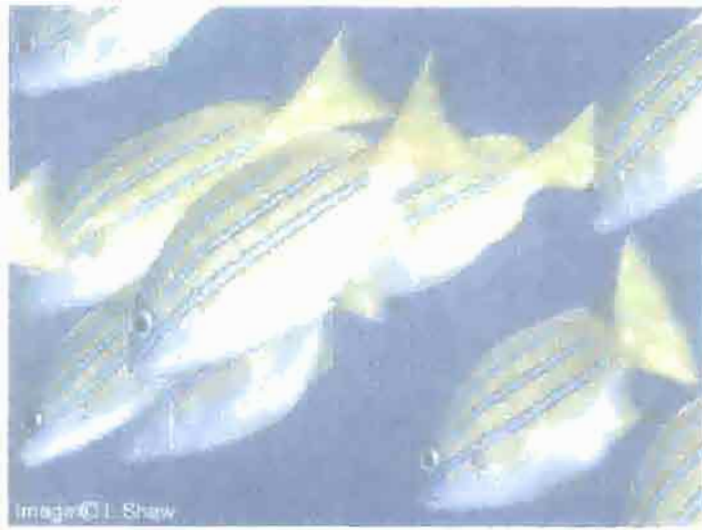


UNIVERSITE DE LA MEDITERRANEE

DEA Biosciences Environnement Chimie et Santé

Année universitaire 2003-2004

**Etude du comportement exploratoire d'un poisson corallien
par marquage acoustique : le cas de *Lutjanus kasmira* dans la
Baie de St-Paul (Réunion)**



DEVAKARNE Jaëla

Sous la direction de :

CHABANET Pascale

SORIA Marc



LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE MARINE
UNIVERSITÉ DE LA RÉUNION



036
MILMAR03
BEV

23 AOUT 2007

MF



Pas numéroté

SOMMAIRE

Introduction.....	1
Matériel et Méthodes.....	3
1 Cadre général de l'étude.....	3
1.1 Zone d'étude.....	3
1.2 Structures artificielles.....	4
1.3 Matériel biologique.....	5
2. Tests préliminaires : mise en place du protocole de marquage acoustique.....	5
2.1 Echantillonnage.....	5
2.2 Conditions de captivité.....	6
2.3 Opération d'implantation.....	6
2.4 Suivi post opératoire.....	10
3. Expérimentation <i>in situ</i>	11
3.1 Implantation des marques.....	11
3.2 Lâché sur le récif artificiel.....	11
4. Système de marquage acoustique (HTI).....	11
4.1 Les ondes acoustiques.....	12
4.2 Modèle passif HTI 292.....	13
5. Traitement des données	14
5.1 Préparation et acquisition des données.....	14
5.2 Traitements statistiques.....	15
Résultats.....	17
1. Tests préliminaires.....	17
1.1 Choix de la concentration en anesthésique.....	17
1.2 Opération de marquage.....	17
1.3 Suivi post-opératoire.....	18
2. Occupation spatiale de la zone d'étude selon le rythme nyctéméral	19
2.1 Dynamique spatio-temporelle dans la colonne d'eau	19
2.2 Dynamique spatio-temporelle dans le plan horizontal.....	20
Discussion.....	26
Conclusion et perspectives.....	28
Références bibliographiques.....	29
Annexes.....	31

Introduction

L'île de la Réunion située dans l'Océan Indien est une île volcanique jeune, caractérisée par un plateau continental étroit, contrainte limitant fortement les activités halieutiques. Suite à une forte urbanisation littorale en relation avec la démographique galopante de l'île, les zones côtières, et en particulier les récifs coralliens frangeants, sont soumis à une forte pression anthropique (piétinement, surexploitation, eutrophisation...). Les zones sableuses sont les zones les moins exploitées du fait de leur faible production biologique. De manière à réduire indirectement la pression de pêche au sein même des récifs coralliens et à rendre les ressources pélagiques plus accessibles aux pêcheurs, des mesures ont été prises à travers la mise en place de DCP (Dispositifs Concentrateurs de Poissons) et de récifs artificiels. En 1998, les premiers récifs artificiels ont été implantés dans les zones sableuses des baies de St-Paul et de la Possession (Turquet *et al.*, 1998) afin de valoriser ces zones et pallier à la baisse des ressources démersales. Ces structures ont un autre intérêt, celui de jouer le rôle de « nurserie » car elles sont colonisées par les post-larves et juvéniles de poissons récifaux. Les lutjanidés font partie des espèces que l'on retrouve au stade juvénile sur ces récifs artificiels. Communément appelées vivaneaux, ils présentent un intérêt commercial pour la pêche traditionnelle à la Réunion.

Afin d'optimiser l'espace côtier soumis à une forte pression de la part de nombreux usagers (pêcheurs, agriculteurs, aquaculteurs, touristes...) et d'établir un plan de gestion intégrée de la Baie de St-Paul, une meilleure compréhension de l'écologie et de l'éthologie du *Lutjanus kasmira*, commun dans les récifs de la Réunion, était indispensable. Cette étude a été entreprise au niveau d'un récif artificiel ancré dans la baie de Saint-Paul. Nous profitons de l'effet attractif non spécifique de ces structures artificielles pour observer les déplacements et les rencontres des individus. Caractériser les relations liant cette espèce au récif artificiel est une étape essentielle pour sa préservation en terme de recrutement et d'entretien du stock. En effet ce poisson, au cours de son recrutement, colonise les récifs artificiels et lorsqu'il atteint une certaine taille, le quitte sans que l'on connaisse exactement sa destination ni sa motivation. Avant de suivre les déplacements de cette espèce hors du récif artificiel, nous axerons les recherches de mon stage sur les variations de la répartition spatiale de *Lutjanus kasmira* au cours du nyctémère. Les principales questions posées sont les suivantes : Existe-il une variation dans l'occupation verticale de la colonne d'eau entre le jour et la nuit ? Existe-il des différences de surfaces prospectées entre le jour et la nuit ? La prospection se centralise-elle autour de la structure artificielle ?

Cette étude a été rendue possible grâce à un système acoustique novateur en milieu marin et utilisé pour la première fois en milieu tropical (système HTI), système qui permet de suivre autour du récif

artificiel, dans l'espace et dans le temps, la position en trois dimensions de chaque poisson marqué, grâce à des hydrophones qui délimitent le site étudié. Ce stage s'inscrit dans le programme « Analyse comparative des peuplements de poissons démersaux et pélagiques autour de récifs artificiels (Réunion, Nouvelle-Calédonie) financé par le Secrétariat d'Etat à l'Outre-Mer (SEOM). Ce programme, sous la responsabilité de Marc Soria (IRD Réunion), a pu être réalisé grâce à la collaboration de divers instituts de recherche, principalement l'IRD Réunion, l'IRD Nouméa (P. Chabanet, Université de la Réunion, actuellement en détachement à l'IRD Nouméa), ECOMAR (Université de la Réunion) et le Comité Régional des Pêches et Elevages Marins à la Réunion (E. Tessier).

1. Cadre général de l'étude :

1.1 Zone d'étude :

Située dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien par 55°29 de longitude Est et 21°53 de latitude sud, entre Madagascar et l'île Maurice (Fig. 1), l'île de la Réunion au climat tropical tempéré possède 207 Km de côtes. En zones côtières, 3 grands types de zones géomorphologiques peuvent être différenciées : des récifs coralliens, des zones sableuses et des zones rocheuses. Une grande partie de la côte Ouest de l'île est bordée d'un récif de type frangeant. Ce récif représente 25 Km sur 215 km² de côte, soit à peine 11% du périmètre de l'île. La mangrove est absente et seul existe des herbiers de phanérogames. Les reliefs montagneux et très accidentés de

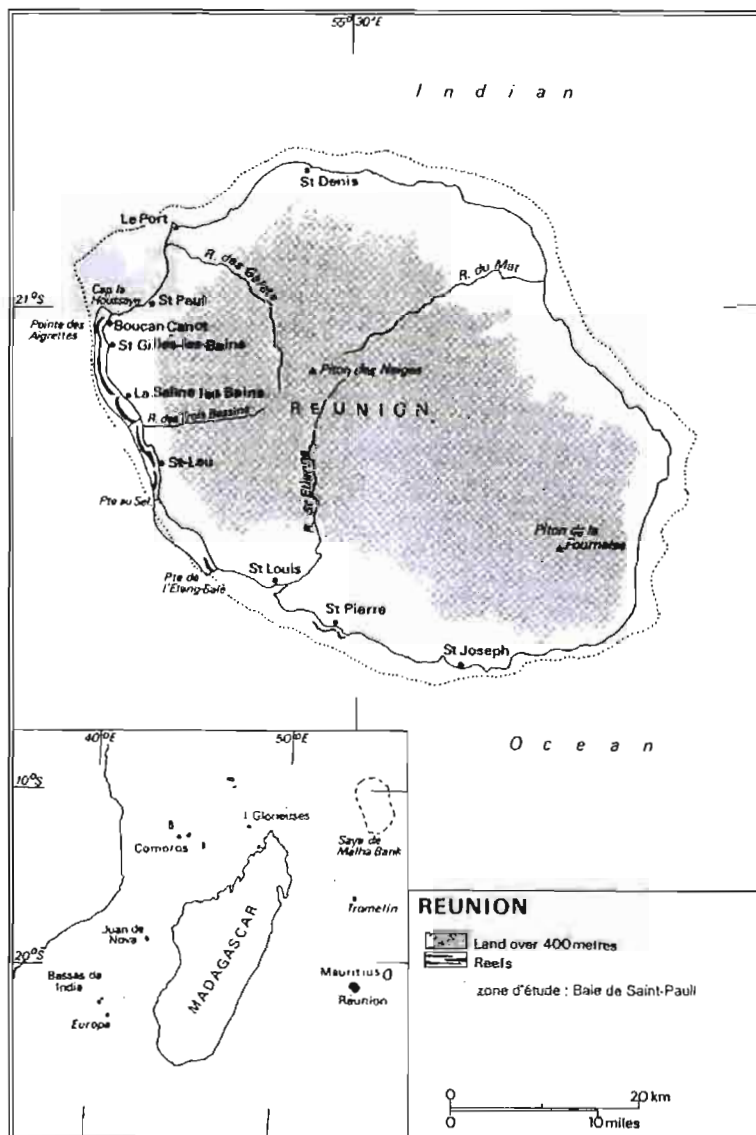


Fig. 1 – Situation de la Réunion dans l'océan Indien et de la zone d'étude

l'arrière-pays se prolongent par un plateau sous-marin très étroit. La limite de profondeur compatible avec

le développement des madréporaires est alors très vite atteinte, ce qui explique faible superficie des récifs coralliens à La Réunion (Montaggioli et Faure, 1980). La zone d'étude de l'espèce ciblée, *Lutjanus kasmira*, se situe dans une zone sableuse, en baie de Saint-Paul (Fig. 1). Le contexte halieutique de cette baie est original. La faune ichthyologique y est relativement pauvre, caractérisée par la dominance de plusieurs espèces de petits pélagiques, exploitées par la petite pêche locale (Turquet *et al.*, 1998). Ces exploitations ont une importance économique non négligeable, compte tenu des niveaux de captures élevés qu'elles occasionnent dans ces

secteurs. Il s'agit d'une baie contenant quelques récifs artificiels déjà installés. De plus, cette zone est relativement abritée, ce qui permet des conditions de travail plus faciles lors de notre expérimentation qui se déroulera, en phase finale (expérience *in situ*) à partir d'un bateau ancré pendant 10 jours sur place.

1.2 Structures artificielles :

Le Comité Régional des pêches a disposé, le long des isobathes compris entre 10 et 20 mètres, 3 récifs artificiels (12m x 6m). Ils sont composés de plots fixes quadrillant la structure tous les 2 m et de chapelets de bidons posés sur le fond. Entre le fond et la surface (bouée), un système de bandes flottantes (strap band) a été installé (Fig. 2). Cette structure sert de système attracteur d'une part, pour les petits pélagiques qui se concentrent au niveau de la partie située en pleine eau (strap band) et d'autre part, pour les espèces coralliennes démersales qui utilisent la structure plus complexe posée sur le fond sableux (bidons) comme habitat, protégé des prédateurs. La structure artificielle choisie joue également un rôle de nurserie pour certaines espèces récifales dont *Lutjanus kasmira*. C'est sur l'une de ces structures artificielles que se déroulera notre suivi comportemental du *Lutjanus kasmira*.

Comprendre comment les récifs artificiels attirent ou augmentent la production de la biomasse de poissons est important pour la gestion des pêcheries récifales et l'installation raisonnée des structures artificielles. La relative importance de ces deux possibilités est ignorée pour la plupart des espèces. Même si les récifs artificiels tendent à redistribuer les poissons existants, ils peuvent être un outil de pêche intéressant pour augmenter la survie des recrues et l'efficacité de prise, rendant les poissons plus faciles à localiser, retenant les espèces hautement migratrices dans une aire précise et déplacer les stocks proches des ports de pêche (Bohnsack, 1989).

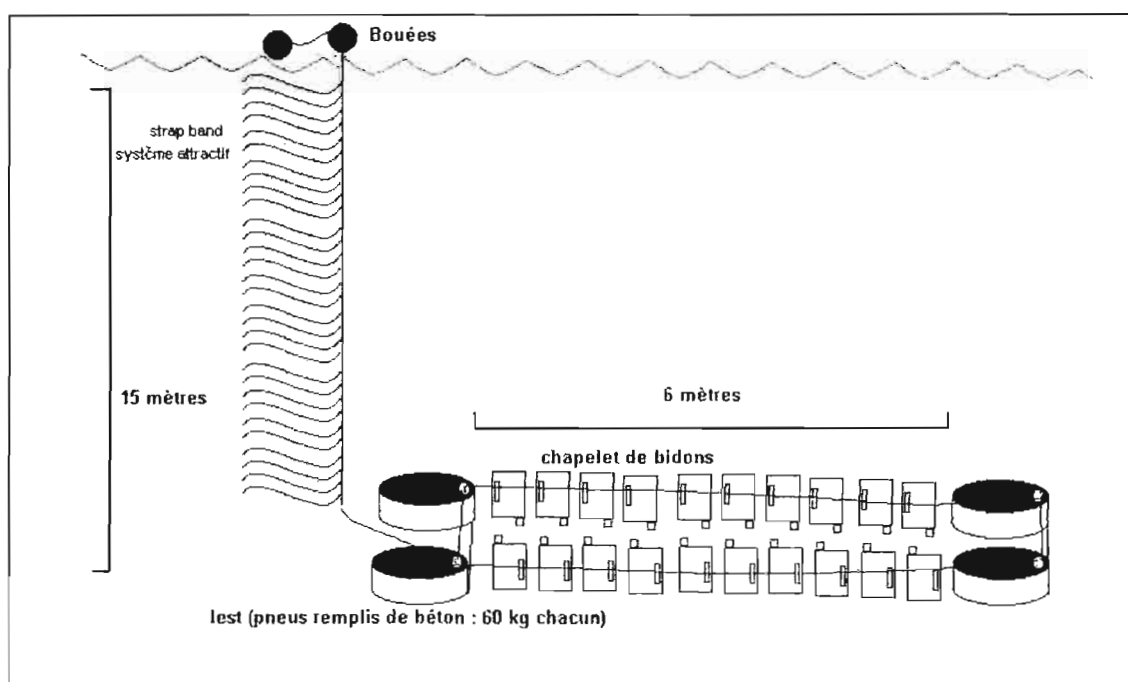


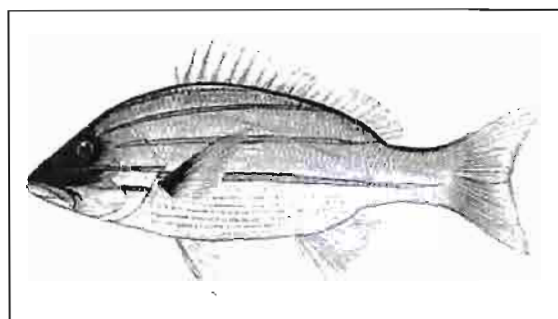
Fig. 2 – Schéma d'un récif artificiel

1.3 Matériel biologique : *Lutjanus kasmira* (Forsskal, 1775).

Le *Lutjanus kasmira* (Fig. 3) appartient à la classe des ostéichthyens, à l'ordre des perciformes et à la famille des lutjanidae.



A



B

Fig. 3 – *Lutjanus kasmira* : A (Roberto Sozzari) ; B (<http://www.fishbase.org>).

A la Réunion, le *Lutjanus kasmira* est communément appelé “ti jaune”. Sa taille maximum est de 30,0 cm (longueur standard). On le trouve associé aux zones récifales jusqu’à 265 m de profondeur, dans la région tropicale. *Lutjanus kasmira* est abondant dans les baies et il semble que l’espèce soit associée aux aires sableuses adjacentes aux récifs coralliens. Il forme souvent des groupes importants autour des formations coralliennes le jour et se disperse la nuit pour se nourrir de poissons, de crustacés, de céphalopodes, et de macro zooplancton. Les juvéniles vivent dans les herbiers de phanérogames marines ou autour des pâtés coralliens (Lieske et Myers, 1995). Ce poisson a une importance commerciale, il est surtout exploité dans le cadre de la pêche traditionnelle (<http://www.fishbase.org>).

2. Tests préliminaires : mise en place du protocole de marquage acoustique :

2.1 Échantillonnage :

La pêche a été effectuée à l’aide de nasses et de lignes au niveau des récifs artificiels de la Baie Saint-Paul. Trente individus ont été prélevés. Les poissons ont été transportés à l’Aquarium de Saint-Gilles dans des bassines oxygénées, auxquelles ont été rajoutées quelques gouttes d’huile de clou de girofle (anesthésique) ayant pour but de calmer les poissons stressés par la manipulation. Au cours du transport, sur les 30 individus prélevés, 4 sont morts. Ils nous ont servi à l’étude de la morphologie interne de l’espèce et nous ont permis d’établir, par dissection, la zone d’incision impliquant le minimum de risques et de gêne pour le poisson. Deux lots de dix individus ont été

constitués, un lot témoin et un lot réservé aux tests du protocole de marquage. La majorité des poissons ramenés vivants ne présentait que des plaies superficielles occasionnées par la pêche.

2.2 Conditions de captivité :

Arrivés à l' Aquarium de la Réunion, les poissons ont été transférés dans un bassin de la salle de quarantaine de l'établissement. Ce bassin a été séparé en deux parties d'un volume de 1500 litres chacun, par un grillage. Dans une des deux parties, nous avons placé les 10 poissons destinés au marquage et dans l'autre, les 10 poissons jouant le rôle de témoin. Deux vitres frontales ont permis d'effectuer les observations en minimisant la perturbation des poissons occasionnée par nos présences. Afin de limiter le développement de champignons et d'aider à la cicatrisation d'éventuelles plaies occasionnées par la capture au filet, les poissons ont été traités dans un premier temps avec du bleu de méthylène à raison de 0.35g pour 1500 L par jour. Pendant l'expérimentation, un traitement quotidien a été effectué avec du sulfate de cuivre de façon à éliminer tout germe bactérien et prévenir ainsi d'infections possibles. Ce traitement n'a commencé qu'après quelques jours de cicatrisation car il est susceptible de brûler les plaies. Du point de vue hydraulique, la salle de quarantaine fonctionne en circuit ouvert de 8h 00 à 12h 00, ce qui permet de renouveler l'eau des bassins environ 5 fois par jour. L'eau de mer est prélevée directement en face du port de Saint-Gilles. La photopériode maintenue dans la salle de quarantaine est de 9 h de lumière par jour, et l'éclairage est assuré par des néons. Ces deux caractéristiques rapprochent nos conditions d'élevage de celles du milieu extérieur.

2.3 Opération d'implantation :

Dans le cadre de notre étude, et compte tenu du prix élevé des marques, les tests d'implantation ont été effectués avec des simulacres d'émetteurs acoustiques. Ceux-ci sont identiques en poids et en volume aux marques réelles afin de pouvoir quantifier la gêne occasionnée par celles-ci (Fig. 4). Ainsi, nous avons préparé 20 tubes de PVC de dimensions semblables à celles des marques HTI (19 mm de longueur et 7 mm de diamètre) que nous avons ensuite lestés avec du laiton. Les extrémités ont été obturées avec de la silicone pour rendre les marques étanches et éviter de blesser les poissons.



Fig. 4 – Simulacre d'émetteur

L'opération d'implantation est séparée en trois phases : l'anesthésie (Fig. 5), l'opération et le réveil.

Anesthésie :

L'anesthésie est un processus perturbateur puisqu'elle affecte les fonctions vitales pendant une durée plus ou moins prolongée, et que suivant les processus physiologiques affectés, l'espèce concernée, l'âge et les conditions environnementales (essentiellement la température), l'effet de l'anesthésie se poursuit à plus ou moins long terme. Il est généralement admis que les effets négatifs des anesthésiques sont moindres que ceux résultant de l'absence d'anesthésique dans des conditions stressantes (capture, manipulation, marquage) conduisant à accroître les risques de traumatismes physiques et d'infections microbiennes (Barras *et al.*, 2001).

L'implantation par chirurgie nécessite donc une anesthésie pour éviter tout mouvement du poisson et limiter le stress apporté par la manipulation. Quatre stades peuvent être différenciés dans une anesthésie, allant du stade I (sédation légère) au stade IV (collapsus médullaire) qui conduit souvent à la mort du poisson par arrêt cardiaque (voir annexe i). Ainsi, pendant l'anesthésie, le poisson traverse ces stades qu'il parcourt en sens inverse durant la phase de réveil (Bowser, 2001). Pour notre expérimentation et à travers les expériences précédentes (McCleave et Stred, 1975 ; Cappiot, 2002), nous avons estimé que les conditions suivantes devraient être remplies :

- Le stade d'anesthésie chirurgical (stade III) doit être atteint.
- Le temps d'induction, qui correspond au temps entre le début de l'anesthésie et le stade III, doit être doux et rapide, pour limiter au maximum le stress du poisson.
- Le temps de réveil, qui débute à la fin du temps d'induction et qui dure jusqu'au réveil complet du poisson, doit être court pour éviter une hypoxie (Bowser, 2001).
- L'anesthésie doit être suffisamment longue pour que les signes d'une reprise d'activité du poisson n'apparaissent qu'après l'opération.

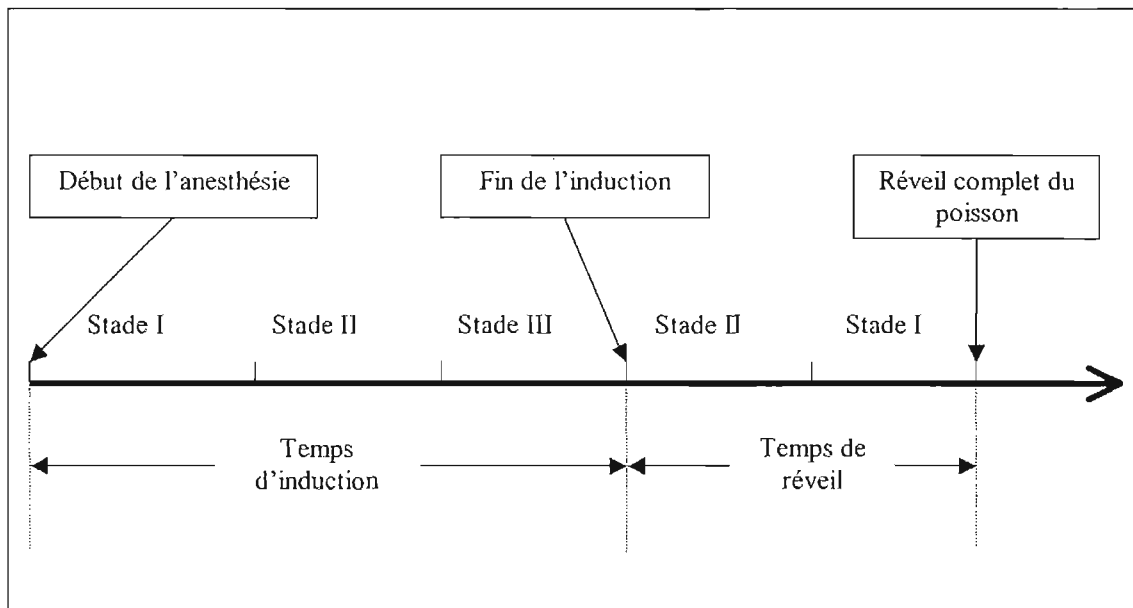


Fig. 5 - Schéma récapitulant les différents stades d'une anesthésie.

Avec des anesthésiques classiques comme la quinaldine, la benzocaïne ou le MS-222, les différentes phases de l'anesthésie peuvent être difficiles à distinguer (Munday et Wilson, 1997). Aussi le contrôle de ces stades est plus délicat et le risque de passer à un stade de collapsus médullaire est plus grand. En comparaison à ces anesthésiques, l'action de l'huile de clou de girofle se caractérise par une induction douce, une bonne efficacité même à faibles doses, un emploi facile et un prix peu élevé (Munday et Wilson, 1997 ; Durville et Collet, 2001). De plus, une étude similaire, utilisant cet anesthésique pour l'implantation interne et externe de simulacres de marques acoustiques sur *Lutjanus argentimaculatus*, a donné de bons résultats (Cappiot, 2002). Nous avons donc choisi de garder l'huile de clou de girofle pour notre étude. Pour l'opération d'implantation interne, une concentration de $0,66 \text{ ml.l}^{-1}$ semblait être satisfaisante sur cette dernière espèce. Le *L. kasmira* ayant une biologie proche du *L. argentimaculatus* tout en étant plus petit, nous avons testé une concentration de $0,3 \text{ ml.l}^{-1}$ sur cinq individus pour essayer de diminuer la dose d'anesthésique. Ce faible effectif était justifié par l'étude plus approfondie sur *Lutjanus argentimaculatus*. Les individus ont été pesés, les temps d'induction et de réveil ont été chronométrés. Pendant ces tests, les poissons ont été maintenus hors de l'eau pour simuler l'opération pendant le temps déterminé dans la partie précédente.

Opération et implantation des marques :

La phase opératoire consiste à effectuer une incision aussi précise que possible en essayant d'enlever le minimum d'écaïlles dans la zone à inciser. La marque numérotée et préalablement désinfectée est ensuite insérée dans la cavité péritonéale. Des points de suture renforcés par deux nœuds doubles sont ensuite réalisés, après application d'une crème cicatrisante sur la plaie. La phase de réveil comprend le moment compris entre la fin de l'opération et la récupération complète

du poisson. Pendant cette phase, celui-ci est plongé dans une bassine fortement oxygénée par un bulleur, cela afin d'accélérer l'élimination de l'anesthésique sur les branchies et donc la récupération du poisson.

L'opération d'implantation a été appliquée au lot de poissons réservé au marquage. Pour le lot témoin de *L. kasmira*, les poissons n'ont subi que la phase d'anesthésie. Pour pouvoir dissocier l'effet des marques, ils ont été maintenus hors de l'eau pendant le temps moyen d'opération définie précédemment.

La figure suivante récapitule l'opération de marquage avec les différents temps mesurés.

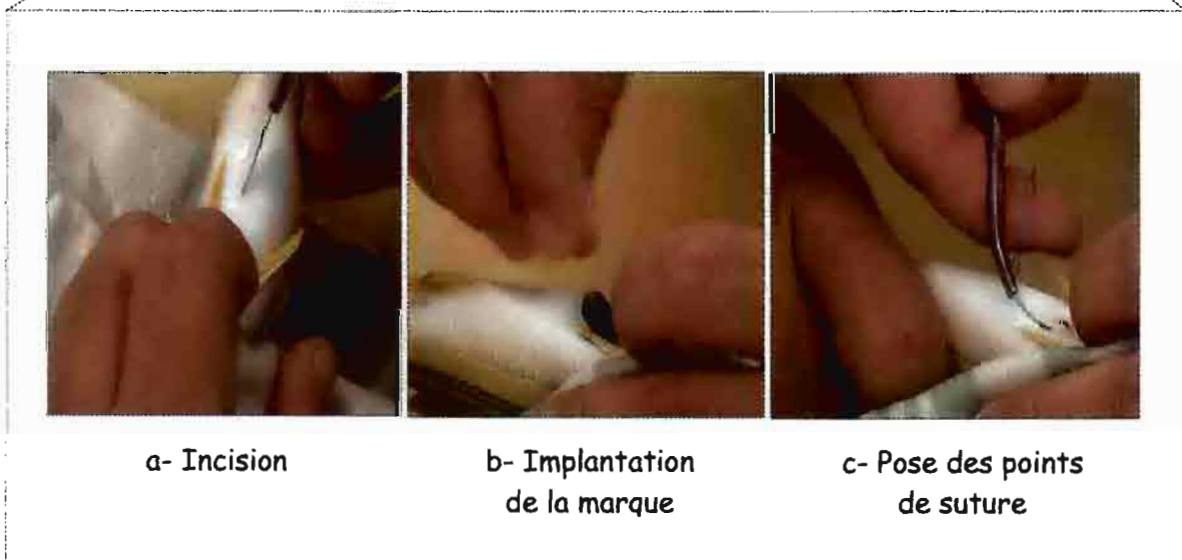
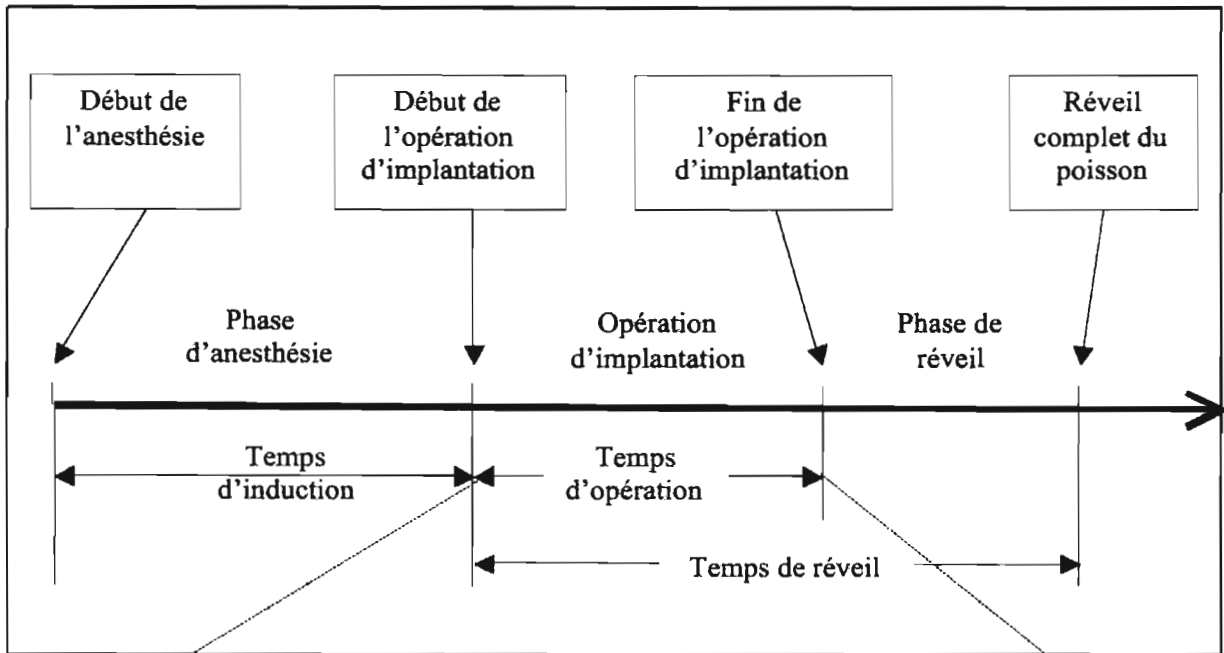


Fig. 6 - Schéma récapitulatif de l'opération de marquage montrant les différents temps mesurés.

2.4 suivi post-opératoire :

Après l'opération, un suivi sur l'ensemble des poissons (marqués et témoins), a été effectué sur une période de 15 jours afin d'évaluer l'impact du marquage interne sur la condition corporelle et le comportement des poissons. Ainsi durant cette période, une fiche de suivi a été remplie quotidiennement, nécessitant une phase d'observation régulière pratiquée une fois par jour, tous les matins à partir de 8 h 00. Il est à noter que cette phase d'observation comprend l'unique moment de nourrissage, ce qui nous a permis d'observer le comportement des poissons pendant leur alimentation.

Ce suivi a porté sur les critères suivants :

- Mortalité journalière
- Niveau d'agressivité

Nous considérons l'agressivité comme une action plus ou moins violente envers un autre individu.

Ce critère nous renseigne sur l'état de stress des poissons. Nous avons quantifié ce paramètre comme suit : 1 = faible ; 2 = moyen ; 3 = élevé.

- Activité alimentaire

Nous avons quantifié d'une part, l'activité de nage pendant le nourrissage (1 = nage difficile ; 2 = nage normale ; 3 = nage vive ou frénésie alimentaire), et d'autre part, nous avons compté le nombre d'individus qui ne se nourrissaient pas dans le bassin. La quantité de nourriture distribuée étant supérieure à celle que les poissons mangent normalement, un poisson même affaibli par le marquage a toujours la possibilité de se nourrir. L'activité alimentaire nous semble être le critère le plus révélateur de l'état de santé des individus. Nous avons estimé qu'un poisson capable de se nourrir, en nageant normalement ou de manière vive, est en bonne santé. À l'inverse, on considère qu'un poisson ne se nourrissant pas a de forte chance d'être en mauvaise condition corporelle.

- Etat sanitaire

Ce critère correspond à une description de la condition corporelle des individus pour chaque lot de poisson (lot témoins et lot marqués). Cela nous permet d'identifier les différents symptômes que présentent les individus à la suite des manipulations effectuées au cours de l'opération d'implantation (anesthésie, opération et réveil). Nous pouvons ainsi suivre l'évolution des lésions. De cette manière, il est possible d'identifier leur nature et peut-être d'améliorer le protocole expérimental afin de les éviter au maximum.

- Position des individus dans le bassin

Ce critère nous permet de détecter un éventuel changement de répartition spatiale qui serait dû aux manipulations ou peut-être à la marque elle-même.

L'observation relative à chaque paramètre se fait pendant un temps de trois minutes.

3. Expérimentation *in situ* :

3.1 Implantation des marques :

L'opération de marquage s'est déroulée à l'Aquarium de la Réunion le 01/05/03. Les poissons ont été endormis avec de l'essence de clou de girofle diluée dans l'eau et opérés sous anesthésie selon le protocole de marquage mis au point précédemment. 15 lutjans ont été marqués avec des émetteurs réglés chacun sur une fréquence différente permettant de distinguer les poissons.

3.2 Lâché sur le récif artificiel :

Les poissons marqués ont été transportés de l'aquarium jusqu'au site d'expérimentation (Baie de Saint-Paul) dans des grandes poubelles pourvues de bulleurs où l'eau était constamment renouvelée et les poissons maintenus dans l'obscurité pour réduire le stress engendré par les manipulations et le transport. Arrivées au bateau, les poubelles ont été descendues au fond de la baie par cinq plongeurs au niveau du récif artificiel autour duquel ont été disposées les cinq hydrophones. Les poissons ont ensuite été lâchés et ils ont dès lors commencés à émettre des signaux réceptionnés par chacun des hydrophones et enregistrés dans la base de données prévue à cet effet par le système de traitement acoustique.

4 Système de marquage acoustique (HTI) :

Les hydrophones encadrent le périmètre du récif artificiel dans un carré de 100 mètres de côté et sont disposées de façon à permettre une réception optimale des émissions. Un bateau laboratoire est ancré sur le site pendant toute la durée de l'expérience (5 jours). Les poissons, après avoir été pêchés puis marqués, sont lâchés au niveau du récif et les signaux émis sont dès lors détectés par les hydrophones et enregistrés par le système tout au long de l'expérience (Fig. 7).

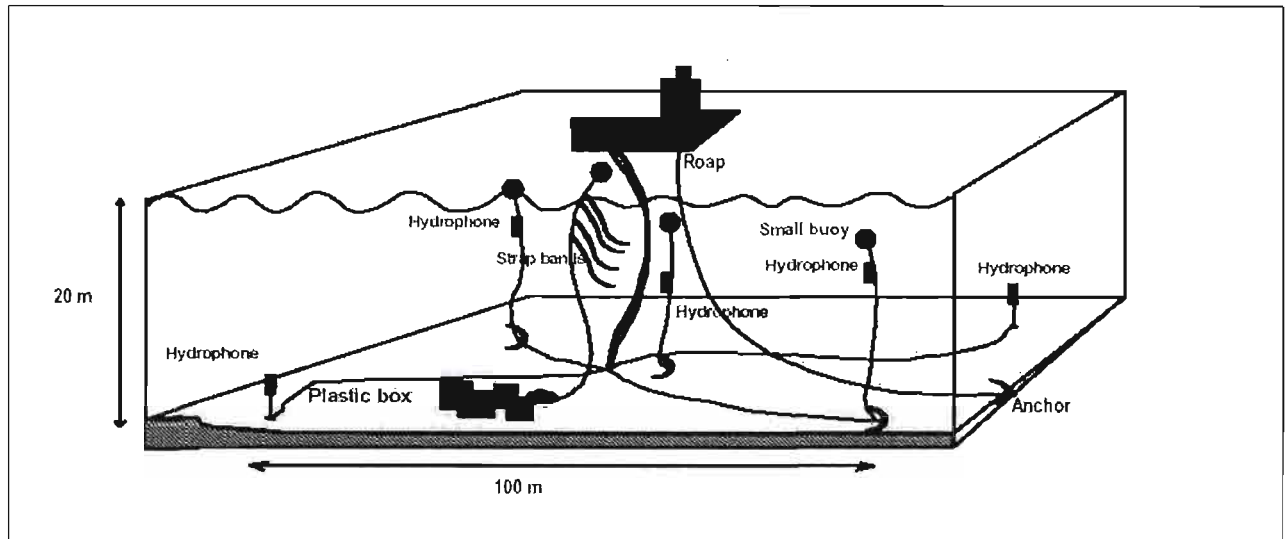


Fig. 7 - Schéma du dispositif HTI de détection acoustique des marques autour du récif artificiel.

4.1 Les ondes acoustiques :

L'acoustique est utilisée en mer car le son se propage sur de longues distances dans l'eau salée contrairement aux ondes radio qui sont rapidement absorbées. Le système utilise des émetteurs qui contiennent une batterie d'environ 80 % du poids de ce dernier. Dans un émetteur acoustique (également dénommé ultrasonore ou « pinger »), l'énergie de la batterie est convertie par un transducer piézoélectrique en vibrations dont la fréquence est déterminée par le diamètre du transducer. La fréquence d'émission est inversement proportionnelle au diamètre du transducer piézoélectrique. Aussi le marquage de poissons de petite taille ne peut s'opérer qu'avec des émetteurs à fréquence élevée. Ces fréquences sont toutefois nettement moins utilisées que la gamme de fréquence 30-75 khz, en raison d'une plus forte absorption et atténuation des signaux de haute fréquence par rapport aux signaux de basse fréquence. Les ondes acoustiques se propagent à la vitesse du son, soit 332 m.s⁻¹ dans l'air et environ 1500 m.s⁻¹ dans l'eau. La différence de vitesse de propagation des ondes acoustiques entre les deux milieux est telle que les signaux acoustiques émis dans l'eau ne traversent pas l'interface air-eau. En télémétrie acoustique, la possibilité de détection du signal dépend du rapport signal/bruit intimement de 4 facteurs :

- * la puissance de l'émetteur
- * la sensibilité des stations réceptrices
- * la distance entre émetteur et station réceptrice
- * les pertes (atténuation, absorption) de puissance dans le milieu et la chaîne de réception, et le niveau de bruit ambiant qui sont variables suivant le type de signal et la fréquence porteuse.

Le signal ne sera perçu à une distance X que si la sensibilité de la station réceptrice est supérieure à la différence entre la puissance émise dans le milieu et les pertes liées à la propagation du signal. Un signal acoustique se propage omnidirectionnellement à partir de la source d'émission, du moins dans un milieu homogène, c'est-à-dire où la vitesse de propagation du son est constante. La vitesse du son ($m\ s^{-1}$) est fonction de la profondeur d'émission (m), mais surtout de la température ($^{\circ}C$) et de la salinité (‰) (Anon, 1968 ; Medwin, 1975). Les variations de salinité et/ou de température induisent une réflexion et une réfraction du signal. Ce principe est crucial dans le sens où une thermocline ou une halocline constitueront des barrières infranchissables ou rédhibitoires pour les signaux des émetteurs acoustiques. Au cours de leur propagation, les signaux acoustiques subissent des pertes liées à la dispersion omnidirectionnelle de l'énergie émise par la source focale, et à l'absorption du signal par le milieu. La dispersion du signal entre deux points particuliers est proportionnelle au carré du rapport entre les distances à la source. L'absorption du signal est elle aussi proportionnelle à la distance parcourue par le signal depuis la source d'émission. Cette perte varie en fonction de l'environnement et plus particulièrement en fonction de la salinité (pertes plus importantes en milieu marin qu'en eau douce). Elle varie aussi en fonction de la fréquence d'émission. Les hautes fréquences, correspondant à des longueurs d'onde courtes, sont davantage absorbées. Le choix d'une fréquence particulière en biotéléométrie acoustique sera donc toujours un compromis entre distance de détection et poids tolérable par le poisson, sauf chez les espèces de très grande taille où le problème de surcharge pondérale est proportionnellement moindre (Barras *et al.*, 2001).

4.2 Modèle passif HTI 292 :

Les marques (modèle 795^E) utilisées pour cette expérience de suivi sont des émetteurs acoustiques de 7 mm de diamètre et 19 mm de longueur pour un poids de 1.5 g dans l'eau. Les émetteurs acoustiques sont entièrement programmables ; les paramètres à prendre en compte selon les objectifs de l'expérience sont : la largeur d'émission, le taux de répétition et le type de signal encodé. Ils opèrent à des fréquences de 70 kHz à 307 kHz, la taille des émetteurs dépend essentiellement de celle de la batterie (la plus petite ayant un poids de 0.75 g) qui dépend elle-même de la durée de vie de l'émetteur. Les fréquences utilisées permettent de différencier chaque poisson marqué. Pour notre étude, les tests *in situ* ont abouti au choix une durée d'impulsion de 2 ms et un taux d'émission moyen d'une émission par seconde. Ces réglages sont optimaux pour la durée de l'expérience. En effet, ils permettent de calculer une durée théorique de vie des marques de 6 jours et demi. Le taux de répétition (fréquence entre 2 émissions) programmé de manière à ce qu'il soit différent pour chaque marque, est compris entre 775 et 845 ms.

Les signaux émis sont réceptionnés par chacun des cinq hydrophones dont les positions dans la colonne d'eau sont connues. Les émissions ne sont détectables par les hydrophones que si le

poisson se trouve dans le réseau de réception couvert par ces derniers, comprenant la zone du récif artificiel de la baie de Saint-Paul. Les émissions reçues sont synchronisées de façon à déterminer le temps mis par chacune d'elle pour arriver à un hydrophone, calcul qui permettra de déterminer la position tridimensionnelle de la marque (donc de chaque poisson) dans l'aire étudiée par triangulation entre 4 hydrophones ou plus et cela pour chaque émission.

Dans le cas de notre étude, le système fonctionne avec 5 hydrophones fixés sur le fond, en pleine eau et en surface, reliés entre eux par câble, à une unité centrale embarquée. Les émissions reçues par chacun des hydrophones sont centralisées dans un ordinateur où elles sont enregistrées en continu jusqu'à la fin de l'expérience. Un oscilloscope permet de visualiser les émissions durant l'enregistrement et de suivre la présence des poissons. Les informations sont restituées sous forme de fichiers d'une heure (format .RAT) dans lesquels les émissions sont enregistrées par fréquence et par hydrophone en fonction du temps (Fig. 8).

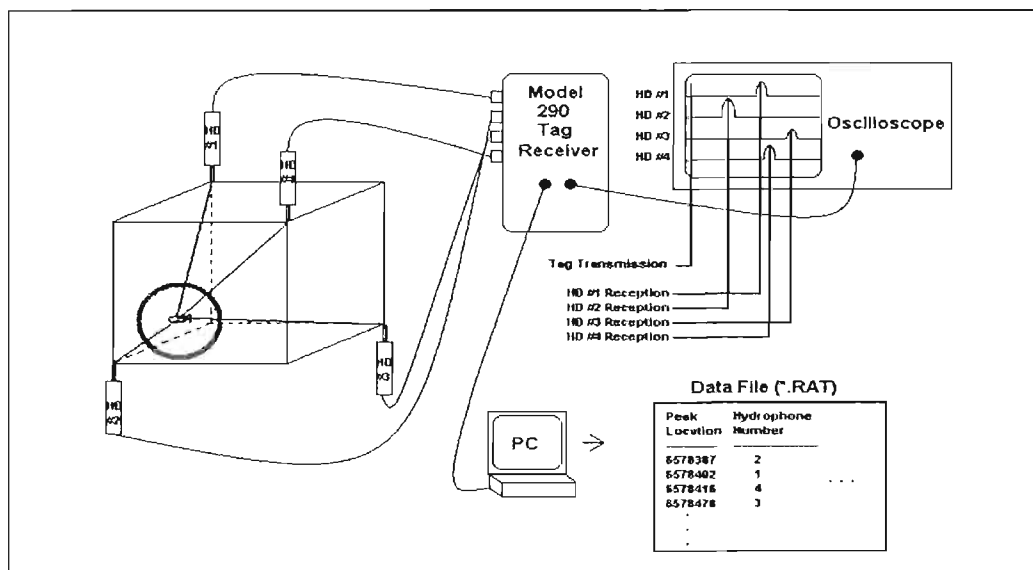


Fig. 8 – Schéma du dispositif acoustique

5 Traitement des données

5.1 Préparation et acquisition des données :

Epuration du signal acoustique :

Les données sont enregistrées automatiquement sous un format spécifique par le système acoustique (.RAT). Il est nécessaire d'effectuer un travail préliminaire d'acquisition des données qui est long et laborieux afin de pouvoir par la suite utiliser l'information et ainsi commencer le traitement de données. A raison d'une émission par seconde enregistrée par poisson (15 au total) et pour chacun des hydrophones (5 au total), dans des fichiers globaux d'une durée d'une heure, et ce pendant 3

cycles de 24 heures, on peut s'imaginer la quantité d'information obtenue par cette méthode. Pour cette étude, dans le cadre de ce stage de 5 mois, 2 mois à temps plein ont été nécessaires à l'obtention des positions sur lesquels les traitements ont pu être amorcés. Le temps qui m'était imparti pour mon stage a dicté mon choix d'établir un échantillonnage me permettant de répondre aux objectifs que je m'étais fixé, à savoir la mise en évidence d'une différence de distribution spatiale entre le jour et la nuit. J'ai donc sélectionné 4 fichiers d'une heure de nuit et 4 de jour par échantillonnage toutes les trois heures afin d'effectuer mes comparaisons suivant le cycle nyctéméral. Les heures choisies pour la nuit sont : 20, 23, 2 et 5 heures et 8, 11, 14 et 17 pour le jour. J'ai délibérément exclu les données de crépuscule et d'aube afin de mettre en évidence dans un premier temps les tendances générales de comportement de l'espèce suivant le cycle nyctéméral. Les heures de transitions, bien qu'étant intéressantes, pourront être traitées ultérieurement une fois le comportement jour/nuit des poissons mieux connu.

L'extraction des données s'est effectuée manuellement par échantillonnage toutes les 3 heures grâce à un logiciel spécialisé, ce qui a permis d'isoler le signal voulu du bruit ambiant dans un premier temps. Il s'agissait d'extraire les signaux émis par chaque poisson (donc par fréquence) et pour chacun des hydrophones, du fichier englobant toutes les fréquences d'émission. Cette opération était nécessaire pour l'obtention des positions (X, Y, Z) des poissons et donc, leurs trajectoires en trois dimensions dans un second temps grâce à un autre logiciel.

Obtention des positions X, Y, Z :

Le programme « *Acoustic tag* » est un programme animé et interactif, permettant de visualiser les émissions individuelles, groupes d'émissions ou la trajectoire suivie par chaque poisson et cela selon divers points de vue et perspectives. Nous obtenons grâce à ce logiciel les positions en trois dimensions des poissons sur l'échelle de temps considérée avec possibilité de se déplacer dans l'espace. Les données, sorties de ce logiciel, sont enregistrées dans un format base de données Access. Ce logiciel nous permet d'étudier le comportement exploratoire des poissons dans l'espace. Une autre étape du traitement des données consiste en la séparation des positions X, Y des positions Z, de manière à effectuer les différents calculs nous permettant d'analyser respectivement l'occupation spatiale horizontale des poissons dans le réseau couvert par les hydrophones et la distribution verticale dans la colonne d'eau des individus. La distribution des poissons selon leur position Z dans la colonne d'eau a été représentée par des boîtes de Tuckey.

En ce qui concerne l'occupation spatiale horizontale des poissons (X, Y), trois indices ont été calculés de manière à permettre la description du comportement des poissons en fonction du cycle nyctéméral :

- Indice d'occupation du site étudié (les poissons prospectent-ils une plus grande surface la nuit ou le jour ?)

Afin d'estimer la différence de comportement exploratoire de chaque poisson suivant le nyctémère, des projections sur deux axes (OX ; OY) de la trajectoire suivie par chaque poisson dans l'espace, ont été effectuées grâce au logiciel Mapinfo. La surface approximative explorée par chaque poisson pour chaque heure a été calculée en détournant manuellement le nuage de points représentant la trajectoire des individus pendant une heure. Les surfaces prospectées ont donc été définies pour l'ensemble des poissons et cela pour 3 cycles nyctéméraux.

- Indice d'association au récif (les poissons s'éloignent-ils la nuit du récif artificiel ? et la prospection se fait elle autour du récif ?)

La distance entre chaque position au temps t et le récif artificiel a été calculée afin de voir si les poissons se situent autour du récif artificiel ou non lors de leur prospection.

5.2 Traitements statistiques :

Etant en possession de nombreuses données obtenues sur peu d'échantillons, principal inconvénient de la biotéléométrie de manière générale, j'ai utilisé des tests non paramétriques pour mettre en évidence une différence de distribution spatiale des poissons suivant le nyctémère. Le principal test utilisé pour comparer plusieurs variables indépendantes est le test de Kruskal Wallis. Des comparaisons des différentes variables (positions dans la colonne d'eau, distance au récif, surface explorée) ont été effectuées suivant le jour et la nuit.

Résultats

1 Tests préliminaires :

1.1 Choix de la concentration en anesthésique :

Les moyennes de poids et des différents temps mesurés lors du marquage sont reportées dans le tableau 1. Les tests de Kruskal-Wallis n'ont mis en évidence aucune homogénéité des différents paramètres entre le lot témoin et marqué.

En comparant les deux lots de poissons que nous avons utilisés, nous remarquons que les poissons marqués présentent des temps d'induction moyens inférieures à ceux des poissons témoins.

Comme le montre le tableau 1, les temps d'induction moyens pour une concentration de 0,3 ml.l⁻¹ se situent en dessous d'une minute. Avec une telle induction, le temps de réveil est aux alentours de 5 min. Pour la concentration à 0,2 ml.l⁻¹, le temps d'induction moyen est de 1 min et 10 secondes. Le temps de réveil correspondant est d'environ 9 minutes.

Tableau 1– Valeurs moyennes des temps d'induction, de réveil, et des poids pour les deux espèces pour une concentration en clou de girofle.

Espèce	Concentration en anesthésique (ml.l ⁻¹)	Temps d'induction (s)	Temps de réveil (s)	Poids (g)
<i>Lutjanus kasmira</i>	0.3	42,50 ± 3,54	346,50 ± 71,42	131,50 ± 16,26

1.2 Opération de marquage :

Les tests effectués sur les poissons morts nous ont permis de déterminer la zone où l'incision et les points de sutures sont les moins gênants pour les poissons. L'incision est effectuée le long de la ligne ventrale en avant de l'anus. Le temps d'opération a été estimé à quatre minutes. Ce temps correspond à l'incision, à l'insertion de la marque factice et à la pose des points de suture.

1.3 Suivi post-opératoire :

État sanitaire :

L'état sanitaire des *L. kasmira* était excellent tout au long du suivi. Les marqués présentaient des points de sutures intacts et une bonne cicatrisation de la plaie. Un poisson souffrait d'une légère exophtalmie.

Ainsi le taux de survie pour les deux lots était de 100% tout au long du suivi.

Mesure de l'agressivité :

L'agressivité entre les deux lots de *L. kasmira* peut être considérée comme identique tout au long de l'expérience. Le niveau d'agressivité est considéré comme faible (=1) dans les deux lots au cours du suivi.

Mesure de l'activité alimentaire :

L'activité de nage diffère entre les deux lots (Fig. 9). On considère que celle des poissons marqués est proche de la normale, même si quelques variations sont observables. Pour le lot témoin, l'activité de nage est constante et vive.

La mesure de la prise alimentaire montre que pendant les trois jours suivant le marquage, certains individus marqués ne se sont pas nourris, mais passé ce délai, l'alimentation est identique à celle des témoins.

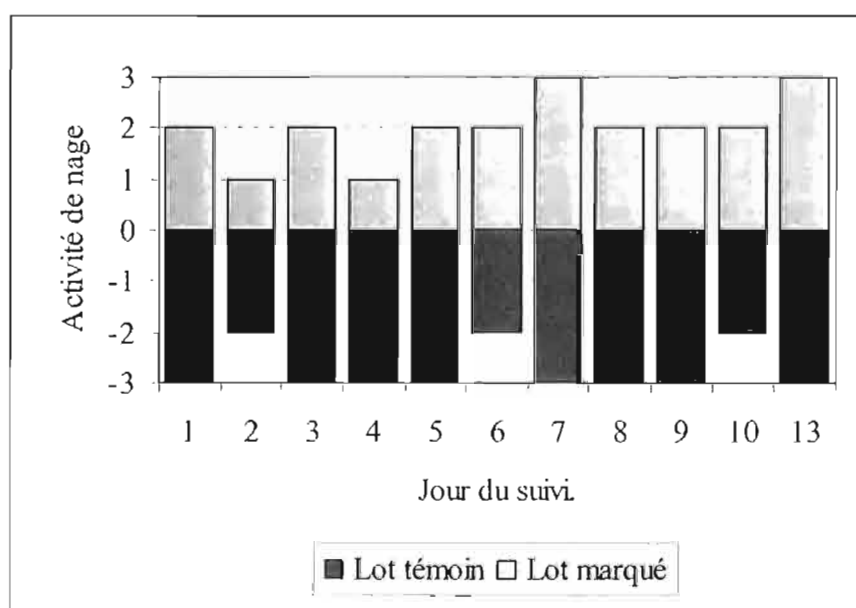


Fig. 9 - Comparaison de l'activité de nage, pendant le repas, entre le lot marqué et le lot témoin de *Lutjanus kasmira*.

En ce qui concerne l'intégration des marques dans les chairs, les dissections qui ont suivies l'expérience de marquage montrent que les marques s'intègrent parfaitement.

2. Occupation spatiale de la zone d'étude selon le rythme nycthéméral :

Le protocole de marquage, mis au point précédemment par insertion dans la cavité péritonéale des lutjans, a été appliqué fidèlement pour l'expérimentation en Baie de Saint-Paul. Suite aux opérations de marquage effectuées à l'Aquarium de Saint-Gilles, aucune mortalité n'a été observée sur les poissons marqués et ce, jusqu'au lâché des individus en baie de Saint-Paul.

2.1 Dynamique spatio-temporelle dans la colonne d'eau :

Les poissons occupent la colonne d'eau entre 10 pieds et 25 pieds de fond, soit entre 3 et 8 m de fond pour la plupart de leur temps. On observe cependant qu'ils occupent toute la colonne d'eau de manière ponctuelle de jour comme de nuit (Fig. 10).

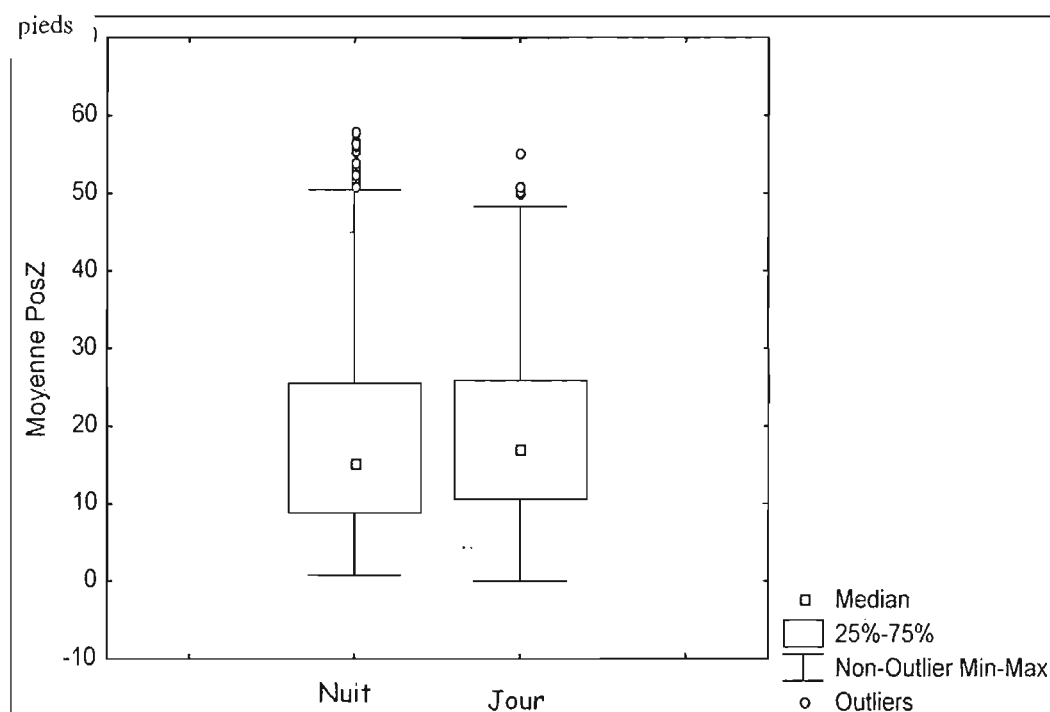


Fig. 10 – Position verticale dans la colonne d'eau (Z) des *Lutjanus kasmira* selon le jour et la nuit

Le test de Kruskal-Wallis effectué sur les positions z en comparaison du jour et de la nuit, montre une différence non significative ($p = ,2822$) entre la nuit et le jour concernant la distribution verticale des poissons dans la colonne d'eau.

2.2 Dynamique spatio-temporelle dans le plan horizontal

Indice d'occupation du site étudié :

Durant la journée les poissons ont tendance à explorer une surface comprise entre 400 et 1800 pieds carrés, soit entre 37 et 167 m² avec une médiane se situant aux environs de 70 m². La nuit la surface explorée est beaucoup plus variable et oscille entre 100 pieds carrés et 4200 soit entre 10 m² et 390 m² avec une médiane se situant aux environs de 163 m² (Fig. 11).

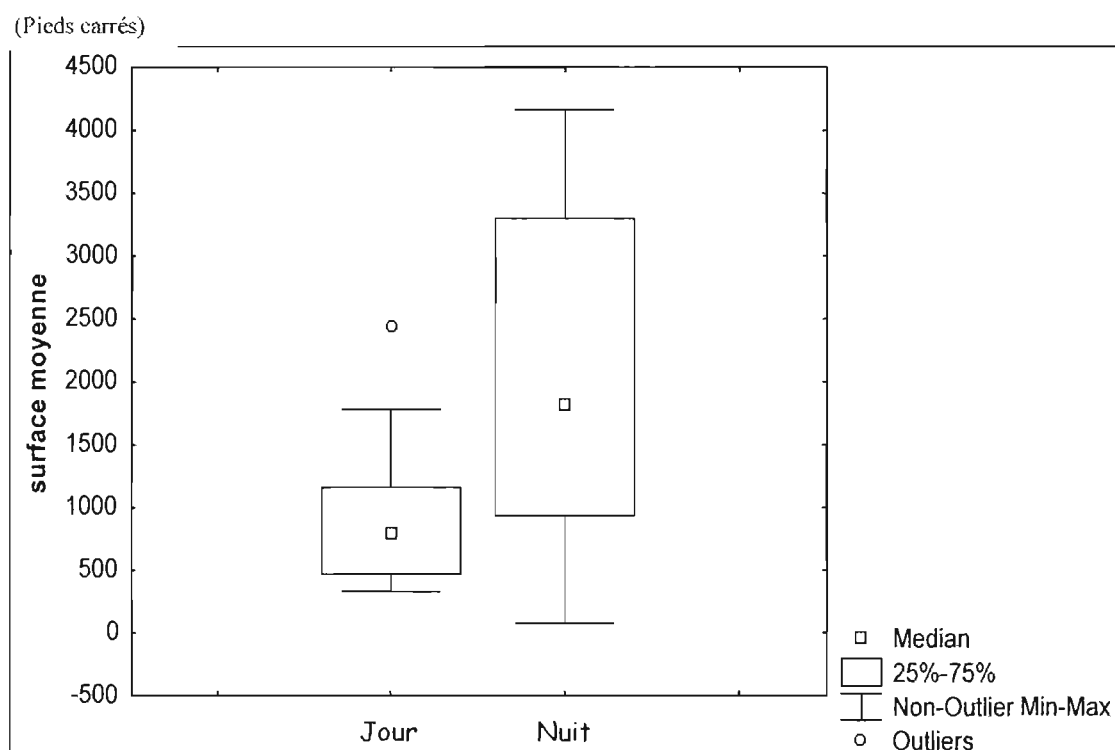


Fig. 11 – Surfaces explorées par les *Lutjanus kasmira* en fonction du jour et de la nuit

Le test de Kruskal-Wallis, effectué sur les surfaces moyennes explorées en comparaison du jour avec la nuit, nous montre qu'il existe une différence significative ($p = ,0442$) de surface explorée entre le jour et la nuit.

Après avoir mis en évidence la différence de surface prospectée suivant le cycle nyctéméral, la figure 12 nous permet de décomposer le cycle en heure afin d'avoir une meilleure appréciation du changement de comportement exploratoire des poissons. Elle nous montre qu'au sein des cycles jour/nuit, nous avons aussi une variabilité de la surface explorée en fonction des heures, avec une surface plus importante la nuit que le jour. Nous voyons également qu'en effectif plus faible de poissons (dernier cycle), la variabilité de la surface explorée est plus grande

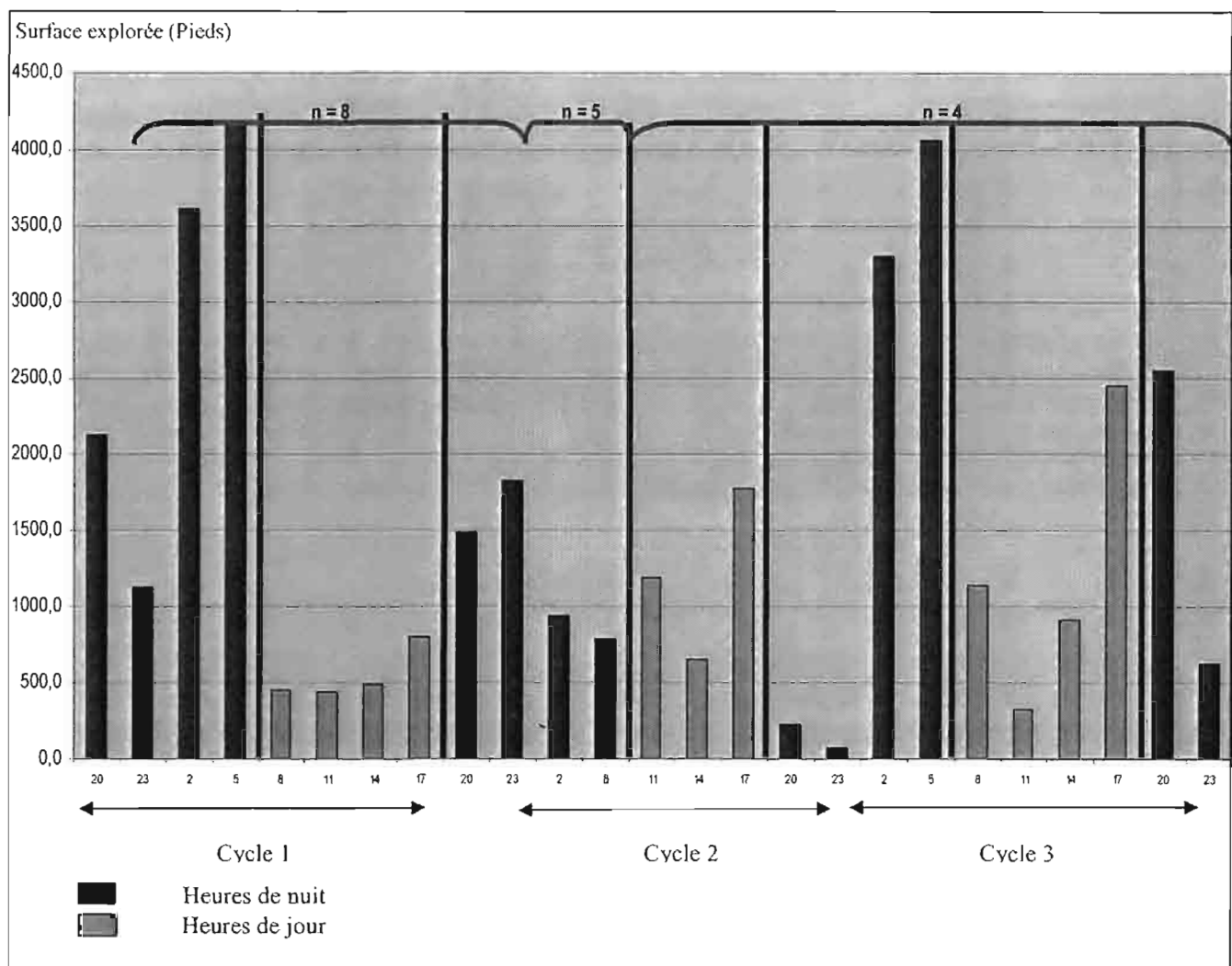


Fig. 12 – Surfaces explorées par les *Lutjanus kasmira* en fonction des heures du jour et de la nuit pendant 3 cycles nyctéméraux.

Après avoir observé la variabilité du comportement exploratoire au sein des heures de nuit et de jour, la figure 13 nous donne un exemple de la trajectoire suivi par l'ensemble des poissons au sein d'une heure de jour (11 h) et de nuit (23h). Bien que cette figure ne mettent pas réellement en valeur les différences de surface explorées selon la nuit et le jour en raison de l'échelle, nous pouvons observer que la nuit la structure du banc est plus lâche et que les poissons prospectent sur une plus grande surface d'environ 355 m². Le jour le banc est plus dense et l'aire de prospection est restreinte à environ 134 m².

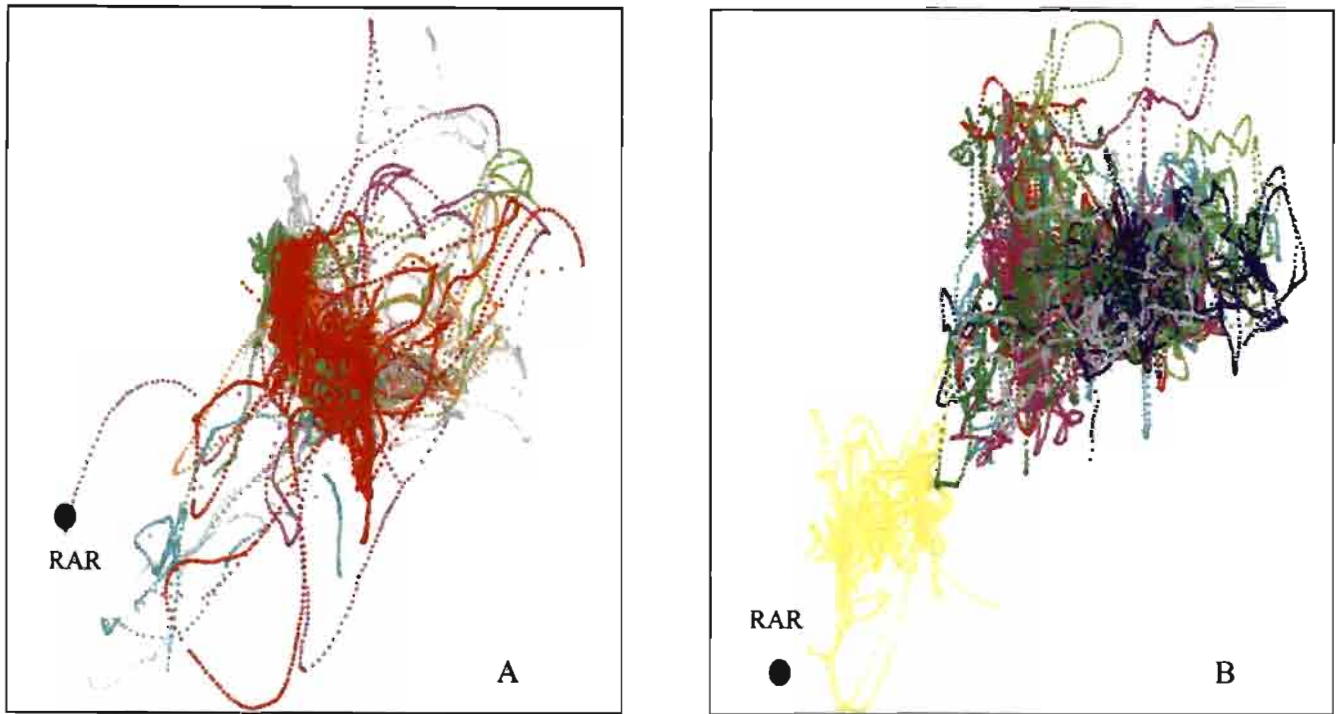


Fig. 13 - Trajectoire en deux dimensions de l'ensemble des poissons durant une heure de nuit (A : 23 heures) et de jour (B : 11 heures). RAR : récif artificiel

Indice d'association au récif (distance au récif)

Bien qu'ayant une médiane similaire ou très proche, nous voyons sur la figure 14, une différence dans l'éloignement des poissons de la structure artificielle de telle sorte qu'elle soit plus importante la nuit que le jour.

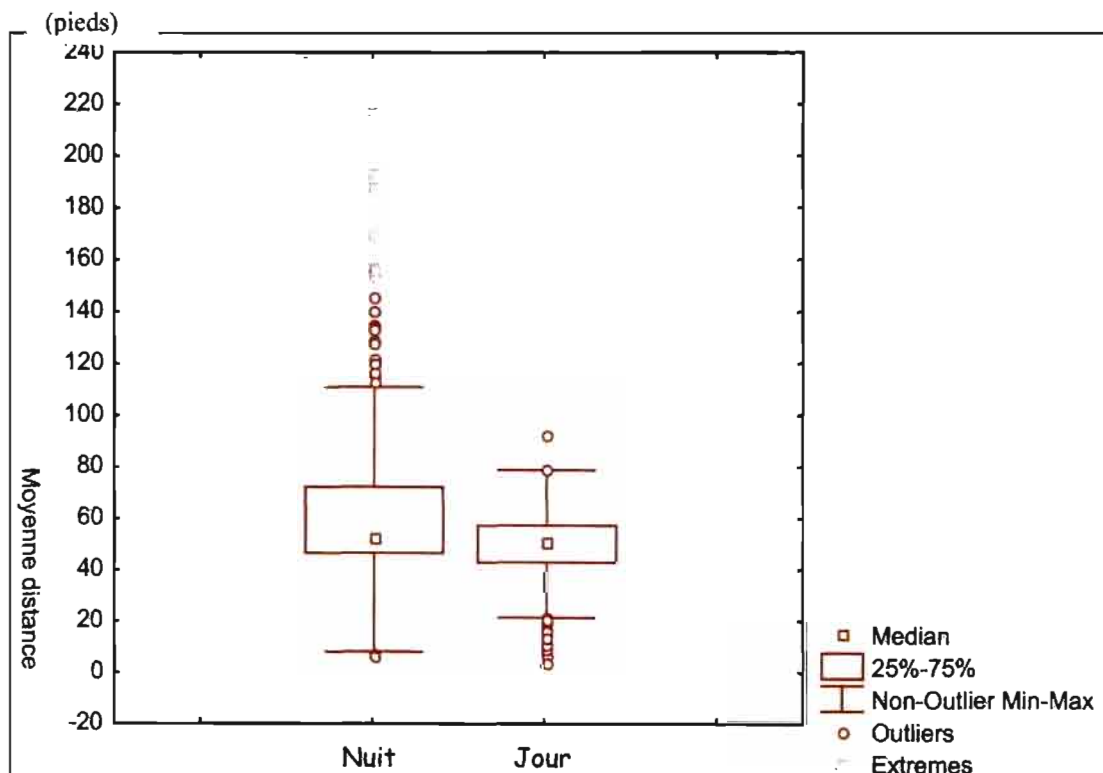


Fig. 14 – Moyenne des distances au récif des positions des *Lutjanus kasmira* en fonction du jour et de la nuit

Le test de Kruskal-Wallis, effectué sur les distances au récif en fonction du jour et de la nuit, nous montre qu'il existe une différence significative entre ces paramètres.

Anesthésie :

L'anesthésie est déterminante pour le bon déroulement du protocole de marquage. Délicate à maîtriser, elle nécessite une série de tests concernant le choix de l'anesthésiant le mieux adapté, ainsi que celui de sa concentration. Pour notre étude nous avons utilisé de l'huile de clou de girofle avec une concentration de $0,3 \text{ ml.l}^{-1}$ sélectionnée à partir des résultats de l'étude antérieure portant sur le *Lutjanus argentimaculatus* (Cappiot, 2002). Le test de cette concentration a montré qu'elle était suffisante pour induire une perte d'équilibre rapide chez *L. kasmira*.

Marquage par insertion dans la cavité péritonéale :

État sanitaire et survie :

Durant la période de suivi (13 jours), on a constaté un bon état général des poissons (témoins et marqués), et un taux de survie de 100% a été obtenu. Dans les premiers jours suivant l'opération, la vivacité de leur coloration s'est amoindrie. Néanmoins, nous pouvons dire que les poissons ont subi le marquage sans problème majeur.

Analyse des mesures comportementales :

Durant toute la période de suivi, l'activité de nage semble être peu perturbée par les manipulations pour les deux lots bien que les individus marqués présentent une légère gêne pendant les premiers jours. L'hyperactivité de nage, relevée chez les témoins pendant toute la durée du suivi, constitue peut-être une réponse au stress induit par les manipulations, stress qui doit exister chez les poissons marqués mais qui pourrait être masqué par la gêne due à la marque. Les poissons des deux lots ne présentent pas d'agressivité inter individuelle, les manipulations ne semblent pas avoir modifier le comportement des individus entre eux.

Au niveau de la prise alimentaire, les poissons semblent peu affectés par l'opération, seuls quelques individus ne se nourrissent pas pendant les trois jours suivant la manipulation. Cette période qui concorde avec l'activité de nage constitue la phase de récupération suite à laquelle les poissons sont à nouveau actifs.

Efficacité de protocole de marquage interne :

Le protocole expérimental mis en place lors de ce stage semble être adapté au marquage des *L. kasmira*. La phase de marquage avec les émetteurs acoustiques peut donc être programmée pour l'expérience finale car aucun problème n'a été constaté.

Nous voyons également ici qu'une phase d'acclimatation de quatre jours est préférable avant de relâcher les poissons dans le milieu naturel. Cette phase d'acclimatation permettrait aux poissons de récupérer de la manipulation.

Occupation spatiale de la zone d'étude selon le rythme nyctéméral :

Dynamique spatio-temporelle dans la colonne d'eau :

La bibliographie décrivant l'espèce comme étant démersale et nocturne (Lieske et Myers, 1995), on peut s'attendre à trouver un comportement pélagique la nuit durant laquelle les individus vont se nourrir. Le jour, on peut supposer que les individus restent en banc serré à l'abri au niveau de la partie attractive de la structure artificielle posée au fond. Dans notre étude, nous n'avons pas mis en évidence de différence significative de distribution verticale des poissons dans la colonne d'eau entre la nuit et le jour. Les individus semblent avoir une occupation homogène de la colonne d'eau quelque soit l'heure de suivi, ils ont cependant un comportement démersal car ils se retrouvent en majeure partie entre 3 et 8 m du fond.

Le comportement nyctéméral du *L. kasmira* peut être aussi relié aux variables environnementales, telles la vitesse du courant ou encore la turbidité. D'autres études ont montré que ce comportement inactif de jour était relatif à la prédation chez d'autres espèces et des paramètres ont été mis en valeur tels que les relations entre l'abondance et les variables physiques (salinité et la vitesse du courant). Sur les structures récifales, les espèces comme les lutjanidae présentent des migrations hors du récif pour explorer de nouvelles aires alors que la lumière solaire décroît au crépuscule et retournent au récif à l'aube. L'étude effectuée sur une espèce démersale et grégaire, le *Trisopterus luscus*, (comportement nyctéméral de cette espèce au niveau d'une structure artificielle), montre qu'il présente également des migrations hors du récif dès la tombée de la nuit (Fowler *et al.*, 1998). Les individus prospectent alors loin du récif en banc alors que le jour le banc est localisé tout autour du récif. Ce comportement semble directement lié à l'intensité lumineuse. Cette étude met en évidence une influence de la vitesse du courant sur le comportement de cette espèce à savoir sa position dans la colonne d'eau : en effet lors de forts courants ($>0.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) les poissons semblent se rapprocher du récif et s'organiser bas dans la colonne d'eau près du fond alors que lorsque la vitesse des courants est plus faible, ils quittent le récif et occupent la colonne d'eau plus en hauteur. Cela semble également lié à une réduction de la perte d'énergie liée à l'activité de nage plus soutenue en pleine eau lors de forts courants alors que sous l'abri des récifs coralliens, l'effort est beaucoup

moindre (Fowler *et al.*, 1998). Pour notre étude nous disposons de données portant sur les facteurs environnementaux et nous pourrions par la suite mettre évidence ce type de corrélation qui à déjà été remarqué lors des observations visuelles effectuées par les plongeurs durant l'expérience de marquage.

Dynamique spatio-temporelle dans le plan horizontal :

Indice d'occupation du site étudié :

Les poissons prospectent-ils une plus grande surface la nuit ou le jour ?

Lutjanus kasmira a été décrit dans la bibliographie comme une espèce nocturne, les individus forment des bancs compacts au-dessus du récif le jour et explorent des aires sableuses beaucoup plus larges la nuit ; il s'agit d'un comportement commun chez de nombreuses espèces démersales associées aux récifs (Friedlander *et al.*, 2001). En effet, comme le montre la figure 3, les poissons ont tendance à explorer presque deux fois plus de surface la nuit que le jour. Mais cela reste à une échelle spatiale restreinte car nous n'avons pas observé de déplacement hors de la zone d'étude, soit au delà de 50 m de la structure artificielle.

La Fig. 4 confirme ces observations car nous voyons une nette tendance des individus à élargir leur surface explorée pendant les heures de nuit par rapport à celle de jour, bien que pour le dernier cycle nyctéméral observé cela semble moins évident. Cette dernière observation semble liée au fait qu'il existe une variabilité inter individuelle et qu'au terme de notre expérience, il ne reste que 4 poissons sur le site étudié. Le nombre de poissons restant serait alors insuffisant pour avoir une bonne représentativité de l'espèce.

La figure 5 nous donne une idée de la trajectoire suivie par chaque poisson pendant une heure de nuit comparée à une heure de jour. Cela nous montre une différence dans le comportement exploratoire des poissons suivant le nyctémère. En effet, pour l'heure de nuit correspondant à 23 heures, nous observons un noyau principal un peu décalé par rapport au récif où se situent les poissons en majorité. Les poissons semblent donc quitter momentanément ce noyau pour aller prospecter les endroits adjacents, pour ensuite y revenir régulièrement. En ce qui concerne l'heure de jour, correspondant à 11 heures du matin, nous observons une structure beaucoup plus dense du banc ; il occupe alors une zone plus restreinte inférieure à la moitié de celle prospectée la nuit par les poissons. Dans les deux cas, nous remarquons que les poissons explorent tous la même zone durant l'heure de suivi.

Il est à noter que la présence de lumières constamment allumées sur le bateau laboratoire la nuit, peut fausser le comportement des poissons lors du cycle nyctéméral. D'autre part, l'ombre provoquée par le bateau, jouant le rôle d'un DCP, a également pu biaiser nos résultats.

Indice de dépendance au récif :

Les poissons s'éloignent-ils la nuit du récif artificiel ? Ont-ils des déplacements centralisés autour du récif ?

De manière générale, nous voyons que les poissons ont tendance à s'éloigner du récif de manière plus importante la nuit que le jour, même si cela reste à une échelle relativement faible. Les poissons centralisent leurs déplacements de manière assez nette autour du récif artificiel. Les individus adultes entreprennent quotidiennement des migrations nocturnes loin du récif pour explorer des habitats caractérisés par des fonds meubles jusqu'à au moins 100 m du récif. Néanmoins, les individus semblent rester fidèles à leur site initial dans le récif (Friedlander *et al.*, 2001). Ce résultat n'a pas été observé pendant nos quatre jours de suivi, puisque nos poissons une fois partis ne revenaient plus.

Il est intéressant de noter que durant l'expérience, les poissons qui sont partis ont tous quitté le site durant la nuit, ce qui tend à conforter l'idée de comportement exploratoire nocturne. On peut supposer qu'une fois les poissons trop loin de la zone d'attraction du récif artificiel, ils finissent par ne plus revenir, jusqu'à une prochaine exploration nocturne du banc dans les environs.

Conclusion et perspectives

Cette expérience a permis de tester le matériel de marquage acoustique dans le milieu marin et sur des espèces de petits poissons récifaux dont la taille ne permettait pas jusqu'à présent de les marquer. De ce point de vue, le système nous a apporté entière satisfaction. Il reste néanmoins encore des points d'ombre notamment concernant les détections observées mais non enregistrées.

L'outil est très puissant envisager et son développement (scientifique et technique) doit être envisagé. D'un point de vue scientifique, une des premières étapes sera de traiter l'ensemble des données ; mais il est déjà clair que l'information que l'on en retirera sera précieuse pour les recherches sur le comportement des poissons. Il serait également intéressant de refaire l'expérience de marquage à la Réunion, en encerclant les poissons autour du récif dans un vaste enclos (150 m x 150 m) afin de contrôler et de pouvoir modifier la densité de poissons. En parallèle à ces observations, des expériences de tracking des poissons sont également envisagées notamment sur les lutjans. Ces observations étaient prévues en fin d'expérience à La Réunion mais n'ont pas pu se faire du fait des mauvaises conditions météo (houle cyclonique). Elles permettraient de localiser les adultes marqués lorsqu'ils quittent le récif artificiel. Une expérience similaire est déjà envisagée en Nouvelle-Calédonie afin de tester l'effet attractif des réserves marines.

Cette expérience a déjà aboutit à des résultats intéressants qui n'ont pas tous été traités lors de mon stage. Cette méthode a deux principaux avantages : pouvoir différencier plusieurs individus à l'intérieur d'un banc et marquer des petits individus. Elle devrait trouver sa place dans le milieu de la recherche. En effet, l'éthologie reste une science basée sur l'observation du comportement d'animaux dans l'espace et le temps, ce qui rend l'expérimentation dans le milieu naturel *in situ* souvent très contraignante, les travaux de recherche en éthologie des poissons se passant essentiellement en milieu contrôlé. Cette méthode novatrice permettant le suivi d'individus simultanément sur une échelle spatio-temporelle apporte énormément d'informations exploitables. Il serait souhaitable dans le futur d'automatiser l'extraction des données de départ afin de rendre moins lourde toute la phase préliminaire de traitement des données.

Références bibliographiques.

- Anon, 1968. Aide mémoire acoustique sous-marine. Détection sous-marine. Marine Nationale Française. Laboratoire de Détection sous-marine du Brusac. 183 pp.
- Barras E., Benech V., Marmulla G., 2001. Manuel de biotélémetrie aquatique. *Séminaire biotélémetrie aquatique*, Mali, 169 pp.
- Bohnsack James A., 1989. Are high densities of fishes at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioral preference. *Bulletin of Marine Science*, 44 (2) : 631-645
- Bowser P. R., 2001. Anaesthetic options for fish. *International Veterinary Information Service, Ithaca, New York, USA*.
- Capiot N., 2002. Implantation de simulacres d'émetteurs acoustiques individuels sur un lot de *Lutjanus argentimaculatus*. *Mémoire de D.E.S.S, Université de Perpignan, Faculté des sciences*.
- Durville P. et A. Collet, 2001. Clove oil as an anaesthetic with juvenile tropical marine fish. *SPC Live Reef Fish Information*, 9: 17-19.
- Friedlander A. M., Parrish J. D., DeFelice R. C., 2001. Ecology of the introduced snapper *Lutjanus kasmira* (Forsskoal) in the reef fish assemblage of a Hawaiian bay. *J. Fish Biol.* (2002), 60 : 28-48.
- Fowler A. J., Jensen A.C. , Collins K. J., Smith I. P., 1998. Age structure and diel activity of pouting on the Poole Bay artificial reef. *Journal of Fish Biology* 54, 944-954.
- McCleave J. D. et K. A. Stred, 1975. Effect of dummy telemetry transmitters on stamina of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 32: 559-563.
- Medwin M., 1975. Speed of sound in water : a simple equation for realistic parameters. *Journal of the acoustic Society of America* 32, 556-559.

- Montaggioni L. et Faure G., Les récifs coralliens des Mascareignes (O. Indien). *Collections des travaux du Centre Universitaire. Université Française de l'Océan Indien* : 1 à 151.
- Munday P. L. et S. K. Wilson, 1997. Comparative efficacy of clove oil and other chemicals in anaesthetization of *Pomacentrus ambionensis* a coral reef fish. *Journal of fish biology*, 51: 931-938.
- Lieske E et Myers R. F., 1995. Guide des poissons des récifs coralliens, Delachaux et Niestlé, Paris : 400 pp.
- Turket J., Tessier E., Bosc P., Durville P. & Quod J.P., 1998. Etude sur les récifs artificiels et le recrutement larvaire en zones à habitat limité à la Réunion. *Rapport ARVAM/ARDA/CRPEM*. 58 p + annexes.
- <http://www.fishbase.org/>

ANNEXE

Description des différentes phases d'une anesthésie et modifications comportementales qui en résulte.

Stade	Catégorie	Modifications comportementales
0	Normal	Nage, réactions aux stimuli; équilibre et tonus musculaire normaux.
I	Sédation légère	Diminution des réactions aux stimuli.
	Sédation profonde	Nage volontaire stoppée, plus de réactions aux stimuli.
II	Narcose légère	Perte d'équilibre avec des efforts pour se redresser.
	Narcose profonde	Perte d'équilibre. Chute de la fréquence respiratoire.
III	Anesthésie légère	Perte totale du tonus musculaire.
	Anesthésie chirurgicale	Fréquence respiratoire et cardiaque très basse.
IV	Collapsus médullaire	Arrêt des mouvements branchiaux suivi de l'arrêt cardiaque en quelques minutes.