet orin par l'intermédiaire de mousquetons et est relié à un bout (3) dont la longueur conditionne la profondeur de capture des larves.

Les larves capturées par les filets de crête ou les pièges lumineux sont récoltées le matin, ramenées vivantes au laboratoire puis triées et identifiées à l'espèce grâce à des clés de détermination taxonomique (Maamaatuaiahutapu *et al.* 2006).

2.3. Acquisition des enregistrements sonores

L'acquisition des enregistrements sonores a consisté à parcourir les différents biotopes coralliens (mangrove, récif frangeant, récif barrière et crête récifale) pour obtenir un panel sonore représentatif de chaque biotope. Cinq points ont été choisis aléatoirement dans chacun des quatre biotopes, soit un total de vingt enregistrements d'une minute chacun. Les enregistrements sont effectués de nuit puisque la colonisation larvaire s'effectue de nuit. Tous les enregistrements sont effectués en kayak.

Les enregistrements ont été réalisés avec un enregistreur « Edirol R-09HR » de la marque Roland (Fig. 8) Les données sont stockées sur une carte de type SD. La fréquence d'enregistrement est de 44100 Khz. L'intensité du volume d'enregistrement est modulable de 10 en 10 à partir de 0 (muet) à 80 (volume maximal). Cinq enregistreurs étaient à ma disposition. Pour s'assurer que les caractéristiques sonores ne varient pas avec le niveau d'enregistrement (de 0 à 80) ou l'enregistreur utilisé, les appareils ont été calibrés. Ces données de calibrations ont ensuite été utilisées pour l'épuration des bandes-sons. L'enregistreur est relié à un hydrophone (High Tech, Inc.) de calibration -164 dB re 1V/uPa (164 décibels relatifs à 1 Volt par unité Pascal), alimenté par une pile 9V. L'hydrophone représente la partie immergée du dispositif permettant de capturer les sons sous-marins. De plus, un haut-parleur alimenté par une pile 6V permet de détecter à l'écoute, d'éventuels bruits parasites comme par exemple les bateaux.



Figure 8 : Enregistreur de type « Edirol R-09HR » (Roland).

Chaque enregistreur est connecté, au moyen d'un jack, à une source émettrice de son pur sinusoïdal (Fig. 9). L'intensité de la source est réglée par une molette pour être proche de la saturation de l'enregistreur au niveau d'enregistrement calibré, sans pour autant l'atteindre. La tension (en mV) de la source de son pur est mesurée en parallèle de l'enregistrement par un oscilloscope branché sur la source. Une période d'environ 15 secondes est enregistrée pour chaque niveau, de chaque enregistreur. Les bandes sonores sont ensuite analysées avec le programme Avisoft SasLab-Pro 5.0.04 (Avisoft Bioacoustics, Germany).



Figure 9 : Dispositif émetteur de son pur sinusoïdal permettant la calibration des enregistreurs.

Les sons enregistrés au moyen du dispositif précité ont subis quelques distorsions. Afin d'obtenir des sons les plus proches de la réalité, quelques corrections ont été nécessaires.

✓ *Transformation stéréo-mono*

L'enregistreur Edirol permet un enregistrement en stéréo, tandis que l'hydrophone capte les sons en mono. Deux pistes sont ainsi obtenus sur les enregistrements :, l'une contenant les sons enregistrés, l'autre vide (Annexe 1). La conversion "stéréo-mono" est effectuée en ne tenant compte que de la piste principale.

✓ *Distorsion due à l'alimentation de l'hydrophone*

L'alimentation de 9V de l'hydrophone provoque une distorsion de l'oscillogramme (graphe de représentation de la puissance du son en décibels, en fonction du temps). Pour éliminer cette distorsion, un filtre "High Pass" de 0.1 KHz est appliqué (Annexe 2).

✓ *Élimination des pics*

Certains sons naturels très courts (essentiellement des craquements de crevettes) sont d'une fréquence supérieure à la fourchette d'enregistrement de l'enregistreur Edirol, des saturations, ou pics. Ceux-ci sont mis en avant par le programme Avisoft et sont éliminés manuellement (Annexe 3).

✓ *Élimination des bruits non-naturels*

Les conditions de travaux étant parfois mouvementées, certains sons enregistrés tels que des coups de pagaie contre la coque du kayak ou des frottements du câble de l'hydrophone ont dû être éliminés. Ces sons sont repérés à l'écoute de la bande, et sont éliminés manuellement.

✓ *Préparation des bandes sonores en vue de leur utilisation*

Les bandes sonores doivent encore faire l'objet de modification afin que la source sonore puisse être placée à une distance relativement faible, de l'ordre d'une dizaine de mètres, des larves de poissons coralliens. Ainsi pour se placer dans des conditions dites de « champ lointain » ou « far field » alors que la source sonore se trouve à proximité du dispositif

d'expérimentation, on effectue un nouveau traitement « High Pass » pour éliminer les fréquences supérieures à $F = V_{sw} / 2 * 10$, c'est à dire 750Hz. Une fois les enregistrements totalement opérationnels, ils sont enregistrés au format « wav » pour être utilisés par la suite.

Toutes ces analyses sonores ont été effectuées grâce à l'aide de Laetitia Berten, étudiante en thèse dont David Lecchini est co-directeur de thèse. Laetitia était présente en même temps que moi à Moorea.

2.4. Expérience à double choix (*in situ*) : « Choice chamber »

La technique des « *choice chamber* » est une technique couramment utilisée pour étudier les capacités auditives des larves de poissons (Tolimieri *et al.* 2004 ; Radford *et al.* 2007)..

Les *choice chamber* (Fig. 10) sont composés de plastique transparent souple qui une fois rempli d'eau permet aux larves de circuler librement. Une ouverture centrale permet d'introduire les larves de poissons, tandis que les extrémités sont fermées grâce à un filet empêchant les larves de sortir. Les *choice chamber* sont disposés parallèlement à la plage dans une profondeur d'un mètre. Les chambres sont maintenues en place par des tendeurs fixés à une planche en bois reliés à une tige en fer ancrée dans le sable. Les haut-parleurs sont placés à une distance de dix mètres de l'extrémité des chambres. Cette distance permet de se placer dans des conditions de champ lointain comme expliqué précédemment (2.2.5.e).

Avant de commencer l'expérience, des enregistrements sont effectués afin de vérifier que le son ambiant du milieu est inférieur aux sons émis et que les deux haut-parleurs émettent à des niveaux sonores similaires. Ainsi, quatre enregistrements sont effectués. Le premier permet d'identifier le bruit ambiant généré par le milieu naturel. Les deux autres enregistrements sont effectués avec pour chacun, un seul des deux haut-parleurs allumé afin de comparer les niveaux sonores. Le dernier est réalisé avec les deux haut-parleurs allumés simultanément.

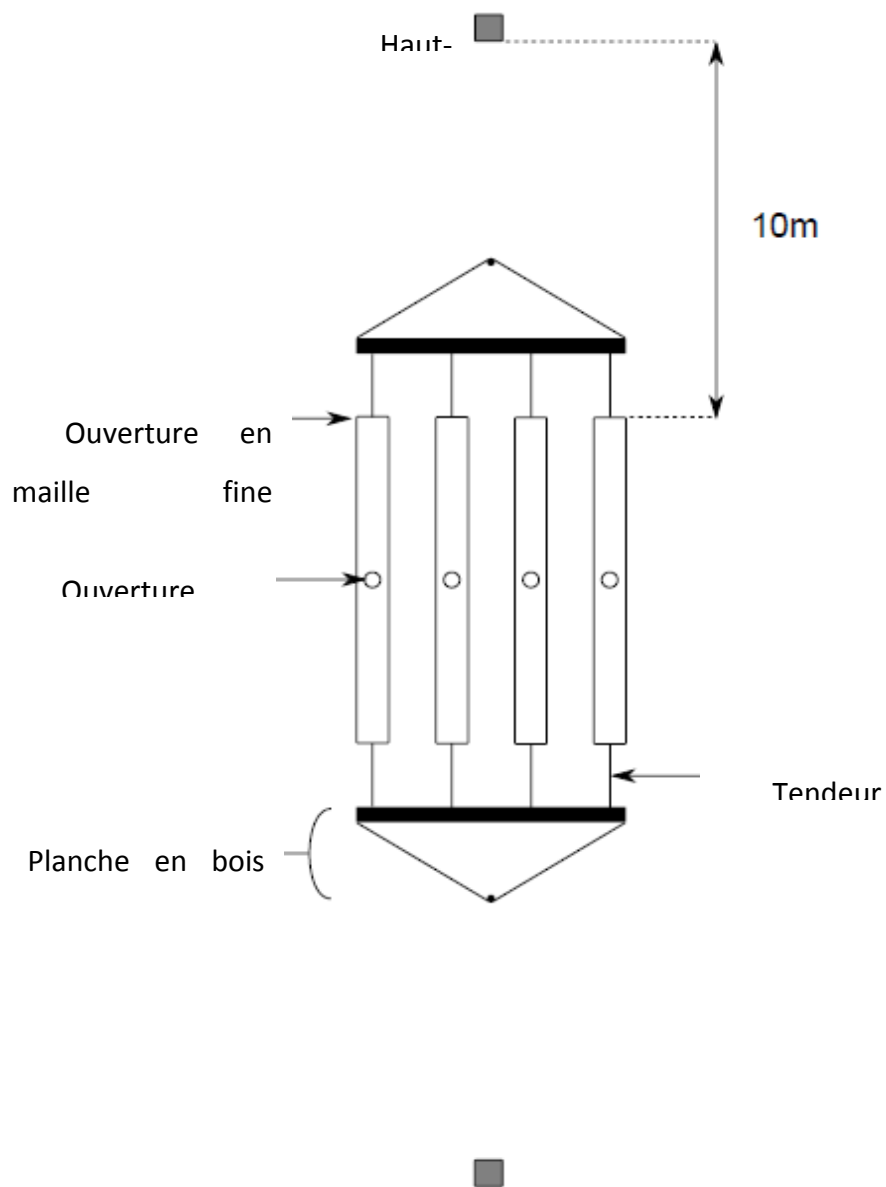


Figure 10 : Schéma du dispositif de « *Choice chamber* ».

Les larves sont introduites au centre des *choice chamber* par l'ouverture. Chaque *choice chamber* comporte entre trois et cinq larves (selon les captures aux filets de crête ou aux pièges lumineux). Les larves disposent de cinq minutes d'acclimatation avant le début de l'expérience. Les deux haut-parleurs sont ensuite mis en marche simultanément. Au bout de dix minutes, les *choice chamber* sont fermées au centre à l'aide d'élastiques. Les larves se retrouvent donc bloquées aux extrémités vers lesquelles elles se sont déplacées. Dans chaque compartiment, le nombre de larves est noté et ces dernières sont ensuite libérées. A chaque réplicat, les sons sont inversés pour éviter tout biais dû aux conditions environnementales.

Durant le premier mois lunaire de mon stage (mars), les larves ont été testées avec du son enregistré sur la crête récifale contre du son enregistré dans l'océan à deux kilomètres au large. Cette étude permet de répondre à la question suivante : comment les larves océaniques détectent-elles l'île à coloniser ? Lors du second mois lunaire (avril), les larves ont été testées avec du son enregistré sur le récif barrière contre du son enregistré sur le récif frangeant. Cette étude permet de répondre à la question suivante : comment les larves qui ont colonisé détectent-elles l'habitat d'installation ?

2.5. Expérience en aquarium : « Arena chamber »

L'enregistrement sonore de la mangrove n'a pas pu être comparé à ceux du récif barrière et du récif frangeant avec la technique *choice chamber*. En effet, le niveau sonore ambiant du site expérimental des *choice chambers* était supérieur à celui de la mangrove. Ainsi, un aquarium nommé *arena chamber* a été confectionné pour continuer la comparaison de l'attraction sonore des différents habitats coralliens.

L'*arena chamber* (Fig. 11) est un aquarium (140 cm x 70 cm x 60 cm) dont les parois et le fond sont isolés par une couche de polystyrène expansé de 3 cm d'épaisseur. L'aquarium est divisé longitudinalement en deux, ce qui permet de réaliser deux réplicats simultanément. A chaque extrémité, un compartiment séparé du reste de l'aquarium grâce à de la maille fine est utilisé pour placer les haut-parleurs. Le son est ainsi diffusé sans que les poissons puissent voir les haut-parleurs. Les larves sont installées au centre de l'aquarium et peuvent nager librement grâce aux orifices des parois séparant les trois compartiments.

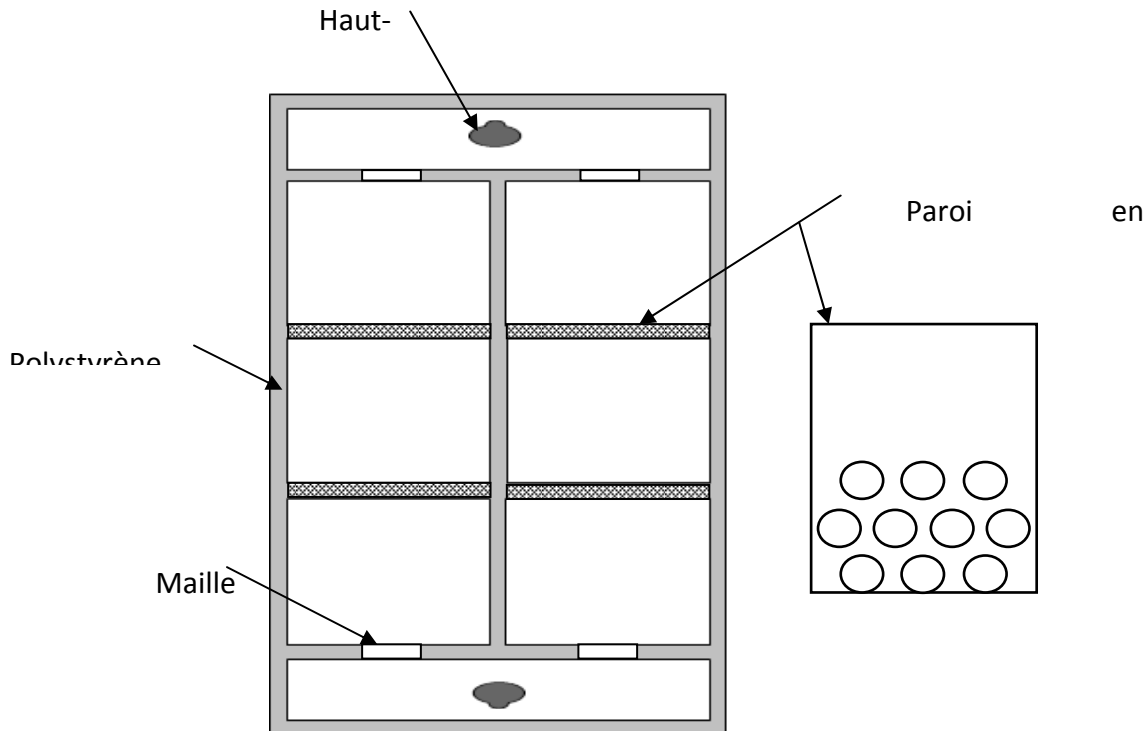


Figure 11 : Schéma de l'aquarium « *Arena chamber* ».

Comme cette méthode n'a jamais été testée au préalable, il est nécessaire de vérifier le bon fonctionnement du dispositif sonore. Ainsi, entre 3 et 5 larves de poissons (selon les captures) ont été placées dans le compartiment central pendant cinq minutes d'acclimatation. La position des larves a été notée à l'issue des cinq minutes. Ensuite, le son de la crête récifale (testé lors de l'expérience des *choice chambers*) a été émis d'un seul côté de l'aquarium pendant dix minutes. A l'issue des dix minutes, la position des larves est notée. L'utilisation des statistiques permet de valider (voir partie Résultats) la technique de l'*arena chamber* (déplacement des larves vers le compartiment le plus proche du haut-parleur émettant le son de la crête récifale).

Une fois la technique validée, le même protocole a été mis en place que pour l'expérience des *choice chamber*. Le son de la mangrove est d'abord comparé au son du récif barrière, puis au son du récif frangeant.

2.6. Analyses numériques et outils statistiques

Toutes les expériences menées dans cette étude présentent des résultats sous forme de tableaux de contingence (dénombrement), et sont représentées sous la forme de distributions de fréquences. Afin de répondre à l'hypothèse d'indépendance entre les distributions observées et théoriques, des tests *Chi2* de conformité ont été effectués. Ces tests ont été faits avec le logiciel R, sous condition que les effectifs soient supérieurs à 5 et que les fréquences observées suivent une loi normale. Une différence est considérée comme significative pour une probabilité inférieure à 5%.

3. Résultats

3.1. Comparaison des sons des différents biotopes coralliens

L'analyse sonore des quatre biotopes montre que deux d'entre eux présentent des caractéristiques qui leur sont propres. En effet, la crête récifale et la mangrove se distinguent du récif frangeant et du récif barrière. L'environnement sonore de la crête récifale est bruyant, et est principalement dû au bruit des vagues se brisant sur la crête. Au contraire, la mangrove se caractérise par un environnement sonore calme. Le bruit ambiant y est très faible et essentiellement caractérisé par le clapot de l'eau contre les palétuviers et par le bruit fait par les pinces de crabes violonistes. Le son du récif frangeant est très semblable au son du récif barrière. Néanmoins, le récif barrière est légèrement plus bruyant de part sa proximité à la crête récifale. Cette analyse, bien que succincte, permet de constater que chaque biotope possède son propre environnement sonore.

3.2. Expérience à double choix (*in situ*) : « Choice chamber »

a) Son de la crête récifale vs. son de l'océan

Lorsque les larves sont soumises à du son enregistré sur la crête récifale vs. du son enregistré dans l'océan (à 2 km au large), aucune attraction significative n'est observée pour 4 des 6 espèces étudiées (*Acanthurus triostegus*, *Epinephelus merra*, *Neoniphon sammara* et *Sargocentron microstoma* - fig. 12). Pour ces 4 espèces, la répartition des larves entre les deux compartiments des *choice chamber* est comprise entre 40 et 60 %. Les tests *Chi2* de conformité effectués sur ces 4 espèces montrent une absence d'attraction des larves pour l'un des deux sons (Tableau I). En revanche, deux espèces semblent attirées par l'un des deux sons. Les larves de *Myripristis berndti* se répartissent à 89% vers le son de la crête récifale, tandis que les larves de *Sargocentron spiniferum* à 80% vers le son de l'océan (Fig. 12). Cependant, les tests *Chi2* de conformité n'ont pas pu être réalisés pour ces deux espèces car les effectifs étaient inférieurs à cinq.

D'autres espèces ont été testées (*Acanthurus xanthopterus*, *Ctenochaetus striatus*, *Mulloidichthys flavolineatus* et *Ostorhinchus angustatus*), mais trop peu des larves ont été testées pour que les résultats puissent être considérés (annexe 4).

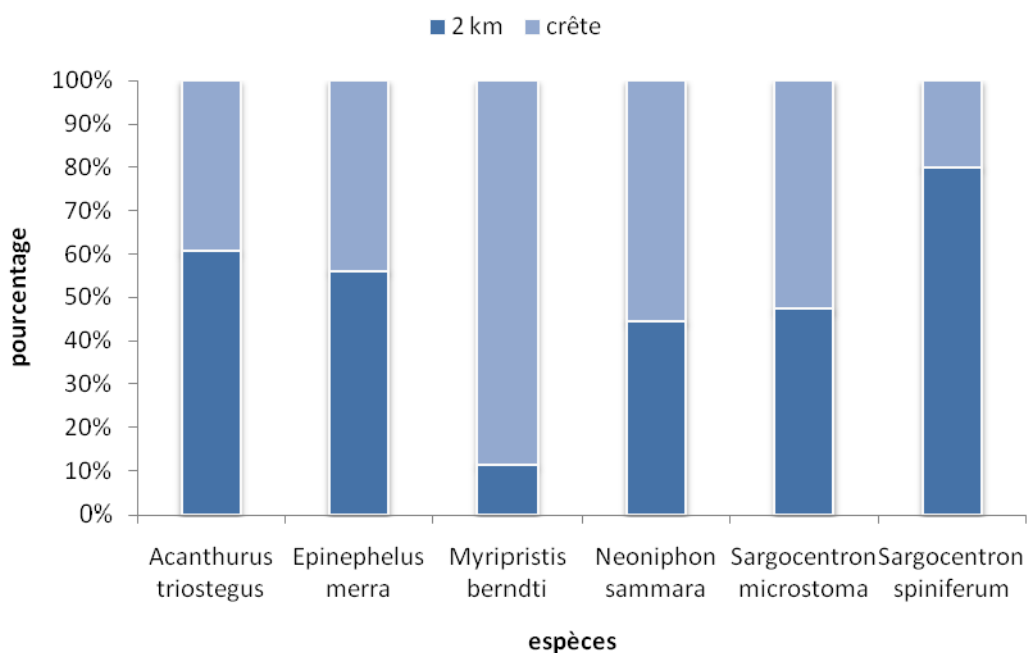


Figure 12 : Distribution (en %) des larves des 6 espèces dans les *choice chamber* en fonction du son enregistré sur la crête récifale vs. du son enregistré dans l'océan.

Tableau I : Résultats des tests de Chi² (χ^2 : valeur du test ; ddl : degré liberté et p-value) entre la distribution théorique (50/50) et la distribution observée de quatre espèces pour deux sons dits pélagiques (2 km : son enregistré en mer à deux kilomètres de la crête récifale ; crête : son enregistré au niveau de la crête récifale, coté océan).

Espèce	N	χ^2	ddl	p-value
<i>Acanthurus triostegus</i>	38	0.8515	1	0.3561
<i>Epinephelus merra</i>	25	0.1807	1	0.6708
<i>Neoniphon sammara</i>	18	0.1115	1	0.7385
<i>Sargocentron microstoma</i>	53	0.085	1	0.7707

b) Son du récif barrière vs. son du récif frangeant

Lorsque les larves sont soumises à du son enregistré dans le récif frangeant contre du son enregistré dans la mangrove, aucune attraction significative (Fig. 13). Pour ces 6 espèces, la répartition des larves entre les deux compartiments des *choice chamber* est comprise entre 34 et 66 %. Les tests *Chi2* de conformité effectués sur ces espèces montrent une absence d'attraction des larves pour l'un des deux sons (Tableau II).

D'autres espèces (*Chaetodon citrinellus*, *Myripritis berndti*, *Lutjanus kasmira*) ont été testées, mais trop peu pour que les résultats puissent être considérés (annexe 5).

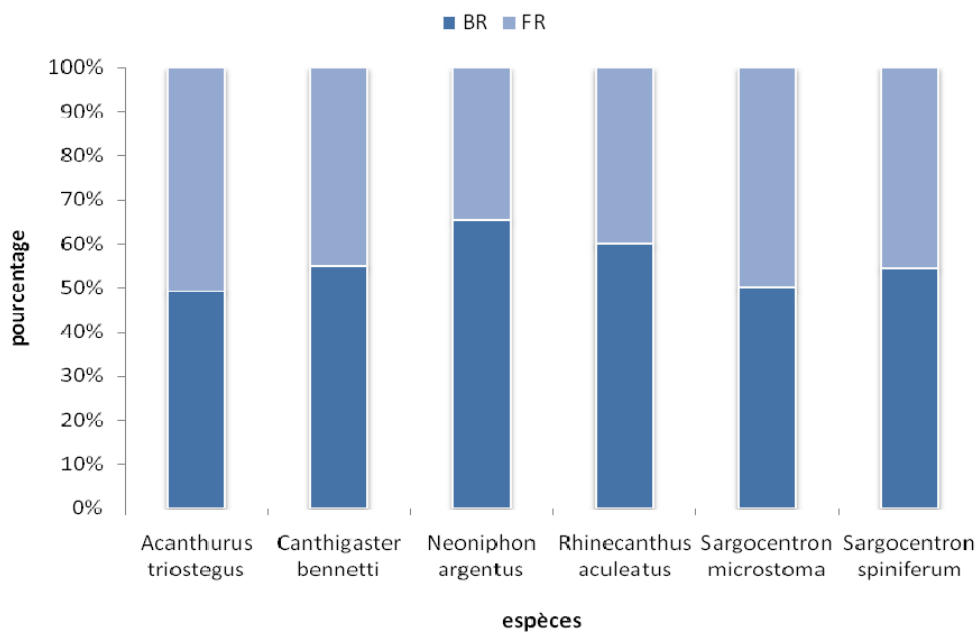


Figure 13 : Distribution (en %) des larves des 6 espèces dans les *choice chamber* en fonction du son enregistré dans le récif barrière (BR) vs. du son enregistré dans le récif frangeant (FR).

Tableau II : Résultats des tests de χ^2 (N : effectif total ; χ^2 : valeur du test ; ddl : degré liberté et p-value) entre la distribution théoriques (50/50) et la distribution observée de six espèces pour deux sons dits benthiques (FR : son de récif frangeant ; BR : son de récif barrière).

Espèce	N	χ^2	ddl	p-value
<i>Acanthurus triostegus</i>	197	0.0228	1	0.8799
<i>Canthigaster bennetti</i>	40	0.2005	1	0.6543
<i>Neoniphon argenteus</i>	78	3.7818	1	0.05181
<i>Rhinecanthus aculeatus</i>	25	0.5051	1	0.4773
<i>Sargocentron microstoma</i>	104	0	1	1
<i>Sargocentron spiniferum</i>	11	0.0455	1	0.831

3.3. Expérience en aquarium : « Arena chamber »

Initialement, l'aquarium *arena chamber* n'était pas celui présenté dans le chapitre 2.5.a. Le premier dispositif (annexe 6) disposait d'une seule ouverture par cloison et de 7 compartiments. Les ouvertures étaient disposées en quinconce pour produire un gradient sonore entre les compartiments. Les premiers tests ont montré que même après une période d'acclimatation, les larves étaient stressées. En effet, les larves ne se déplaçaient pas à l'issue du temps imparti à l'expérience. Cependant, il a été observé que ces dernières réagissaient à l'émission des bandes sonores. Suite à cette observation, un nouveau dispositif a été confectionné.

Dans ce second dispositif (annexe 7), les larves se déplaçaient facilement entre les 3 compartiments. Cependant, il a été constaté que certaines espèces qui se déplacent en pleine eau ou près de la surface ne trouvaient pas les ouvertures entre les compartiments (ouvertures positionnées au fond de l'aquarium). Cette observation a conduit à la confection de l'aquarium finalement retenu avec la création d'un nouveau type de cloisons.

Même si j'ai constaté rapidement que les deux premiers aquariums ne convenaient pas, un minimum de réplicats a dû être effectué. Un mois lunaire s'est écoulé durant cette phase d'amélioration de l'aquarium. Une fois, cette période de tests préliminaires effectués (annexe 8), je n'ai eu le temps que de tester le son du récif barrière vs. le son de la mangrove.

Dans un premier temps, la distribution des larves entre les trois compartiments a été observée en absence de son. Cette distribution « théorique » est ensuite comparée à la distribution « observée » lorsque le son du récif barrière est émis d'un côté et le son de la mangrove est émis de l'autre côté. Les résultats montrent que les larves d'*Acanthurus triostegus* et de *Pristiapogon exostigma* sont attirées par le son du récif barrière (Fig. 14).

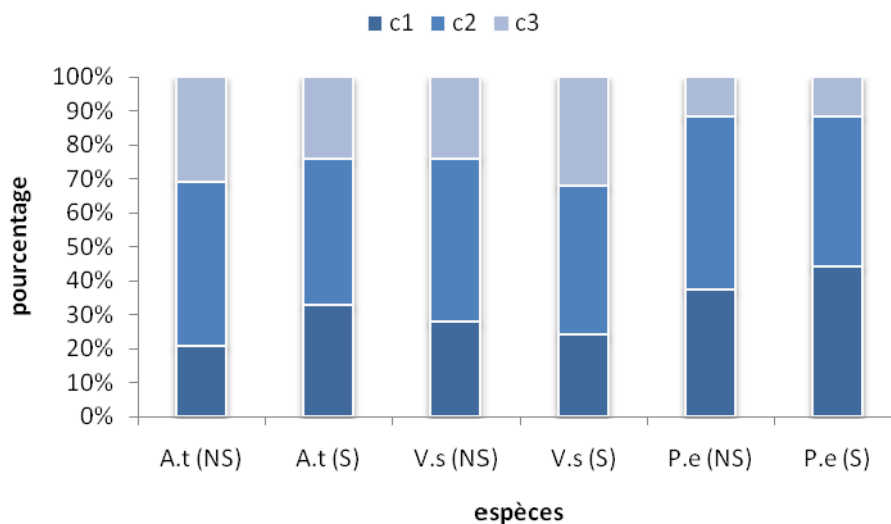


Figure 14 : Distribution (en %) dans les trois compartiments (c1 : compartiment le plus proche du son récif barrière; c2 : compartiment intermédiaire et c3 compartiment le plus proche du son mangrove) de l'arena chamber des trois espèces de larves testées (A.t : *Acanthurus triostegus* ; V.s : *Valenciennea strigata* et P.e : *Pristiapogon exostigma*) avec ou sans son (NS : sans son ; S : son).

Le tableau III présente les résultats des tests de *Chi2* effectués pour savoir si la répartition spatiale des larves est modifiée significativement lorsque deux sons leur sont proposés. Les valeurs des p-values, comprises entre 0,32 et 0,82 indiquent que la répartition spatiale d'aucune espèce n'a été modifiée significativement par l'émission des sons.

Tableau III : Résultats des tests de χ^2 (N : effectif total ; χ^2 : valeur du test ; ddl : degré de liberté et p-value) entre la position sans son (distribution théorique) et avec son (distribution observée) de quatre espèces (en nombre d'individus).

Espèce	N	χ^2	ddl	p-value
<i>Acanthurus triostegus</i>	58	2.25	2	0.32
<i>Valenciennea strigata</i>	25	0.41	2	0.82
<i>Pristiapogon exostigma</i>	43	0.48	2	0.79

Cependant, un doute subsiste quant à la fiabilité de l'*arena chamber*. Les larves ne sont-elles pas attirées par la source sonore, ou les conditions expérimentales dans l'aquarium sont-elles responsables de ces résultats ?

Pour répondre à cette question, la dynamique des ondes sonores dans l'aquarium, a été déterminé avec des enregistrements effectués dans chaque compartiment lorsque seul un son était diffusé. L'analyse de ces enregistrements montre que les niveaux sonores ne sont pas ceux attendus. En effet, les figures 15 et 16 montrent que pour des fréquences comprises entre 0,1 et 0,2 Khz, le niveau sonore le plus élevé est celui du compartiment le plus éloigné de la source sonore (A3 et B3). De même, les niveaux sonores sont différents pour chaque compartiment des deux cotés de l'aquarium (A et B). Il apparait également que pour une fréquence donnée, le niveau sonore d'un compartiment qui est le plus élevé des trois, peut à une autre fréquence, devenir le plus faible. Par exemple (Fig. 15), pour une fréquence de 0,1 Khz, le compartiment le plus éloigné de la source sonore (A3) est celui dont le niveau sonore

est le plus élevé avec 91 dB, alors que pour une fréquence de 0,7 KHz, il possède le niveau sonore le plus faible (73 dB). Cette analyse rend compte du dysfonctionnement du dispositif mis en place. Ainsi, les données obtenues et analysées avec cet aquarium doivent être prises en considération avec une extrême précaution.

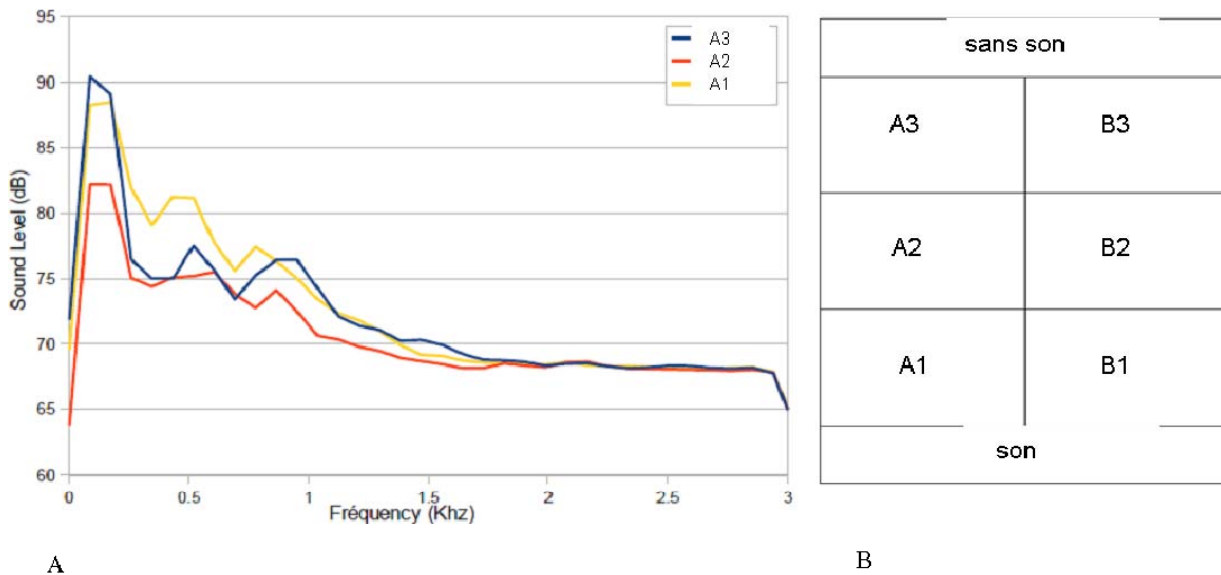


Figure 15 : A : Niveau sonore en décibels (dB) en fonction de la fréquence en kilo hertz (KHz) des compartiments A1, A2 et A3 de l'arena chamber ; B : schéma explicatif de l'arena chamber.

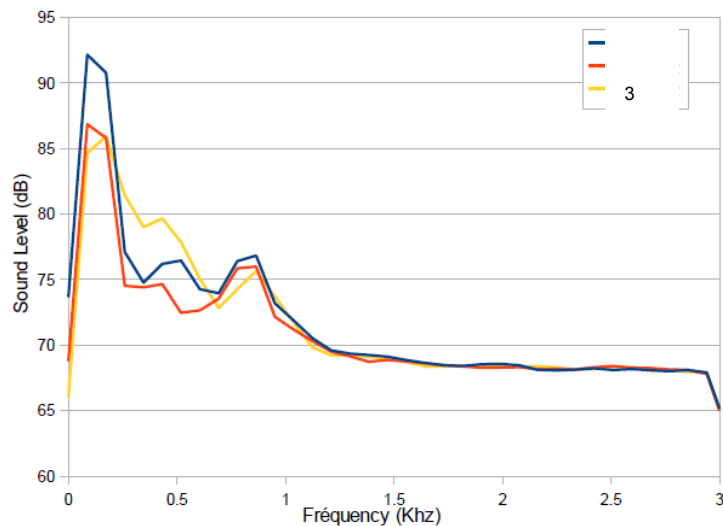


Figure 16 : Niveau sonore en décibels (dB) en fonction de la fréquence en kilo hertz (KHz) des compartiments B1, B2 et B3 de l'arena chamber.

4. Discussion

Les résultats en *choice chamber* ont montré que pour quatre espèces, les larves testées (N=134) ne présentent pas de préférence significative entre le son de la crête récifale et le son de l'océan. De même, aucune préférence significative n'a été observée entre les sons du récif barrière et du récif frangeant (N=455). Après la période de mise au point de l'aquarium, les résultats obtenus indiquent que la répartition spatiale d'aucune espèce (N=126) n'a été modifiée significativement par l'émission des sons mangrove et récif barrière. Des tests ont été effectués sur l'*arena chamber* pour savoir si ce dispositif était fonctionnel. Les résultats de ces tests ont mis en évidence un dysfonctionnement de l'aquarium.

La comparaison de l'environnement sonore de différents biotopes coralliens est un domaine qui n'a jusque là pas été abordé. De nombreuses études ont démontré que le son était couramment utilisé par les larves de poissons coralliens, et que ces dernières étaient capables de discriminer un son artificiel d'un son récifal (Leis *et al.* 2002). C'est pourquoi l'objectif de mon stage était de déterminer les capacités auditives des larves à distinguer deux sons d'origine naturelle, provenant de biotopes différents.

Les résultats obtenus avec les expériences en *choice chamber* montrent que les larves n'utiliseraient pas d'avantage le son provenant de la crête récifale que celui perçu à deux kilomètres dans l'océan pour détecter l'île à coloniser. Ce résultat est intéressant car l'hypothèse de départ était que le son de la crête récifale, de part sa proximité à l'île, serait plus attractif.

D'après Myrberg et Fuiman (2002), les capacités auditives des larves de poissons coralliens varient selon les espèces. Les espèces dotées de bonnes capacités auditives possèderaient une connexion directe entre l'oreille interne et la vessie natatoire (Popper & Fay 1999). En *choice chamber*, 89% des larves de *Myripristis berndti* testées sont attirées par le son de la crête récifale. De plus, *Myripristis kuntee*, une espèce du même genre (Holocentridae) que *M. berndti*, possède de très bonnes capacités auditives grâce à cette connexion (Myrberg & Fuiman 2002). Cependant, trop peu de réplicats ont été réalisés avec *M. berndti* pour pouvoir faire un test de *Chi*². Il serait intéressant de tester plus de larves de cette espèce pour voir si la tendance observée se vérifie avec les statistiques. De même, il serait intéressant de cibler les espèces à tester dans le futur. Une étude morphologique

préalable pour déterminer les espèces possédant la connexion entre l'oreille interne et la vessie natatoire pourrait être menée pour tester, d'une part, des espèces possédant cette connexion et, d'autre part, des espèces qui en seraient dépourvues. D'après Kenyon (1996), les capacités auditives évolueraient au cours du cycle ontogénique, les juvéniles auraient ainsi des capacités auditives supérieures à celles des larves. De fait, il pourrait être envisagé de reproduire les expériences avec des juvéniles de poissons coralliens pour voir si ces derniers parviennent à discriminer les environnements sonores des différents biotopes.

Dans la présente étude, le choix de comparer deux sons (un de la crête récifale et l'autre de deux kilomètres en mer) était volontaire. En effet, Tolimieri *et al.* (2000) montrent que le son généré par les vagues sur le récif est utilisé pour détecter la présence d'îles. Le résultat obtenu en *choice chamber* suggère que les larves de poissons coralliens seraient capables de détecter la présence de l'île à coloniser à une distance de deux kilomètres. Notre résultat s'oppose à celui de Mann *et al.* (2007) qui suggèrent que les larves de poissons coralliens sont incapables de détecter un son ambiant à plus d'un kilomètre dans un habitat acoustiquement illimité. Alors que notre étude est basée sur une réponse comportementale des larves de poissons, Mann *et al.* évaluent la distance maximale d'orientation aux récifs grâce à la vitesse de particule acoustique du son et à des mesures de la pression acoustique, sous condition d'une vague de propagation plate. La confrontation de ces résultats est intéressante. La différence observée peut s'expliquer par le fait que l'approche et les méthodes utilisées sont différentes. Cependant, à l'échelle de la distance parcourue par les larves durant leur phase pélagique, entre dix et cent kilomètres selon les espèces (Armsworth, 2001), cette différence de un kilomètre entre les deux études peut paraître faible.

Lors de la mise en place de l'expérience des *choice chamber*, j'ai décidé de laisser cinq minutes d'acclimatation aux larves, puis d'enclencher les haut-parleurs et de noter dix minutes plus tard la répartition des larves. Il aurait été préférable de laisser les larves sans son pendant dix minutes après l'acclimatation, de noter leur répartition et d'enclencher ensuite les haut-parleurs, puis de noter à nouveau la répartition des larves après dix minutes supplémentaires. Ainsi, la répartition des larves à l'issue de l'expérience aurait été comparée à celle observée au bout des premières dix minutes et non pas à une répartition hypothétique de 50/50. Le protocole suggéré ici aurait peut être permis de prévenir d'une possible influence des conditions expérimentales ou environnementales qui ont pu varier à cause de la

météorologie. Il est en effet envisageable que les larves aient choisi un coté du dispositif durant la période d'acclimatation et qu'elles ne se soient pas déplacées ensuite.

Avec la confection de *l'arena chamber*, le but était de mettre au point une nouvelle technique permettant de comparer le son du biotope « mangrove » au son des autres biotopes coralliens. Les tests réalisés ont permis de mettre en évidence du dysfonctionnement de *l'arena chamber*. Cela traduit la difficulté de mener une étude comportementale de larves de poissons en réponse à un stimulus sonore en aquarium. Il a été constaté que la propagation des ondes sonores dans *l'arena chamber* était totalement anarchique. Le problème majeur est certainement celui de la réflexion des ondes sonores sur les parois de l'aquarium. Ce phénomène semble être irréversible. Ainsi l'étude comportementale des larves en réponse à une stimulation sonore en aquarium compartimenté paraît délicate. A l'avenir, il serait indispensable de contrôler au préalable, les niveaux sonores de chaque compartiment.

Le nombre de réplicats a parfois été limité par les conditions météorologiques, en particulier par la houle. L'île de Moorea a été frappée successivement par plusieurs houles importantes. Le filet de crête et les pièges lumineux n'ont pas toujours pu être utilisés pour la capture des larves. De plus, les expériences entreprises présentent chacune des limites. En *choice chamber*, le courant bien que très faible et rare sur le site, a pu perturber le déplacement des larves, même s'il a été prouvé que ces dernières possèdent des capacités natatoires suffisantes pour contrôler leur patron de dispersion (Stobutzki et Bellwood, 1997). L'expérience en *arena chamber* et les problèmes rencontrés rendent compte de la difficulté de mener à bien une expérience en milieu contrôlé. L'utilisation d'une méthode, quelle qu'elle soit, présente des limites. Il faut donc en être conscient et ne pas interpréter les résultats en dehors de ces limites. Néanmoins, il serait souhaitable de trouver une solution qui permettrait de terminer la comparaison de l'environnement sonore des différents biotopes.

L'approfondissement des connaissances sur le pouvoir attracteur du son sur les larves de poissons coralliens s'avère nécessaire. Une des applications majeures de ce pouvoir attracteur est d'augmenter l'efficacité de capture des larves de poissons coralliens, en associant du son à un piège lumineux. L'optimisation de la capture de larves peut être perçue sous deux angles différents. D'un point de vue économique, ces larves de poissons coralliens possèdent une valeur marchande non négligeable dans le milieu de l'aquariophilie. Capturer des individus

d'espèces rares ou endémiques au stade larvaire représente une avancée majeure en termes de taux de survie. En effet, une larve élevée en aquarium possède un taux de survie nettement supérieur à un individu adulte qui serait maintenu vivant en vue d'une future exportation vers l'Europe par exemple. D'un point de vue écologique, l'amélioration de l'efficacité de capture des larves de poissons coralliens s'avère particulièrement intéressante notamment pour mener des actions de repeuplement des lagons polynésien dont les effectifs et la richesse spécifique sont souvent en déclin. La technique de culture post-capture est aujourd'hui largement maîtrisée.

5. Conclusion

La présente étude avait pour objectif d'étudier les capacités auditives des larves de poissons coralliens dans la reconnaissance de leur habitat de vie. L'habitat de vie était les différents biotopes coralliens caractérisant le lagon de Moorea. Le pouvoir attracteur de ces différents biotopes a été testé sur plusieurs espèces de poissons au stade larvaire pour apporter des éléments de réponses à deux questions : (i) comment les larves océaniques détectent-elles l'île à coloniser (son émis par le biotope « crête récifale ») et (ii) comment les larves qui ont colonisé détectent-elles l'habitat d'installation (son émis par les biotopes : récif frangeant, récif barrière et mangrove) ?

Ainsi, les larves dans l'océan n'utiliseraient pas d'avantage le son provenant de la crête récifale que celui émis à deux kilomètres dans l'océan pour détecter l'île à coloniser. Ce résultat laisse penser que ces larves seraient capables de détecter l'île à coloniser à une distance de deux kilomètres. Il a également été observé que les larves qui ont colonisé n'utiliseraient pas les sons générés par l'habitat corallien, qu'ils proviennent du récif frangeant ou du récif barrière pour sélectionner l'habitat d'installation. La comparaison de l'environnement sonore des différents biotopes n'a pas pu être menée dans son intégralité à cause de problèmes expérimentaux rencontrés avec les expériences en aquarium.

A la suite de cette étude, des perspectives semblent intéressantes à développer. La première consisterait à identifier les espèces possédant des capacités auditives supérieures aux autres (espèces possédant une connexion directe entre l'oreille interne et la vessie natatoire). Ensuite, il faudrait poursuivre les études en *choice chamber* avec ces espèces afin de savoir si elles sont capables de discriminer les environnements sonores des différents biotopes coralliens. Enfin, une approche pluridisciplinaire avec la physique et l'acoustique pourrait être envisagée afin de maîtriser les paramètres de propagation du son et ainsi mettre au point un dispositif permettant de terminer la comparaison des habitats coralliens.

6. Bibliographie

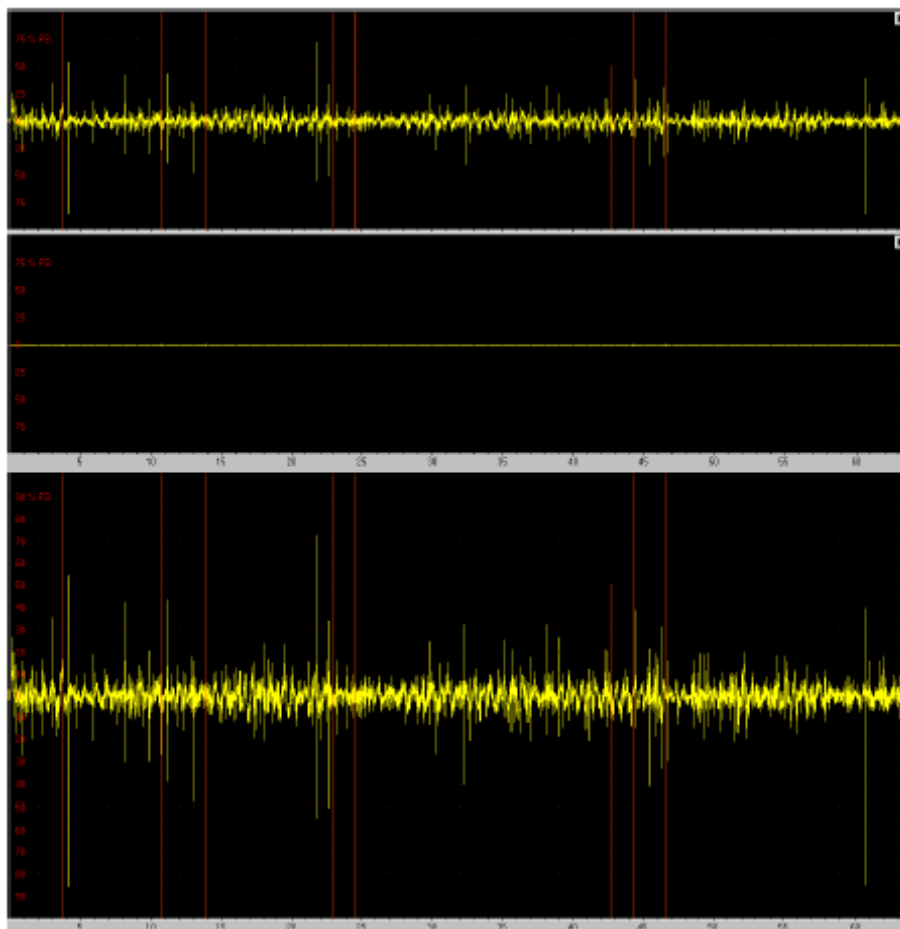
- Armsworth P.R., 2001. Directed motion in the sea: efficient swimming by reef fish larvae. *J. theor. Biol.*, 210 : 81-91.
- Battistini R., Bourrouilh F., Chevalier J.P., Coudray J., Denizot M., Faure G., Fisher J.C., Guilcher A., Harmelin-Vivien M., Jaubert J., Labordel J., Masse J.P., Maugé L.A., Montaggioni L., Peyrot-Clausade M., Pichon M., Plante R., Plaziat J.C., Plessis Y.B., Richard G., Salvat B., Thomassin B.A., Vasseur P., Weydert P., 1975. Eléments de terminologie récifale indopacifique. *Téthys*, 7 : 1-111.
- Benaka, L., 1999. Fish Habitat: Essential Fish Habitat and Rehabilitation. American Fisheries Society, Bethesda, MD.
- Doherty P.J., 2002. Variable replenishment and the dynamics of reef fish populations. *In* : Sale P.F. (ed.), Coral reef fishes : dynamics and diversity in a complex ecosystem. *Academic press*, San Diego, pp. 327-358.
- Doherty P.J., Dufour V., Galzin R., Hixon M.A., Planes S., 2004. High mortality at settlement is a population bottleneck for a tropical surgeonfish. *Ecology*, 85: 2422-2428.
- Dufour V., & Galzin R., 1993. Colonization patterns of reef fish larvae to the lagoon at Moorea Island, French Polynesia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 102 : 143-152.
- Dufour V., Almany G., Anderson T., Beretta G., Booth D., Carleton J., Doherty P., Galzin R., Hixon M., Lecaillon G., Lecomte R., Overholtzen K., Planes S., Scourzic T., Stand S., Thompson S., Webster M., 1998. International mission Covare98. Quantification of larval flux and mortality at settlement of a coral reef fish. *Intern Soc. Fro Reef Studies*, Perpignan: p. 67.
- Fay R.R., & Popper A.N., 2000. Evolution of hearing in vertebrates: the inner ears and processing. *Hear. Res.*, 149 : 1-10.

- Fay R.R., 2008. Sound source perception and stream segregation in non-human vertebrate animals. *In*: Yost WA, Popper AN, Fay RR (eds) Auditory Perception of Sound Sources. New York: Springer Science+Business Media, pp. 307-323.
- Jones G.P., Milicich M.J., Emslie M.J., and Lunow C.. 1999. Self-recruitment in a coral reef fish population. *Nature*, 402: 802–804.
- Kenyon T.N., 1996. Ontogenetic changes in the auditory sensitivity of damselfishes (pomacentridae). *J. Comp. Physiol. A.*, 179 : 553-561.
- Kingsford M.J., 1992. Spatial and temporal variation in predation on reef fishes by coral trout (*Plectropomus leopardus*). *Coral reefs*, 11 : 193-198.
- Lecchini D., 2004. Étude expérimentale sur les capacités sensorielles des larves de poissons coralliens dans la détection de leur lieu d’installation. *C. R. Biologies* 327 : 159-171.
- Lecchini D., Planes S., Galzin R., 2007. The influence of habitat characteristics and conspecifics on attraction and survival of coral reef fish juveniles. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 341 : 85-90.
- Leis J.M., Carson-Ewart B.M., Cato D.H., 2002. Sound detection *in situ* by the larvae of a coral-reef damselfish (Pomacentridae). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 232 : 259-268.
- Leis J.M., McCormick M.I., 2002. Behaviour dispersal, growth and metamorphosis of the pelagic larvae of coral reef fishes. *In* : Sale P.F. (ed.), Coral reef fishes : dynamics and diversity in a complex ecosystem, *Academic press*, San Diego, pp. 171-200.
- Maamaatuaiahutapu M., Remoissenet G., Galzin R., 2006. Guide d’identification des larves de poissons récifaux de Polynésie française. Editions Téthys, 104 p.
- Mann D.A., Casper B.M., Boyle K.S., Tricas T.C., 2007. On the attraction of larval fishes to reef sounds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 338 : 307-310.

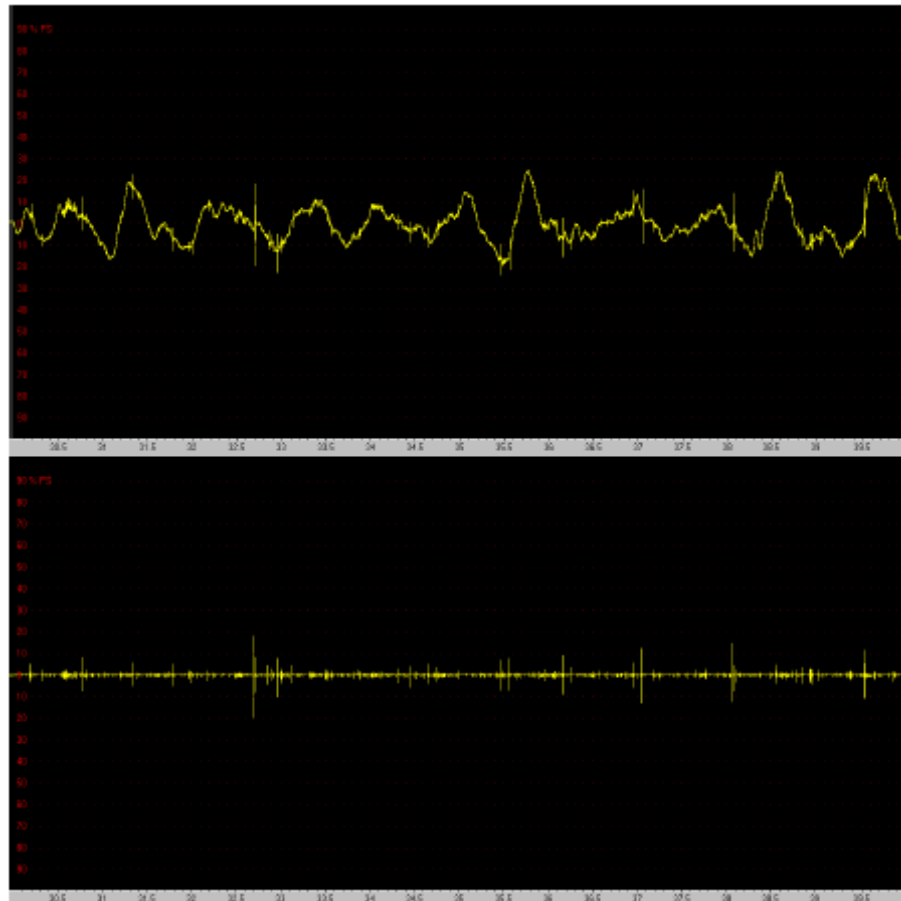
- Milicich M.J., 1994. Dynamic coupling of coral reef fish replenishment and oceanographic processes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 110 : 135-144.
- Myrberg, A.A., & Fuiman L.A.. 2002. The sensory world of coral reef fishes. In : Sale P.F. (ed.), *Coral reef fishes : dynamics and diversity in a complex ecosystem*, Academic press, San Diego, pp. 123-148.
- Popper A.N., & Fay R.R., 1999. The auditory periphery in fishes. In: Fay RR, Popper AN (eds) *Comparative Hearing: Fish and Amphibians*. New York: Springer-Verlag, pp. 43-100.
- Popper A.N., & Schilt C.R., 2008. Hearing and Acoustic Behavior: basic and applied considerations. In: Webb J.F., Popper A.N., Fay R.R., *Fish Bioacoustics*. New York, NY: Springer, pp. 17-48.
- Radford C.A., Jeffs A.G., Montgomery J.C., 2007. Directional swimming behavior by five species of crab post larvae in response to reef sound. *Bull. Mar.sci.*, 80(2) : 369-378.
- Simpson S.D., Meekan M.G., McCauley R.D., Jeffs A., 2004. Attraction of settlement-stage coral reef fishes to reef noise. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 276 : 263-268.
- Simpson S.D., Jeffs A., Montgomery J.C., McCauley R.D., Meekan M.G., 2008. Nocturnal relocation of adult and juvenile coral reef fish in response to reef noise. *Coral Reefs*, 27 : 97-104.
- Stobutzki I.C., Bellwood D.R., 1997. Sustained swimming abilities of the late pelagic stages of coral reef fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 149 : 35-41.
- Swearer S.E., Caselle J.E., Lea D.W., Warner R.R.. 1999. Larval retention and recruitment in an island population of a coral-reef fish. *Nature*, 402: 799–802.
- Tolimieri N., Jeffs A., Montgomery J., 2000. Ambient sound as a cue for navigation in reef fish larvae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 207 : 219-224.

- Tolimieri N., Haine O., Jeffs A., McCauley R., Montgomery J., 2004. Directional orientation of pomacentrid larvae to ambient reef sound. *Coral Reefs*, 23: 184-191.
- Vigliola L., Harmelin-Vivien M., 2001. Postsettlement ontogeny in three mediterranean reef fish species of the genus *Diplodus*. *Bull. Mar. Sci.*, 68 : 271-286.
- Werner E.E., 1988. Size, scaling and the evolution of complex life cycles. In : Ebenman B., PerssonsL. (eds.), *Size-structured populations*, Springer-Verlag, Berlin, pp. 61-81.

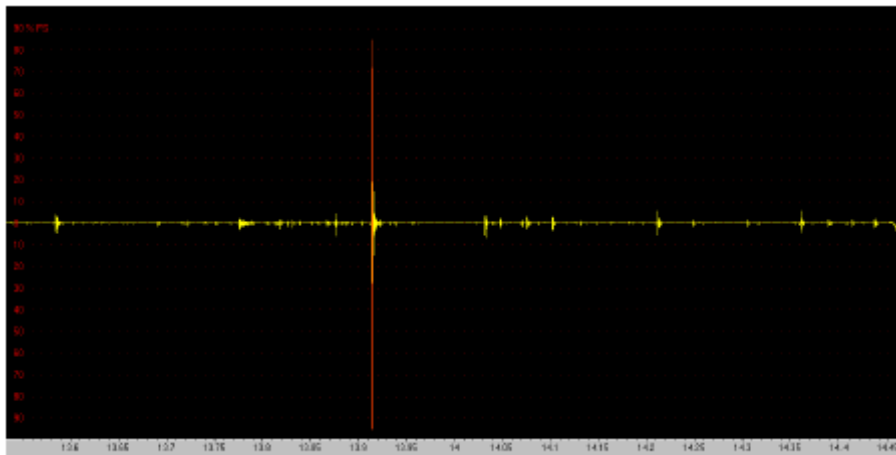
7. Annexes



Annexe 1: **En haut** : enregistrement en stéréo ; **en bas** : conversion en mono



Annexe 2: **En haut** : oscillogramme sans correction ; **en bas** : oscillogramme après l'application d'un _ltre High Pass de 0.1Khz.



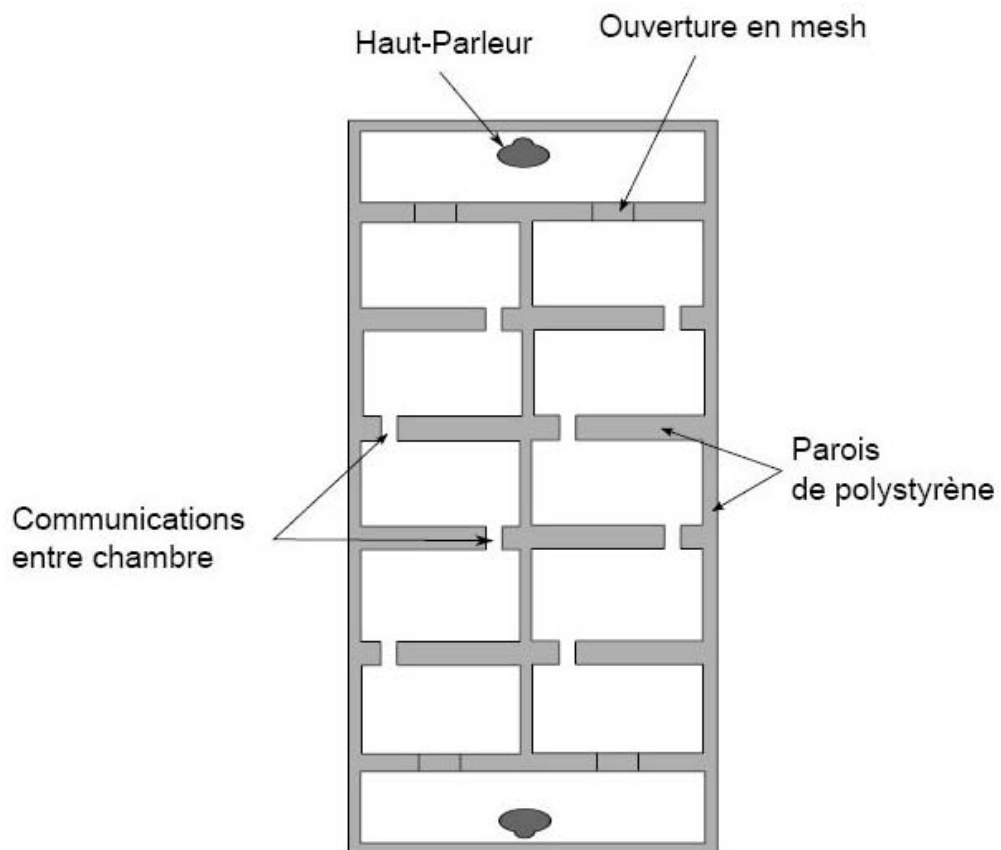
Annexe 3: exemple de pic de saturation (en rouge).

Espèces	Effectif		Pourcentage	
	2 km	crête	2 km	crête
<i>Acanthurus triostegus</i>	23	15	60,53	39,47
<i>Acanthurus xanthopterus</i>	1	4	20,00	80,00
<i>Ctenochaetus striatus</i>	3	0	100,00	0,00
<i>Epinephelus merra</i>	14	11	56,00	44,00
<i>Mulloidichthys flavolineatus</i>	0	5	0,00	100,00
<i>Myripristis berndti</i>	1	8	11,11	88,89
<i>Neoniphon sammara</i>	8	10	44,44	55,56
<i>Ostorhinchus angustatus</i>	2	3	40,00	60,00
<i>Sargocentron microstoma</i>	25	28	47,17	52,83
<i>Sargocentron spiniferum</i>	8	2	80,00	20,00

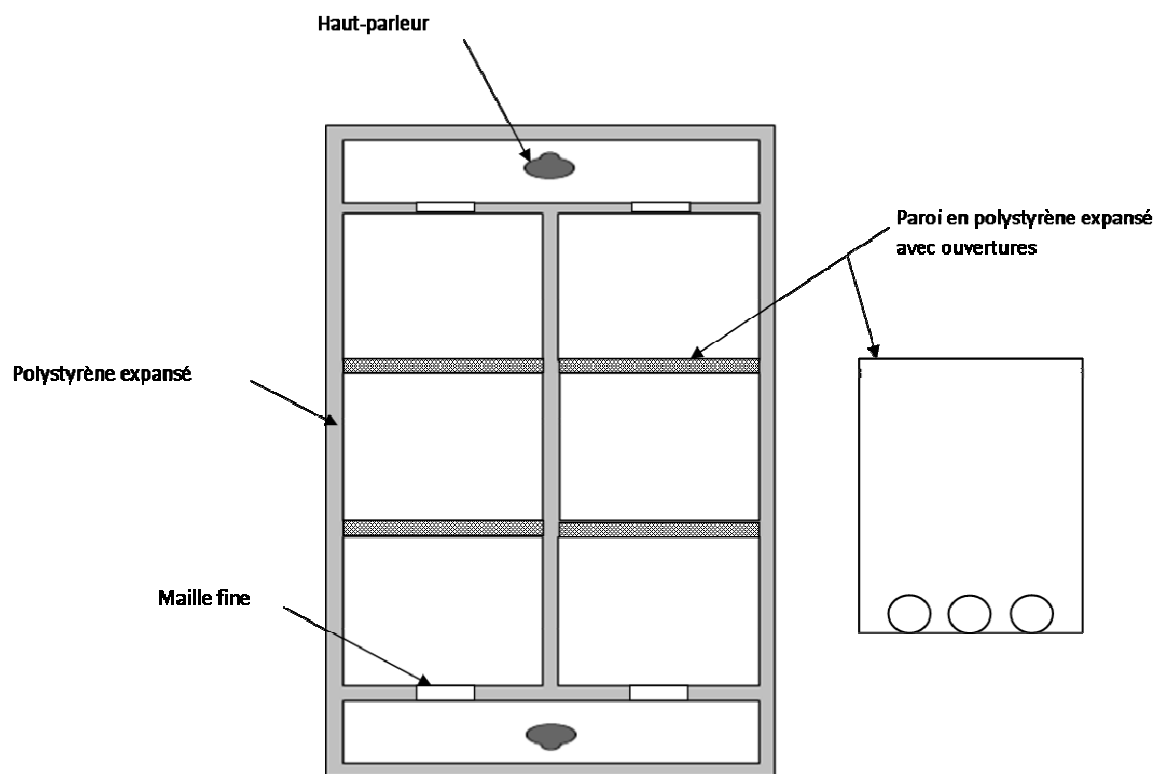
Annexe 4 : effectif et pourcentage des dix espèces testées en *choice chamber* avec les sons de la crête récifale (crête) et de l'océan (2km).

Espèces	Effectif		Pourcentage	
	BR	FR	BR	FR
<i>Acanthurus triostegus</i>	97	100	49,2	50,8
<i>Canthigaster bennetti</i>	22	18	55,0	45,0
<i>Chaetodon citrinellus</i>	2	3	40,0	60,0
<i>Lutjanus kasmira</i>	3	2	60,0	40,0
<i>Myripristis berndti</i>	3	3	50,0	50,0
<i>Neoniphon argenteus</i>	51	27	65,4	34,6
<i>Rhinecanthus aculeatus</i>	15	10	60,0	40,0
<i>Sargocentron microstoma</i>	52	52	50,0	50,0
<i>Sargocentron spiniferum</i>	6	5	54,5	45,5

Annexe 5 : effectif et pourcentage des neuf espèces testées en *choice chamber* avec les sons du récif frangeant (FR) et du récif barrière (BR).



Annexe 6 : Schéma du premier dispositif *arena chamber* mis en place.



Annexe 7 : Schéma du deuxième dispositif *arena chamber* mis en place.

Espèce	N
<i>Mulloidichthys flavolineatus</i>	10
<i>Heteropriacanthus cruentatus</i>	3
<i>Acanthurus triostegus</i>	24
<i>Sargocentron microstoma</i>	27
<i>Dascyllus flavicodus</i>	20
<i>Naso brevirostris</i>	4
<i>Chrysiptera leucopoma</i>	10
<i>Valenciennea strigata</i>	10
<i>Parupeneus multifasciatus</i>	3
N total	111

Annexe 8 : effectif des espèces testées durant la phase d'élaboration de l'*arena chamber*.