



RAPPORT DE STAGE

Projet SEACUSEY
Appui à la cogestion adaptative de la pêcherie d'holothuries aux Seychelles

Etude de la relation entre captures par unité d'effort et abondance
d'holothuries par pêche expérimentale aux Seychelles

Julie Caquelard

Septembre 2017

Maître de stage : Marc Léopold, IRD UMR ENTROPIE
Tuteur IRD Seychelles : Pascal Bach , IRD UMR MARBEC
Tutrice SupAgro : Brigitte Brunel, SupAgro UMR LSTM



Résumé :

Les ressources d'holothuries des quatre espèces *Holothuria* « pentard », *Holothuria nobilis*, *Holothuria fuscogilva* et *Holothuria Thelenota ananas* principalement pêchées sur le plateau des Seychelles sont source de convoitise en raison de leurs hautes valeurs commerciales. De fait leurs stocks sont en diminution. L'objectif de l'action SEACUSEY est de proposer un modèle de gestion durable de la ressource. Pour cela il est indispensable de connaître l'état actuel du stock d'holothuries. L'objectif de cette première partie de l'action est donc de déterminer une relation statistique entre capture par unité d'effort et stock d'holothuries. La modélisation statistique s'appuie sur des données de pêche expérimentale. L'expérimentation permet de déterminer le nombre d'holothuries que peut collecter un pêcheur en fonction des conditions du milieu. Les conditions expérimentales ont été choisies de telle sorte qu'elles soient les plus représentatives des conditions dans lesquelles évoluent les pêcheurs (densité d'holothuries testée, dimension de la zone de travail, condition de mer). Les résultats obtenus à la suite de cette expérimentation ont été triés puis étudiés. Cela a permis de dégager la visibilité comme variable influente sur le modèle. Cette variable a été agrégée au modèle, la relation ainsi trouvée entre capture par unité d'effort et stock d'holothuries la prend en compte. La relation trouvée pourra être mise en application sur les données de pêche relevées par l'autorité des pêches des Seychelles pour suivre le stock d'holothuries des quatre espèces d'intérêt après chaque marée.

Table des matières

1	Introduction :.....	6
1.1	Contexte de l'étude	6
1.2	Contexte de la pêche d'holothuries aux Seychelles.....	6
2	Matériels et méthodes.....	7
2.1	Choix du site expérimental.....	7
2.2	Délimitation de la zone expérimentale site	9
2.3	Ajustement des densités	10
2.4	Pêches expérimentales	10
2.4.1	Matériel	10
2.4.2	Collecte des spécimens pour les besoins de l'expérience	11
2.4.3	Paramètres environnementaux.....	12
2.5	Déroulement des plongées	14
2.6	Le choix des plongeurs participant à l'expérimentation	14
3	Résultats.....	14
3.1	Tri et validation des données	14
3.2	3.2. Analyses statistiques.....	15
4	Discussion.....	20
4.1	Aspect technique du protocole	20
4.2	Les limites de l'expérimentation	21
4.3	La modélisation	22
5	Conclusion.....	22
6	Annexe.....	22

Abréviations et Acronymes :

AMSSI : Association des membres de l'industrie des holothuries aux Seychelles.

CPUE : Capture par unité d'effort.

GPS : Global Positioning System.

SFA : Seychelles Fishing Authority.

Date de stage : 20 avril 2017 au 31 août 2017

Julie Caquelard

Page :4/28

Remerciement :

Je tiens à remercier Marc Léopold pour la confiance qu'il m'a donnée pour la réalisation de ce projet. Je remercie également Pascal Bach pour avoir été présent durant mon stage et Rodney Govinden (SFA) pour sa réactivité, et toute l'aide et les moyens qu'il a pu mettre à ma disposition pour que tout se passe bien.

Je remercie tout particulièrement l'équipage de l'Amitié : Gérard le capitaine, qui n'a pas pu être présent lors de l'expérimentation mais qui a fait tout son possible à terre pour m'aider dans la préparation du matériel. Fred le capitaine en l'absence de Gérard, et Robert le second, qui m'ont également beaucoup aidée sur le volet pratique, je les remercie sincèrement pour leur investissement et leur motivation dans le travail. Baco, Basile le mécanicien et Madé le second mécanicien, présents durant les deux semaines en mer et qui ont permis à l'Amitié de voguer autour de Praslin, sans eux rien n'aurait été possible.

Les plongeurs qui ont travaillé pour cette expérimentation ont fait un travail formidable, je les en remercie grandement : Stéphanie, Rodney et Christophe.

Je remercie également les pêcheurs qui ont accepté de participer à cette expérimentation : Didier, Jeff et Dada ainsi que leur skipper Terry à bord de l'Escapade. Je leurs suis reconnaissante pour le travail qu'ils ont effectué mais aussi pour avoir partagé avec moi leur vision de la pêche aux Seychelles.

Ces deux semaines sur ce navire de recherche qui décidément porte bien son nom m'ont beaucoup appris, je remercie tout l'équipage pour leur bonne humeur et leur bienveillance à mon égard.



1 Introduction :

1.1 Contexte de l'étude

Depuis les années 1990, les stocks d'holothuries, mondialement surexploités, sont en fort déclin en raison de l'essor des marchés asiatiques de bêche-de-mer. Cette surpêche touche la majorité des espèces commerciales. Dans la région sud-ouest de l'océan Indien, la durabilité des pêcheries d'holothuries aux Seychelles fait figure d'exception et représente un enjeu national majeur. Dans ce contexte, l'action SEACUSEY a été financée par le programme « Biodiversité » du 10^{ème} Fonds Européen pour le Développement sur la période 2017-2018. Elle est coordonnée par l'Institut de recherche pour le Développement (IRD). L'objectif global de l'action est d'assurer la durabilité du secteur économique lié aux ressources d'holothuries aux Seychelles grâce à une gestion adaptative, précautionneuse et concertée.

L'objectif spécifique de l'action est de définir et mettre en œuvre des mesures de gestion opérationnelles des ressources d'holothuries et adaptées à la diversité, la structure génétique, l'abondance, la distribution et l'évolution des stocks des quatre principales espèces commerciales (*Holothuria* « pentard », *H. nobilis*, *H. fuscogilva*, *Thelenota ananas*).

Afin d'atteindre ces objectifs, l'action SEACUSEY a été préparée et est réalisée en association avec les deux acteurs clés du secteur (la Seychelles Fishing Authority - SFA et l'Association des membres de l'industrie des holothuries aux Seychelles - AMSSI).

L'action SEACUSEY comprend plusieurs volets de recherche. Ce rapport concerne l'estimation de l'abondance du stock d'holothuries sur le plateau des Seychelles à partir des données de pêche commerciale. Spécifiquement, l'objectif était d'établir un modèle statistique permettant de déterminer l'abondance du stock commercial en fonction des captures effectuées par les pêcheurs. Un modèle statistique a été élaboré à partir de données expérimentales récoltées au terme de deux semaines d'expérimentation.

Le modèle pourra être transposé aux données des fiches de pêches et du suivi des navires par GPS relevées par la SFA, afin d'estimer et de cartographier l'abondance des ressources d'holothuries aux Seychelles.

1.2 Contexte de la pêche d'holothuries aux Seychelles

La pêche d'holothuries, également appelées concombres de mer ou babaras en créole seychellois, est une pêcherie très lucrative. L'archipel des Seychelles fait figure d'exception dans l'océan indien pour l'encadrement administratif de la pêcherie. En effet, le nombre de bateaux pouvant pêcher est contrôlé grâce à un système de licence. Vingt-cinq licences sont délivrées par an. Le nombre de pêcheurs par navire est limité à un maximum de 4. Il existe également une période de pêche qui s'étend du mois de septembre jusqu'au mois de juin. La période où la pêche est fermée correspond également à la période durant laquelle les conditions de mer sont les plus défavorables à la pêche : mauvaise visibilité pour les plongeurs, forte houle, température de l'eau relativement froide en profondeur (<24°C).

La pêche s'effectue en plongée bouteille à des profondeurs allant jusqu'à 50 mètres. Chaque pêcheur plonge de façon indépendante avec un filet relié à une bouée en surface. Cette bouée permet au skipper de localiser les pêcheurs à tout moment, et également de laisser le filet au fond s'il est trop rempli et donc trop lourd pour être remonté ou pour le maintenir en surface. Le filet et la bouée sont alors récupérés à partir du bateau. Etant donné la profondeur de pêche, les plongées ne dépassent que rarement 30 minutes ; de manière générale les pêcheurs remontent lorsque l'air de leurs bouteilles est presque épuisé ou parce qu'il y a pas ou plus d'holothuries sur le site.

Les bateaux partent pour des marées de l'ordre de 20 jours et peuvent parcourir tout le plateau des Seychelles jusqu'aux îles Amirantes. Le skipper choisit les lieux de pêche grâce à son expérience et

aux informations que les plongeurs lui donnent en remontant des plongées. Généralement ils mettent plusieurs jours à trouver un site de pêche où les concombres sont abondants, mais une fois sur place ils restent jusqu'à épuisement du site. Ils cherchent alors une autre « poche » d'holothuries.

Les espèces auxquelles nous nous intéressons sont les quatre principales cibles : *Holothuria* « pentard » (pentard, espèce endémique des Seychelles) *H. nobilis* (cococier noir), *H. fuscogilva* (cococier blanc), *Thelenota ananas* (cent pieds). La partie commercialisée est seulement le tégument. En effet une fois pêchées puis remontées sur le bateau, les holothuries sont éviscérées pour ne garder que le tégument, qui est salé puis stocké dans la cale. Chaque espèce possède des propriétés différentes de tégument (texture et épaisseur par exemple), qui font varier le prix. Le prix unitaire est de 120 roupies environ, soit 8 €/pièce. Les espèces les plus recherchées sont *H. fuscogilva*, *H. « pentard »* et *H. nobilis*, car leur valeur commerciale est la plus élevée.

A son arrivée dans l'un des trois ports de Mahé, chaque bateau de pêche doit attendre les contrôleurs de la SFA pour pouvoir débarquer ses captures. Les holothuries sont comptées puis pesées par espèce. Elles sont ensuite transformées dans des usines localisées sur Mahé, pour être séchées avant d'être exportées vers les pays asiatiques. Avant l'export, les holothuries sont de nouveau comptées et pesées par espèce par les contrôleurs de la SFA et d'autres acteurs du secteur (ministère de l'environnement entre autres). Ce dispositif permet de contrôler la pêche et de prévenir la pêche illégale.

2 Matériels et méthodes

Dans le cadre de cette expérimentation, nous avons cherché à élaborer un modèle empirique permettant d'estimer la densité d'holothuries sur site en fonction des CPUEs calculées à partir des données de fiche de pêche réglementaires. Pour cela, les valeurs de CPUE ont été calibrées en fonction d'un gradient de densités similaire à celui rencontrés sur les zones de pêche des Seychelles, afin de se rapprocher le plus possible des conditions de pêche réelles.

2.1 Choix du site expérimental

L'expérimentation devait être représentative des conditions de densités de la ressource rencontrées sur le plateau des Seychelles. L'expérimentation a été réalisée lorsque la période de pêche d'holothuries était fermée, c'est à dire entre le 1 juillet et le 30 septembre, afin que les pêcheurs puissent participer. Les conditions de mer n'étaient pas les mêmes que celles durant les mois où la pêche est ouverte, car c'est la saison où les alizés du sud-est soufflent. Pour limiter l'effet du vent sur les conditions de pêche, le choix du site d'expérimentation s'est tourné vers des lieux protégés par les îles hautes. Le site expérimental devait être un plateau à une profondeur constante proche de 20 m.

La profondeur était fixée à 20 m et la durée des plongées limitée à 15 minutes pour des raisons de sécurité des plongeurs de la SFA et des pêcheurs. Il est à noter que lors des marées les pêcheurs d'holothuries plongent à une plus grande fréquence que celle qui leur a été imposé pour l'expérimentation.

Un autre facteur important dans le choix de la zone d'expérimentation est la qualité du substrat. Le substrat doit être représentatif du milieu de vie habituel des holothuries. Après discussions avec les pêcheurs, il est apparu que chaque espèce a une distribution spécifique. Certaines se trouvent le plus souvent sur des substrats de type récif corallien (cent pieds), d'autres dans des herbiers (pentard) ou encore sur des fonds sableux.

Grâce aux cartes bathymétriques du plateau des Seychelles, trois zones ont pu être identifiées comme favorables à l'expérimentation de par leurs situations abritées du vent et une profondeur de 20 m sur une surface suffisante, supérieure à 1 ha (Figure1).



Figure 1 : Site expérimental : 1 proche de Bel Ombre, Mahé / 2 en face en Anse Lazio, Praslin /3 en face de Cote d'Or et Saint Pierre, Praslin

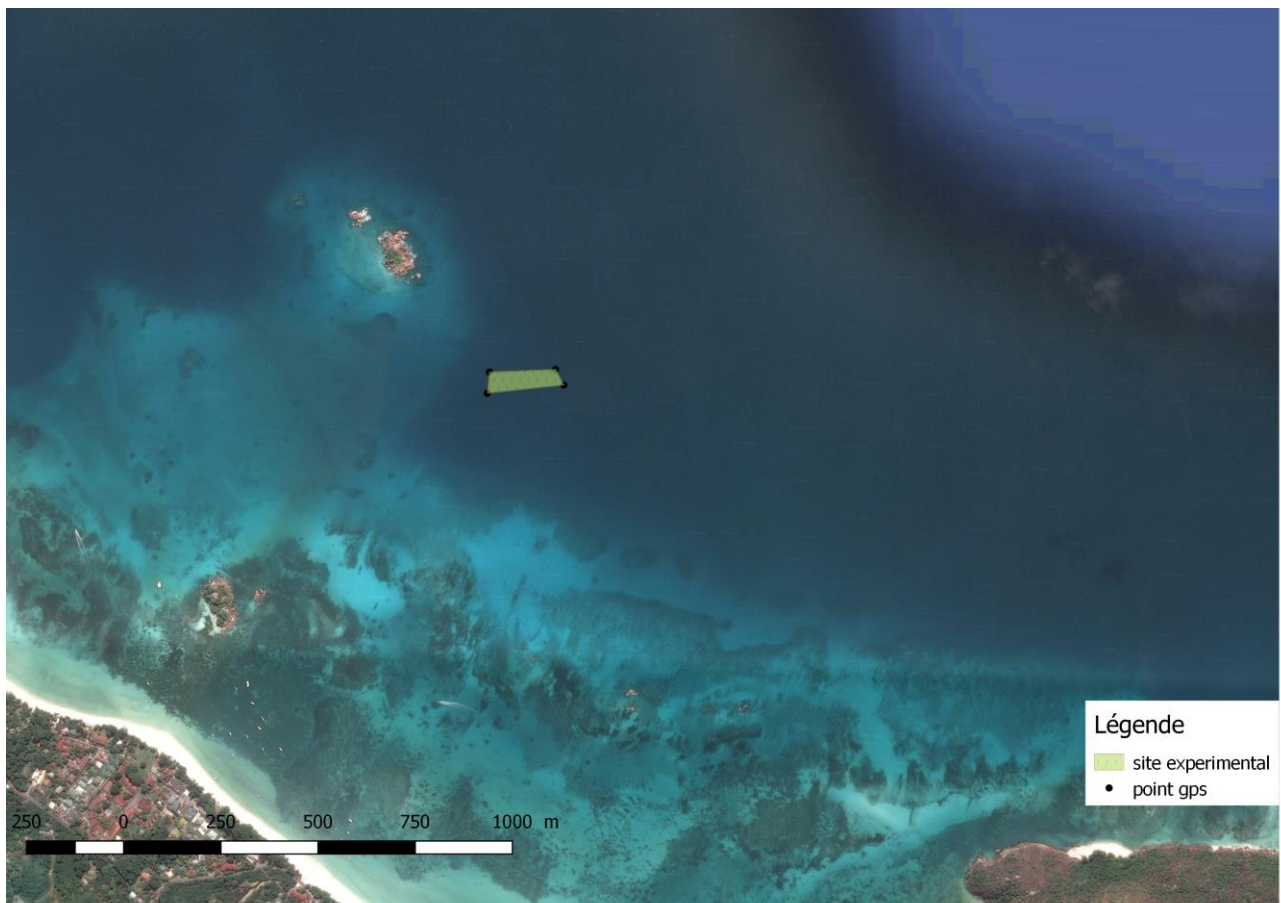
Une sortie de repérage de deux jours, le 16 et 17 juin 2017 a été organisée avec le navire de recherche l'Amitié pour visualiser les conditions de mer sur site. Des plongeurs de la SFA ont effectué des vidéos sous-marines pour identifier les spécificités du substrat sur ces trois sites.

Pour les trois sites les conditions de mer étaient identiques : relativement peu de houle, faible courant, et visibilité environ égale à 7 mètres. En revanche, les spécificités du substrat étaient différentes :

- Site 1 : Sable très fin, recouvert de sédiments à certains endroits, sans aucun relief. Quasiment aucune vie marine sur le fond.
- Site 2 : Sable au grain plus large, présence d'oursins à certains endroits, et présence de reliefs de 20cm de haut.
- Site 3 : environnement semblable au site 2, sable au grain large, présence de reliefs de 20cm de haut et présence de plus d'oursins.

Le choix du site d'expérimentation s'est tourné vers le site 3 (Figure 2) pour les raisons suivantes : peu de courant, visibilité correcte, plateau entre 18 et 22 m sur 1 ha. Le substrat du fond présente un relief de 20cm de haut environ, qui permet de recréer d'éventuels obstacles à la recherche des holothuries comme les pêcheurs peuvent en rencontrer dans les conditions réelles.

Le site se situait donc entre Cotes d'or et l'îlot Saint Pierre. Étant situé sur un lieu de passage maritime, le site était identifiable grâce à de grosses bouées surmontées de pavillons situés aux quatre coins. Des annonces à la radio nationale ont également été répétées durant la durée de l'expérimentation pour informer les plaisanciers et pêcheurs de rester vigilant aux abords de la zone d'expérimentation car des plongeurs étaient à l'eau. L'Amitié avait jeté l'ancre non loin du site durant toute la durée du travail, ce qui permettait de susciter davantage de vigilance de la part des bateaux passant dans le périmètre proche du site.



	A	B	C	D
Latitude Sud (°)	4,30607	4,30583	4,30673	4,30707
Longitude Est (°)	55,75242	55,75268	55,75426	55,75375

Figure 2 : Localisation du site d'étude expérimental et coordonnées GPS.

2.2 Délimitation de la zone expérimentale

Les dimensions du site d'expérimentation étaient de 200x50 mètres soit 1 ha. Il était délimité au fond par des cordes marquées au ruban adhésif et lestées tous les 20 mètres de petites ancres. La longueur du site devait être orienté dans l'axe du courant, ce qui permettait aux pêcheurs de se laisser dériver dans le courant durant leur pêche, comme ils le font dans les conditions réelles. Malheureusement les conditions de mer n'ont pas permis de respecter cette condition du protocole, sur la durée totale de l'expérimentation. Les bouées intermédiaires ont été retirées car les plongeurs emmêlaient la bouée GPS dans celles-ci. Voir Figure 3.

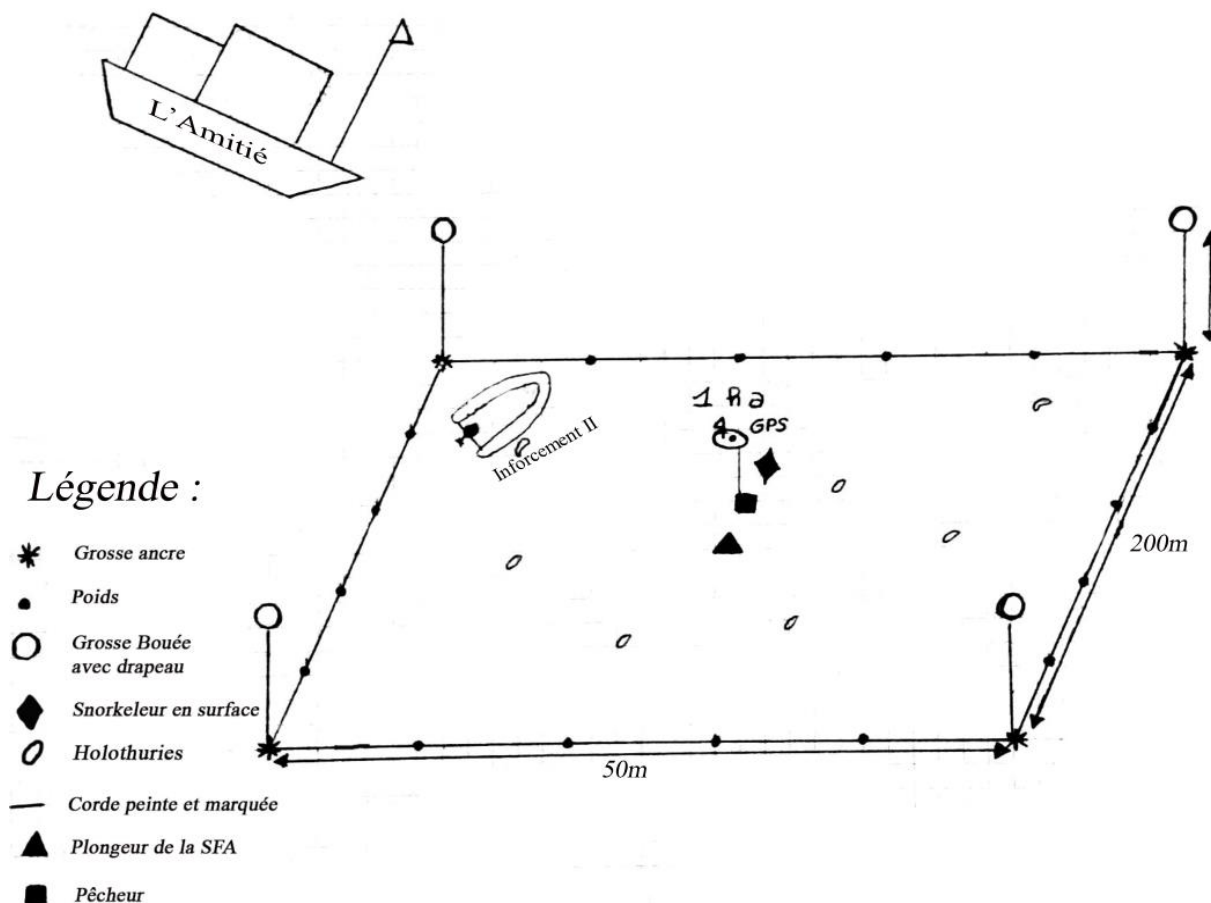


Figure 3 : Schématisation du balisage de la zone expérimentale.

2.3 Ajustement des densités

Le gradient de densité testé était de 15 à 109 holothuries/hectare. Afin de détecter un éventuel effet pêcheur, les trois pêcheurs ont effectué une plongée aux mêmes densités expérimentales d'holothuries. Les densités étaient ajustées rapidement entre chaque plongée, d'où l'importance des cages numérotées pour savoir exactement le nombre d'holothuries à relâcher. A la fin de chaque période de pêche les plongeurs, i) mettaient tout ou une partie de leurs captures dans une des cages, ou ii) redistribuaient aléatoirement leurs captures dans la surface de la zone. Chaque matin avant le début des opérations, certaines cages étaient remontées en surface à une faible vitesse pour éviter de stresser les holothuries. Les holothuries étaient sorties de la cage, placées dans des bacs puis distribuées aléatoirement sur la zone. Un délai d'au moins 1 heure était observé pour que les holothuries se posent sur le fond, retrouvent une morphologie normale et éventuellement se camouflent de sable.

2.4 Pêches expérimentales

2.4.1 Matériel

Seize cages ont été construites dans le but de garder les holothuries la nuit. Lorsque des densités plus faibles étaient testées sur le site, les holothuries non utilisées étaient placées dans les cages. Ces cages sont positionnées aux frontières du site. Chaque cage était numérotée de 1 à 16 ce qui permettait de donner le nombre exact d'holothuries qui se trouvait dans chaque cage. On a estimé le nombre maximal d'holothuries à 10-15 individus/cage.

L'armature des cages était en PVC et percée pour rendre la structure en flottabilité négative (Figure 4). Ce sont des cages carrées de 1,5 mètre de côté (2.25 m²) et de hauteur 60 cm. La structure était recouverte de filet plastique rigide de moins de 1cm de maille de côté. Une porte à ouverture/fermeture sécurisée est placée sur la face supérieure.

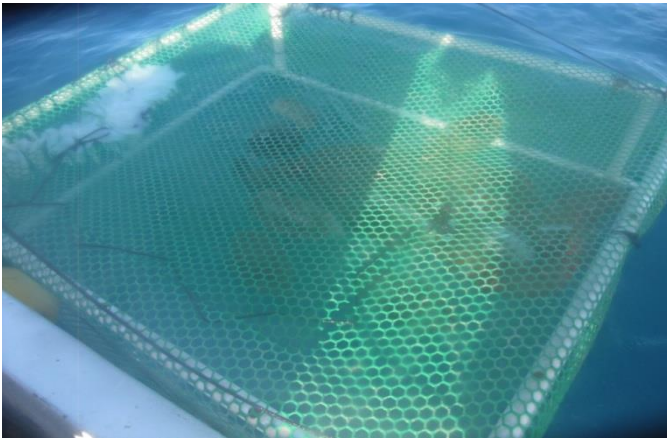


Figure 4 : Cage pour conserver les holothuries vivantes durant l'expérimentation.

Deux enclos (de 6.5 m²) ont également été construits pour permettre aux holothuries de se nourrir durant la journée et de limiter leur stress. Les holothuries devaient être toute ramassées et placées dans les cages pour la nuit pour éviter qu'elles ne s'échappent d'un jour sur l'autre.

Il a été observé les deux premiers jours de l'étude que les holothuries ne se déplaçaient que d'une distance très négligeable. Le choix a donc été fait de les laisser sur le site durant la nuit. En début de journée il n'était donc pas utile de remonter toutes les cages pour libérer les holothuries nécessaires pour atteindre la densité souhaitée. Un nombre de cages réduit était remonté pour compléter le nombre d'holothuries à la densité souhaitée à partir du nombre d'holothuries laissées sur le site la veille au soir.

Les lignes permettant de délimiter le site en profondeur, ont été peintes en blanc et les bouées en surface en orange, pour les rendre plus visibles. Des rubans adhésifs de couleur jaune ont été fixés tous les 10 mètres sur la ligne délimitant le pourtour du rectangle, permettant de mieux identifier les limites du site. Des rubans du même type ont été fixés tous les 5 mètres sur les lignes reliant les bouées intermédiaires aux poids. Cela permettait aux plongeurs de se repérer plus facilement une fois sous l'eau.

2.4.2 Collecte des spécimens pour les besoins de l'expérience

Ont été principalement ciblé, les 4 espèces d'intérêt commercial, à savoir : *Holothuria pentard*, *H.fuscogilva*, *H.ananas* et *H.nobilis* (Figure 5).

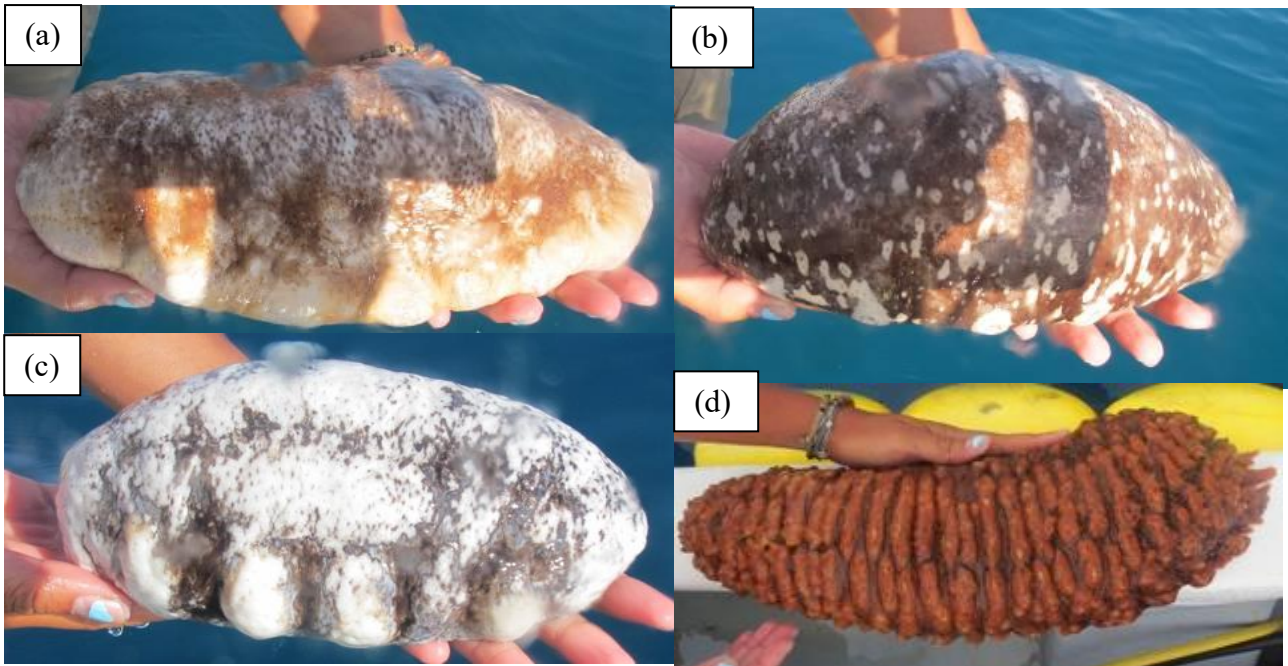


Figure 5 : Identification des espèces ciblées. *Holothuria fuscogilva* - Cococier Blanc (a), *Holothuria pentard* – Pentard (b), *Holothuria nobilis* - Cococier Noir (c), *Holothuria ananas* – Cent Pied (d).

L'expérimentation se découpe en deux parties. Une première permettant de déterminer le lieu de l'expérimentation (phase d'exploration), puis une seconde pour réaliser l'expérimentation et l'obtention des données.

Une autorisation spéciale de la SFA a été donnée au navire de pêche « l'Escapade », l'autorisant à pêcher des holothuries alors que la période de pêche était officiellement fermée. Cette autorisation comprenait également la récupération des holothuries en fin d'expérience. « L'Escapade » avait ainsi effectué 4 jours de pêche du 5 au 8 juillet 2017. Le premier jour les holothuries pêchées ont été utilisées pour faire un échantillonnage de tissu biologique destiné à des études génétiques : 16 *Holothuria ananas*, 12 *Holothuria fuscogilva* et 8 *Holothuria nobilis*.

109 holothuries ont été capturées les trois jours suivants. Les holothuries devant être maintenues vivantes sont remontées précautionneusement puis placées dans de grands bacs remplis d'eau renouvelée régulièrement. Chaque soir le bateau de pêche « l'Escapade » revenait vers le navire de recherche de la SFA « l'Amitié » pour transférer les holothuries dans les cages disposées autour du site d'expérimentation.

Une fois l'expérimentation terminée, les holothuries ont été rendues aux pêcheurs pour être éviscérées, salées et ramenées sur Mahé pour leur commercialisation. 21 échantillons de tissu biologique d'*Holothuria pentard* ont été prélevés à la fin de l'expérimentation avant que les holothuries soient salées.

2.4.3 Paramètres environnementaux

Le but de l'expérimentation consistait à quantifier les captures de chacun des pêcheurs suivant un gradient de densité d'holothuries. Durant toute l'expérimentation et pour chacune des plongées, les données suivantes ont été collectées : le nom du pêcheur, la densité d'holothuries sur

laquelle chaque pêcheur effectue sa plongée, le nom du plongeur scientifique qui l'accompagne (le cas échéant), le nombre d'holothuries capturées, le temps de pêche effectif, la visibilité et le nom du plongeur scientifique qui l'a mesurée, la force et l'orientation du courant en surface (et au fond, lorsqu'il y avait un courant de cisaillement). La hauteur de la houle et la force et l'orientation du vent étaient par ailleurs enregistrées à partir du site <https://www.windy.com/>.

Les trajets GPS de chaque plongeur ont aussi été enregistrés grâce à une balise GPS fixée à une bouée flottant en surface, reliée au plongeur grâce à un filin et un dévidoir de 30 mètres que les pêcheurs accrochaient à leur gilet stabilisateur durant le temps de pêche effectif. La balise GPS enregistrait la position du plongeur toutes les 5 secondes. La bouée était lestée par deux plombs de 1 kg fixés de chaque côté de la bouée pour maintenir le GPS hors de l'eau (Figure 6).



Figure 6 : Traceur GPS fixé sur une bouée reliée au plongeur.

Le traceur GPS était activé en début de journée et arrêté en fin de journée. Les heures de début et de fin des temps de pêche effectifs étaient donc enregistrées pour ensuite pouvoir extraire les positions des trajets effectués par les pêcheurs durant leur plongée.

Pour chaque plongée, la profondeur du plongeur était également enregistrée chaque seconde par une sonde de pression (modèle SP2T600 NKE Instrumentation, <http://www.nke-instrumentation.com/data-loggers>). La sonde était fixée au gilet du pêcheur. L'enregistrement de la profondeur se déclenchait automatiquement dès que le plongeur descend en dessous de 2m durant plus d'une minute. Elle s'arrêtait également automatiquement à la remontée. Même principe que pour les données GPS, le profil correspondant aux temps de pêche effective était extrait grâce aux relevés d'heures de début et de fin de pêche.

La visibilité était relevée lors de la première plongée du matin puis lors de la première plongée de l'après-midi. La visibilité était donc considérée constante entre 8h et 11h30 puis entre 13h30 et 16h. Cependant, des tests ont été répétés au cours de la journée selon les perceptions d'un changement de visibilité par les plongeurs. La visibilité était mesurée grâce à un tableau blanc d'une dimension 20x25cm relié à une corde. En début de plongée, une fois au fond, le pêcheur prenait le tableau et reculait tout en conservant le tableau blanc face au plongeur scientifique qui arrêtait le déroulement de la corde à partir du moment où il ne pouvait plus distinguer le tableau, et faisait un nœud sur la corde. La distance entre le tableau et le nœud correspondait à la visibilité observée par le plongeur scientifique. La visibilité étant une mesure relativement subjective et spécifique à chaque plongeur, le nom du plongeur ayant effectué le test était noté.

L'orientation du courant était mesurée avec un compas par le plongeur scientifique en même temps que le test de visibilité (matin et après-midi). La force du courant de surface était donnée grâce au loch de « l'Amitié » à l'ancre.

2.5 Déroulement des plongées

Pour chaque plongées les pêcheurs ne connaissaient pas la valeur de la densité sur laquelle ils allaient plonger. Pour cela les plongeurs avaient pour consigne de ne pas communiquer entre eux sur les résultats de leurs pêches pendant leurs intervalles de surface. Cette mesure permettait de simuler le fait que dans les conditions réelles de pêche les plongeurs ne savent pas à l'avance combien d'holothuries vont être présente sur le site. Ainsi ils ne pouvaient pas anticiper une méthode de pêche différente de celle qu'ils adoptent en condition réelle. Au début de l'expérimentation les pêcheurs ont été accompagnés par un plongeur scientifique. Les deux plongeurs commençaient leur plongée à différents endroits du site selon les conditions de courant. Ils étaient déposés en amont du courant dans la mesure du possible pour qu'ils puissent se laisser dériver sur le site afin de se rapprocher des conditions normales de pêche. Lorsque le pêcheur et le plongeur scientifique étaient prêts, le plongeur scientifique signalait le début du temps de pêche effectif en faisant sonner un buzzer fixé à son gilet. Il notait l'heure sur son tableau. Nous n'avons pris en compte que le temps de pêche effectif qui est fixé à 6 minutes. C'est à dire le temps à partir duquel le pêcheur est au fond et commence à pêcher puis 6 minutes plus tard le temps de pêche est écoulé, le pêcheur arrête de chercher. Le temps de pêche effectif ne prend donc pas en compte le temps de descente et de remonté avec les paliers. Durant les 6 minutes de pêche, le plongeur scientifique suivait le pêcheur en restant légèrement au-dessus de celui-ci. Une fois les 6 minutes écoulées, le plongeur scientifique signalait au pêcheur la fin de la période de pêche effective avec le buzzer. Il notait alors l'heure de fin. Il comptait le nombre d'holothuries capturées. Ensuite, comme indiqué ci-dessus, ils disposaient les captures dans des cages ou sur la zone selon les besoins de l'expérimentation. Une fois ces opérations réalisées, ils commençaient leur remontée en respectant les paliers à réaliser.

A partir du moment où les pêcheurs ont intégré le protocole des plongées, ils ont effectué seuls les différentes opérations ci-dessus. Un opérateur donnait le signal du départ et de fin de la période de pêche en tirant 3 coups secs sur la corde reliée à la bouée GPS. L'opérateur notait les heures de début et de fin depuis l'embarcation annexe.

2.6 Le choix des plongeurs participant à l'expérimentation

Ce projet ayant été monté en collaboration avec l'AMSSI, les conditions de l'étude ont été discutées. L'un des bateaux professionnels (l'Escapade) a été affrété pour les besoins de l'expérimentation et le skipper a été chargé de recruter 3 pêcheurs volontaires. Ces pêcheurs proviennent d'équipages différents, ils peuvent ainsi avoir des habitudes de pêche et une expérience différente. S'agissant d'une étude participative, la motivation et la neutralité des pêcheurs ont été considérées spécifiquement pour assurer la fiabilité des résultats (annexe 2).

3 Résultats

3.1 Tri et validation des données

Un travail de tri et de mise en forme des données a été nécessaire. Les données sont recensées en annexes 1 (fulldata, fulldatagps et fulldatasonde).

Au total, 75 plongées ont été effectuées (25 plongées par plongeur) pour des valeurs de densité comprises entre 15 et 109 holothuries/hectare. Un des plongeurs en revanche a rapidement compris comment fonctionnait l'expérimentation et savait plus ou moins la densité sur laquelle il plongeait et la localisation des holothuries. Un éventuel biais est à envisager pour Jeff. Certaines densités ont été répétées plusieurs fois pour des raisons techniques (il est difficile voir impossible de passer de 60 à 20 holothuries/hectare. En effet à une densité de 60holoturies/hectare il est très peu probable

qu'un pêcheur attrape 40 holothuries en une plongée de 6 minutes. Il faut donc qu'un pêcheur plonge à une densité intermédiaire).

Le nombre d'holothuries capturées par minute (CPUE) a été calculé en divisant le nombre d'holothuries capturées par le temps de pêche effectif. L'hypothèse faite est que pour une densité donnée, le processus de collecte est uniforme. La CPUE par minute est donc indépendante de la durée de pêche. Ce calcul permet de s'affranchir de la durée de pêche effective, celle-ci ayant été différente du temps de référence (ie, 6 min) pour certaines plongées, pour des raisons logistiques. Le nombre de plongée ayant dépassé les 6 minutes de pêche effective s'élève à 15, soit 20% des plongées totales. Il y a également 5 plongées pour lesquelles les temps n'ont pas été enregistrés.

Remarque : Le protocole initial était de faire 20 minutes de pêche or ce temps était trop long pour les pêcheurs car leur bouteille ne suffisait pas, et ils parcouraient tout le site expérimental. Le temps a ensuite été baissé à 10 puis 6 minutes.

La fiabilité des données de chaque plongée a été évaluée selon les trois critères suivants :

- 1) Profil bathymétrique de la plongée cohérent : avec le document fulldata_sonde est observé le comportement du plongeur, s'il est bien resté à une distance du sol raisonnable pour pouvoir pêcher (entre 0 et 9 mètres au-dessus du fond, selon la visibilité).
- 2) Position de la trajectoire cohérente avec la zone d'étude durant le temps de pêche effectif.
- 3) Absence de biais comportemental des pêcheurs (un cas unique reporté de manque d'investissement du pêcheur).

Les 16 plongées (21.3 %) ne répondant pas à l'un de ces critères n'ont pas été incluses dans les analyses statistiques.

Les données de visibilité ont été ajustées a posteriori pour deux raisons. D'une part, un test empirique de comparaison des mesures effectuées par les deux plongeurs dans les mêmes conditions a montré une sous-estimation systématique de la visibilité de l'un par rapport à l'autre par un facteur 13/11. Les valeurs de visibilité ont donc été corrigées par ce facteur d'ajustement. D'autre part, les perceptions des pêcheurs au cours des plongées successives ont été utilisées pour ajuster la valeur mesurée en début de période (ie, 8 h ou 13h30), en raison des conditions de mer parfois fluctuantes (eg, courant de marée). En définitive, pour tenir compte de ces approximations, la visibilité a été considérée selon une échelle semi-quantitative à trois niveaux :

- 1) Visibilité très mauvaise (4 m) : valeurs estimées comprises entre 3 et 5 m
- 2) Visibilité moyenne (8 m) : valeurs estimées comprises entre 6 et 9 m
- 3) Visibilité bonne (13 m) : valeurs comprises entre 10 et 13 m

Toutes les données n'ont pas été analysées. Seules les variables essentielles susceptibles d'influencer les captures ont été pris en compte : la densité d'holothuries, la visibilité et l'effet plongeur.

3.2 Analyses statistiques

Tout d'abord nous avons cherché à savoir quelles variables influençaient le modèle de manière significative. La régression linéaire suivante est effectuée $\text{lm}(\text{catch_per_min} \sim \text{density_nbr_of_holothurie} + \text{visibility_group} + \text{fisherman}, \text{data} = \text{fulldata})$.

Les résultats des p-values montrent que les variables qui ont un effet sur les résultats de capture par minute sont : la densité d'holothuries (density_nbr_of_holothurie) avec une valeur de 0.005883 et la visibilité (visibility_group) avec une valeur de 0.000922. On ne remarque pas d'effet plongeur. En effet les valeurs de capture entre les trois plongeurs ne sont pas significativement différentes. La p-value est supérieure à 0.05.

Nous prendrons donc en compte dans notre modélisation seulement les deux variables explicatives, à savoir la visibilité et la densité d'holothuries.

Nous avons d'abord vérifié que durant l'expérimentation toutes les valeurs de densité ont été testées

sur les trois groupes de visibilité (figure 7). Aucune tendance n'est observée.

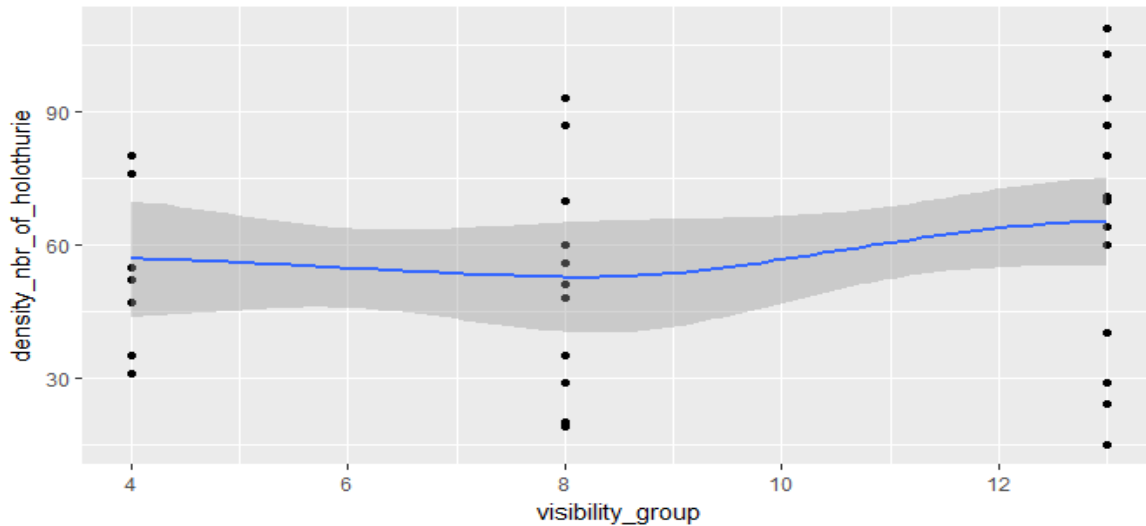


Figure 7 Variation de la densité expérimentale d'holothuries en fonction de la catégorie de visibilité.

Afin d'estimer l'effet de la visibilité sur les captures (VEC), une régression linéaire avec contrainte d'une ordonnée à l'origine fixée à 0, est effectuée entre les captures par minute (variable dépendante) et l'indicateur de visibilité (variable explicative).

Les résultats du modèle montre que la relation est positive et significative (Figure 8, $a=0.2379$, $R^2=0.6849$, $p\text{-value}=3.555e-16$). Les conditions de normalité des résidus, l'homoscédasticité et l'indépendance statistique des erreurs sont respectées (figure 9).

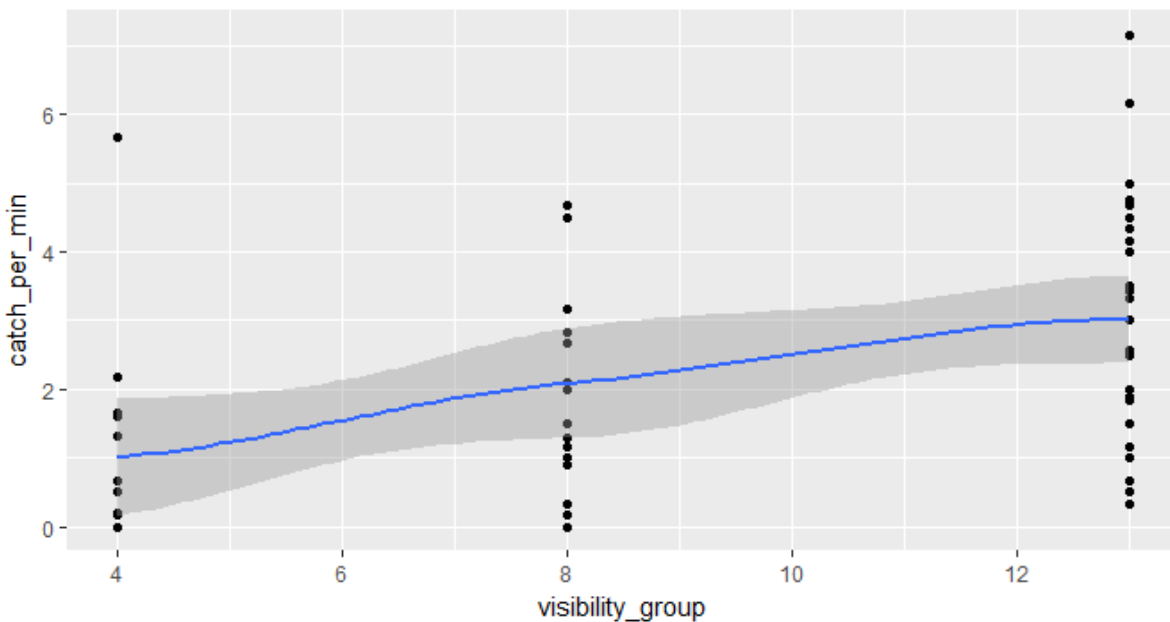


Figure 8 : q plot des groupes de visibilité en fonction des captures par minutes.

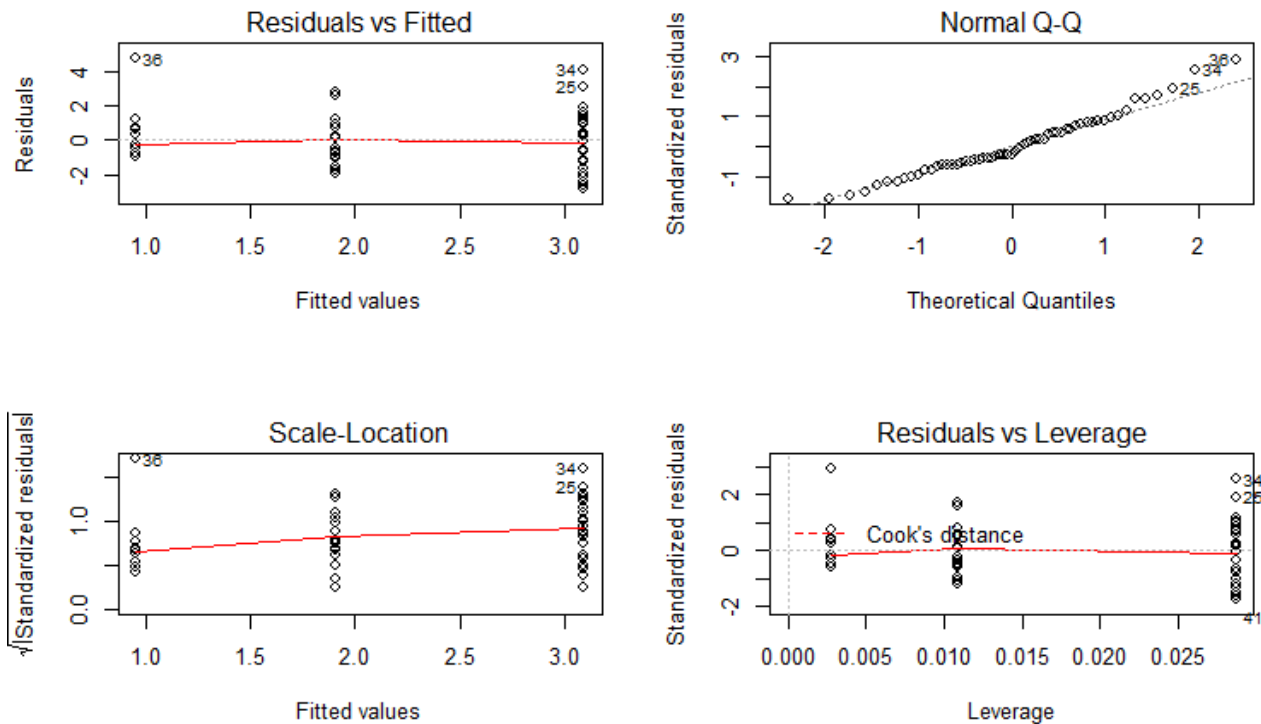


Figure 9 : Validation du modèle par l'analyse des résidus.

Afin de corriger cet effet de la visibilité sur les captures, la variable EVC (Visibility Effect on Catch) est créé. EVC est une variable modélisant l'effet des de mauvaise visibilité sur les capture. La référence d'une « bonne » visibilité étant le maximum mesuré durant l'expérimentation, soit 13 mètres.

Une régression linéaire est alors effectuée entre les CPUE et les valeurs redressées de visibilité. Cette colonne VAC (Visibility Adjusted Catch) est obtenue en ajoutant aux valeurs de captures par minute, l'effet de la visibilité sur les captures(VEC).

La figure 10 est un graphe des CPUE brute en fonction des CPUE ajusté par le model. Cette représentation montre bien les trois groupes de visibilité qui ont permis d'ajuster les CPUE. En effet trois droites parallèles sont visibles.

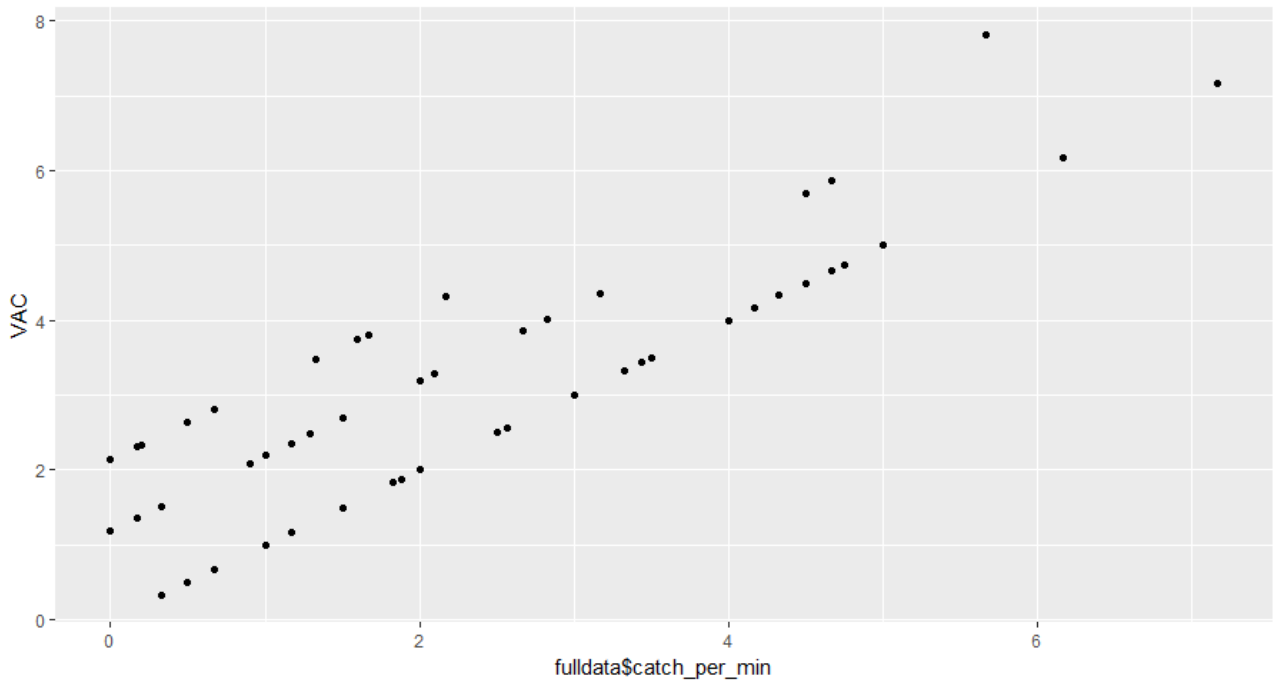


Figure 10 : Graphique des CPUE brute en fonction des CPUE ajouté par le modelé.

La régression linéaire ajustée avec contrainte de l'ordonnée à l'origine égale à zéro, correspondante au modèle prédictif entre la densité et les captures standardisées (suppression de l'effet visibilité) ainsi établie donne les résultats suivants : $lm= 0.04781$ et $R^2= 0.7718$. Ce modèle est donc bien explicatif avec une valeur de R^2 élevée.

La représentation graphique finale entre capture et densité est présentée par la figure 11.

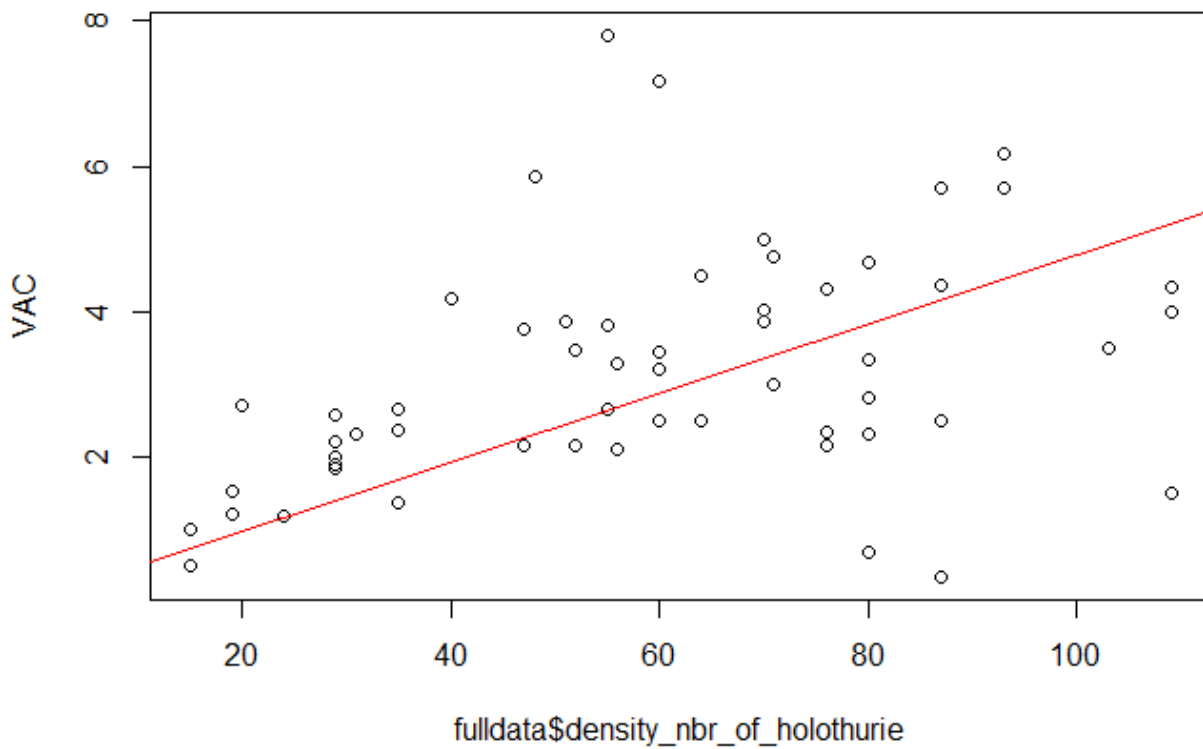


Figure 11 : CPUE corrigées par l'effet de la visibilité en fonction de la densité d'holothuries.

Les diagrammes des résidus montrent que les conditions de normalité des résidus, l'homoscédasticité et l'indépendance statistique des erreurs sont respectées. (figure 12)

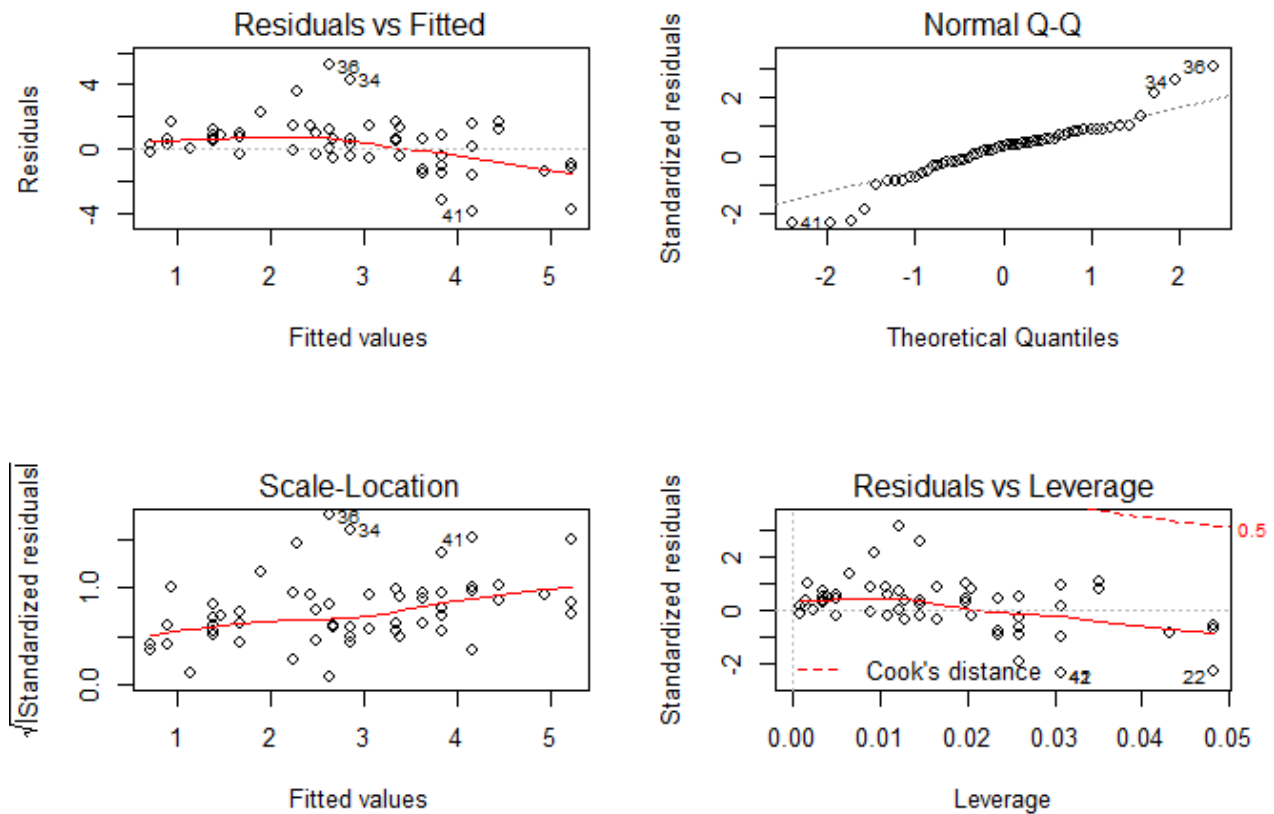


Figure 12 : Validation du modèle par l'analyse des résidus.

Ce modèle empirique permet donc de relier l'abondance des holothuries initialement présent sur site (correspondant à la densité d'holothuries) aux CPUE en se rapprochant des conditions de visibilité maximale à savoir 13 mètres dans notre cas. Ces conditions permettent de se rapprocher des conditions de pêche commerciale observé durent les périodes de pêche autorisé.

4 Discussion

4.1 Aspect technique du protocole

Le protocole expérimental initialement prévu a été modifié en quelques points au vue des premières observations et des premiers résultats sur le terrain.

Les enclos ouverts sur le dessus et le dessous, permettant aux holothuries de se nourrir ne seront finalement pas utilisés durant l'expérimentation.

En effet les holothuries n'ont pas été placées systématiquement dans les cages durant la nuit. Elles étaient laissées sur le site. Les holothuries pouvaient donc se nourrir. Ne se déplaçant que très peu, cela n'a pas posé de problèmes. Cela permet également de limiter les manipulations inutiles qui stressent les individus. Lorsque celles-ci sont trop manipulées, elles se durcissent et se gonflent d'eau jusqu'à devenir une sphère comme il est possible de le voir sur la figure 13.

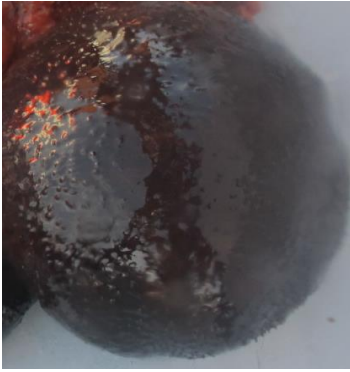


Figure 13: *Holothurie stressée gorgée d'eau.*

Quelques remarques sur les résultats obtenus avec ce protocole expérimental :

Les trajectoires enregistrées par le traceur GPS montrent que celui-ci a connu des dysfonctionnements. Certains enregistrements n'ont pas retranscrit les déplacements, mais seulement un point. Dans d'autres cas, le pêcheur a perdu la bouée en cours de plongée. Ces données ne sont donc pas exploitables. La précision des données GPS est à 3 m près, à cela doit s'ajouter l'incertitude due au fait que la corde qui permet de relier le dévidoir du plongeur à la bouée a une longueur de 30 mètres alors que la profondeur de la zone expérimentale est comprise entre 18 et 22 mètres selon les marées. Selon la marée et l'orientation du courant la bouée n'est pas positionnée exactement à la verticale du pêcheur. Il se peut donc que certains enregistrements GPS soient légèrement en dehors du site sans pour autant que le pêcheur soit sorti.

À noter également que le même phénomène est observé pour les bouées identifiant les quatre angles A, B, C et D du site. Les orins plus longs que la profondeur se déplacent en fonction des courants.

Du fait des conditions de mer qui ont parfois été plus difficiles avec plus de vent et plus de houle, la dispersion des holothuries sur le square a été difficile. En effet Inforcement II se déporte rapidement avec le vent et le courant. Les holothuries sont lâchées depuis la surface, le temps qu'il leur faut pour traverser la colonne d'eau de 20m peut être suffisant pour les entraîner en dehors du site. Une fois au sol, il est possible qu'en cas de fort courant, les holothuries se déplacent de quelques mètres avant de se fixer au substrat. Depuis Inforcement il est difficile d'évaluer la force du courant et donc d'anticiper la position de la chute des holothuries. Il est donc possible que certaines holothuries se soient trouvées en dehors du site. Des plongées de vérification ont été effectuées avec les plongeurs de la SFA et les pêcheurs pour récolter toutes les holothuries se trouvant en dehors du site pour les remettre à l'intérieur. Généralement les holothuries se trouvaient sur les bordures à une distance inférieure à 10 m de la ligne délimitant le site d'expérimentation. Après avoir laissé 30 holothuries sur site durant la nuit et libéré 57 holothuries le lendemain matin, une plongée a permis de replacer 76 holothuries sur les 87 dans les limites du site car elles étaient en dehors.

Au bout des deux semaines d'expérimentation, les cordes délimitant le site en profondeur ont été recouvertes de sable. Il était donc difficile pour les plongeurs et pêcheurs de se repérer une fois dedans. Les fils avaient été préalablement peints en blanc, couleur qui ne ressortait pas du tout sur le sable beige. Les lignes de délimitations pourront être peintes plutôt en noir avec des marquages de bandes adhésives plus fréquents. Tous les 3 mètres par exemple car la visibilité pouvait diminuer jusqu'à cette valeur. Des flotteurs à intervalle régulier pour éviter que la corde ne s'ensable durant les manipulations.

4.2 Les limites de l'expérimentation

Un paramètre à prendre en compte pour la mise en perspective des résultats obtenus, est le fait que les conditions de mer n'étaient, au dire des pêcheurs, pas les mêmes que celles qu'ils ont

normalement pour pêcher. Les visibilitées étaient mauvaises, la température de l'eau plus faible, ce qui pouvait être une source de démotivation pour les pêcheurs après 3 plongées dans la journée. La variable « motivation » ou « fatigue » des pêcheurs est une variable difficile à évaluer qui n'a pas été prise en compte mais qui pourrait être quantifiée pour une expérimentation future, car les captures peuvent en être influencées.

Les conditions expérimentales dans lesquelles les pêcheurs ont travaillé ne sont pas exactement les conditions dans lesquelles ils ont l'habitude de pêcher. La faible profondeur, 20m dans notre cas alors qu'ils plongent jusque à 50m. Le fait de rester dans un site de 1 hectare alors qu'ils évoluent dans un espace ouvert à l'infini. Le faible temps de pêche effectif a pallié cette contrainte. En 6 minutes les pêcheurs n'avaient pas le temps de parcourir le site en entier mais seulement une partie. Ce temps de pêche effectif n'est pas représentatif du temps de pêche qu'ils effectuent, il est plutôt de 25-30 minutes. Nous supposons donc que les captures sont les mêmes pour les 6 premières minutes de pêche et pour le reste du temps. On pourrait étudier l'évolution des captures en fonction du temps, pour évaluer le type de relations qui lie ces deux paramètres.

L'aspect qualitatif des captures n'a pas été étudié lors de cette expérimentation. Les pêcheurs semblent faire une sélection sur les espèces qu'ils capturent. Lorsque les densités sont élevées les prises préférentielles peuvent concerner les espèces les plus lucratives comme les pentards au détriment des autres. Une pêche sélective pourrait être envisagée dans les techniques de pêche. Ce genre de phénomène influencerait alors la relation entre capture et densité.

4.3 La modélisation

La modélisation ne prend pas en compte toutes les variables enregistrées lors de l'expérimentation comme le courant par exemple. Le modèle pourrait être affiné grâce à la prise en compte d'autres variables. La modélisation pourrait prendre en compte l'analyse des profils de plongées et des trajectoires GPS. Pour les trajectoires GPS il faut garder en mémoire que les trajectoires des pêcheurs dans le site peuvent être différentes de celle observées dans la réalité due aux contraintes expérimentales de l'espace.

5 Conclusion

Cette expérimentation a permis de faire émerger un modèle empirique entre la CPUE (nombre d'holothurie capturées/minute du temps effectif de pêche) à l'abondance des holothuries sur un site de pêche. Cette relation appliquée aux relevés des résultats de pêches de la SFA permettra de donner une idée de l'abondance du stock d'holothuries avant que la pêche ne soit effectuée. Les résultats doivent tout de même être mis en perspectives, les valeurs expérimentales sur lesquelles se base la modélisation sont les plus représentatives possible de la réalité mais comme dans toute expérience il existe une différence. Ce travail n'est qu'une partie de l'action SEACUSEY, la prochaine étape sera la mise en place de l'application smartphone pour le suivie de la pêche et du stock d'holothuries.

6 Annexe

code: 0 la plongée ne doit pas être prise en compte, 1 la plongée peut être étudiée, 3 les points GPS n'ont pas bien été enregistrés.

Annexe 1 : Fulldata

id	date	density_nbr _of_holothe urie	sfa_diver_n um	sfa_diver	fisherman_ num	fisherman	time_in	time_out	total_time	time	capteur_nu mber	catch _nbr_of_hol othurie
1	09/07/2017	56		1 sephanie	1 didier		09:03:00	09:23:00	00:20:00		20	12
2	09/07/2017	56		2 rodney	2 jeff		10:34:00	10:44:00	00:10:00		10	12
3	09/07/2017	47			3 Dada							11
4	09/07/2017	47		1 sephanie	1 didier		14:11:00	14:15:00	00:04:00		4	12
5	09/07/2017	47		2 rodney	2 jeff		14:52:00	15:02:00	00:10:00		10	12
6	09/07/2017	31		1 sephanie	3 Dada		15:37:00	15:43:00	00:06:00		6	12
7	10/07/2017	94		2 rodney	2 jeff		09:26:00	09:32:00	00:06:00		6	12
8	10/07/2017	70			1 didier		10:23:00	10:29:00	00:06:00		6	12
9	10/07/2017	40		2 rodney	3 Dada		10:52:00	10:58:00	00:06:00		6	12
10	10/07/2017	60			3 Dada		13:56:00	14:03:00	00:07:00		7	12
11	10/07/2017	51		2 rodney	2 jeff		14:34:00	14:40:00	00:06:00		6	12
12	10/07/2017	35			1 didier		15:01:00	15:07:00	00:06:00		6	12
13	11/07/2017	60			2 jeff		09:11:00	09:20:00	00:09:00		9	12
14	11/07/2017	29			3 Dada		09:37:00	09:43:00	00:06:00		6	12
15	11/07/2017	29		2 rodney	1 didier		10:16:00	10:23:00	00:07:00		7	12
16	11/07/2017	29			2 jeff		10:50:00	10:58:00	00:08:00		8	12
17	11/07/2017	29			3 Dada		11:11:00	11:17:00	00:06:00		6	12
18	11/07/2017	29			1 didier		13:58:00	14:04:00	00:06:00		6	12
19	11/07/2017	19		2 rodney	3 Dada		14:31:00	14:38:00	00:07:00		7	12
20	11/07/2017	19			2 jeff		14:58:00	15:04:00	00:06:00		6	12
21	11/07/2017	19			1 didier		15:28:00	15:35:00	00:07:00		7	12
22	12/07/2017	109		2 rodney	3 Dada		09:05:00	09:11:00	00:06:00		6	12
23	12/07/2017	109			1 didier		09:57:00	10:03:00	00:06:00		6	12
24	12/07/2017	109		3 christophe	2 jeff		10:39:00	10:45:00	00:06:00		6	12
25	12/07/2017	93		2 rodney	3 Dada		11:30:00	11:36:00	00:06:00		6	12
26	12/07/2017	93		3 christophe	1 didier		13:25:00	13:31:00	00:06:00		6	12
27	12/07/2017	87		2 rodney	2 jeff		14:04:00	14:10:00	00:06:00		6	12
28	12/07/2017	60			3 Dada		14:37:00	14:43:00	00:06:00		6	12
29	12/07/2017	48		3 christophe	1 didier		15:22:00	15:28:00	00:06:00		6	12
30	12/07/2017	20			2 jeff		16:15:00	16:21:00	00:06:00		6	12
31	13/07/2017	64		2 rodney	1 didier		09:43:00	09:49:00	00:06:00		6	12
32	13/07/2017	64			2 jeff		10:13:00	10:19:00	00:06:00		6	12
33	13/07/2017	64			3 Dada		10:38:00	10:44:00	00:06:00		6	12
34	13/07/2017	60			1 didier		11:10:00	11:16:00	00:06:00		6	12
35	13/07/2017	55		3 christophe	3 Dada		13:32:00	13:38:00	00:06:00		6	12
36	13/07/2017	55		2 rodney	2 jeff		14:00:00	14:06:00	00:06:00		6	12
37	13/07/2017	55			1 didier		14:43:00	14:49:00	00:06:00		6	12
38	13/07/2017	52			3 Dada		15:29:00	15:37:00	00:08:00		8	12
39	13/07/2017	52		3 christophe	1 didier		15:58:00	16:04:00	00:06:00		6	12
40	14/07/2017	103		2 rodney	3 Dada		07:57:00	08:03:00	00:06:00		6	12
41	14/07/2017	87		3 christophe	1 didier		08:39:00	08:45:00	00:06:00		6	12
42	14/07/2017	87			3 Dada		09:11:00	09:17:00	00:06:00		6	12
43	14/07/2017	80			2 jeff		09:47:00	09:53:00	00:06:00		6	12
44	14/07/2017	80			1 didier		10:28:00	10:34:00	00:06:00		6	12
45	14/07/2017	80		3 christophe	3 Dada		13:23:00	13:29:00	00:06:00		6	12
46	14/07/2017	76		2 rodney	2 jeff		13:57:00	14:03:00	00:06:00		6	12
47	14/07/2017	76			1 didier		14:33:00	14:41:00	00:08:00		8	12
48	14/07/2017	76		3 christophe	3 Dada		15:17:00	15:22:00	00:05:00		5	12
49	15/07/2017	70			2 jeff		08:12:00	08:18:00	00:06:00		6	12
50	15/07/2017	70		3 christophe	3 Dada		08:49:00	08:55:00	00:06:00		6	12
51	15/07/2017	75		2 rodney	1 didier		09:35:00	09:41:00	00:06:00		6	12
52	15/07/2017	35			3 Dada		10:57:00	11:03:00	00:06:00		6	12
53	15/07/2017	35			1 didier		11:34:00	11:40:00	00:06:00		6	12
54	15/07/2017	35			2 jeff		12:11:00	12:17:00	00:06:00		6	12
55	15/07/2017	30		3 christophe	1 didier		12:45:00	12:51:00	00:06:00		6	12
56	16/07/2017	87		2,3 christophe/r	2,3 jeff/dada						12	76 remontés
57	16/07/2017	87			1 didier						12	0
58	16/07/2017	87			3 Dada		10:20:00	10:26:00	00:06:00		6	12
59	16/07/2017	87			2 jeff						12	0
60	16/07/2017	87		3 christophe	1 didier						12	0
61	16/07/2017	87		2 rodney	2 jeff		14:02:00	14:08:00	00:06:00		6	12
62	16/07/2017	87			1 didier		14:36:00	14:42:00	00:06:00		6	12
63	16/07/2017	80		3 christophe	3 Dada		15:13:00	15:19:00	00:06:00		6	12
64	16/07/2017	80			2 jeff		15:55:00	16:01:00	00:06:00		6	12
65	16/07/2017	80			1 didier		16:23:00	16:29:00	00:06:00		6	12
66	17/07/2017	71			1 didier		07:56:00	08:00:00	00:04:00		4	12
67	17/07/2017	71			3 Dada		08:24:00	08:30:00	00:06:00		6	12
68	17/07/2017	40			2 jeff		08:42:00	08:48:00	00:06:00		6	12
69	17/07/2017	40			1 didier		10:11:00	10:17:00	00:06:00		6	12
70	17/07/2017	24			3 Dada		10:40:00	10:46:00	00:06:00		6	12
71	17/07/2017	24			2 jeff		11:15:00	11:21:00	00:06:00		6	12
72	17/07/2017	24			1 didier		12:36:00	12:42:00	00:06:00		6	12
73	17/07/2017	15			3 Dada		13:12:00	13:16:00	00:04:00		4	12
74	17/07/2017	15			2 jeff		13:42:00	13:48:00	00:06:00		6	12
75	17/07/2017	15			1 didier						12	4

catch_per_min	validation	current_son	current_ori	current_ori	visibility_m	visibility_gr	visi_donne	visi_donne	ajusted_visi	swell_m	swell_deg	wind_stron	wind
		gt	entation_b	entation_su	visibility_m	oup	by_num	by				g	orientation
			otom	rface									_deg
2,1	1	0,43	60	60	9	8	1	stephanie	6				
0,9	1	0,43	60	60	9	8	1	stephanie	6				
	0	0,43	60	60	9	8	1	stephanie	6				
0	1	0,42	330	330	9	4	1	stephanie	3				
1,6	3	0,42	330	330	9	4	1	stephanie	3				
0,17	1	0,42	330	330	9	4	1	stephanie	3				
4	0	0,4	90	90	13	13	2	rodney	13	1,2	150	10	170
5	1	0,4	90	90	13	13	2	rodney	13	1,2	150	10	170
4,17	1	0,4	90	90	13	13	2	rodney	13	1,2	150	10	170
1,29	1	0,5	340	340	6	8	2	rodney	6	1,2	150	10	170
2,67	1	0,5	340	340	6	8	2	rodney	6	1,2	150	10	170
0,17	1	0,5	340	340	6	8	2	rodney	6	1,2	150	10	170
3,44	1	0,17	330	330	13	13	2	rodney	13	1,2	150	10	170
2	1	0,17	330	330	13	13	2	rodney	13	1,2	150	10	170
2,57	1	0,17	330	330	13	13	2	rodney	13	1,2	150	10	170
1,88	1	0,17	330	330	13	13	2	rodney	13	1,2	150	10	170
1,83	1	0,17	330	330	13	13	2	rodney	13	1,2	150	10	170
1	1	0,35	330	330	6	8	2	rodney	6	1,1	160	11	170
0,14	0	0,35	330	330	6	8	2	rodney	6	1,1	160	11	170
0,33	1	0,35	330	330	6	8	2	rodney	6	1,1	160	11	170
0	1	0,35	330	330	6	8	2	rodney	6	1,1	160	11	170
1,5	1	0,4	287	287	13	13	2	rodney	13	1,1	160	11	190
4	1	0,4	287	287	13	13	2	rodney	13	1,1	160	11	190
4,33	1	0,4	287	287	13	13	2	rodney	13	1	170	12	200
6,17	1	0,4	287	287	13	13	2	rodney	13	1	170	12	200
4,5	1	0,5	90	90	7	8	2	rodney	7	1,1	170	13	190
4,5	1	0,5	90	90	7	8	2	rodney	7	1,1	170	13	190
2	1	0,5	90	90	7	8	2	rodney	7	1,1	170	13	190
4,67	1	0,5	90	90	7	8	2	rodney	7	1,1	170	13	190
1,5	1	0,5	90	90	7	8	2	rodney	7	1,1	170	13	190
4,5	1	0,4	90	90	13	13	2	rodney	13	1,1	170	13	170
2,5	1	0,4	90	90	13	13	2	rodney	13	1,1	170	13	170
4,5	1	0,4	90	90	13	13	2	rodney	13	1,1	170	13	170
7,17	1	0,4	90	90	13	13	2	rodney	13	1,1	170	13	170
1,67	1	0,4	175	175	3	4	3	christophe	3,5	1	150	12	180
5,67	1	0,4	175	175	3	4	3	christophe	3,5	1	150	12	180
0,5	1	0,4	175	175	3	4	3	christophe	3,5	1	150	12	180
0	1	0,4	175	175	3	4	3	christophe	3,5	1	150	12	180
1,33	1	0,4	175	175	3	4	3	christophe	3,5	1	150	12	180
3,5	1	0,4	90	90	12	13	2	rodney	12	1	150	8	180
0,33	1	0,4	90	90	12	13	2	rodney	12	1	150	8	180
0,33	1	0,4	90	90	12	13	2	rodney	12	1	150	8	180
3,33	1	0,4	90	90	12	13	2	rodney	12	1	150	8	180
0,17	1	0,4	90	90	12	4	2	rodney	3	1	150	8	180
0,67	1	0,2	175	175	3	4	2	rodney	3	0,9	140	7	190
2,17	1	0,2	175	175	3	4	2	rodney	3	0,9	140	7	190
0	1	0,2	175	175	3	4	2	rodney	3	0,9	140	7	200
0,2	1	0,2	175	175	3	4	2	rodney	3	0,9	140	7	200
2,83	1	0,4	300	300	8	8	2	rodney	8	1	150	10	170
2,67	1	0,4	300	300	8	8	2	rodney	8	1	150	10	170
1,67	0	0,4	300	300	8	8	2	rodney	8	1	150	10	170
1,17	1	0,4	300	300	8	8	2	rodney	8	1	150	10	170
0,5	1	0,4	120	120	4	4	3	christophe	4,7	1	150	5	170
0,5	1	0,4	120	120	4	4	3	christophe	4,7	1	150	5	170
0	0	0,4	120	120	4	4	3	christophe	4,7	1	150	5	170
sur les cotés	0		120	120	8	8	3	christophe	9,4	1	150	5	170
	0	0,5	175	90	8	8	3	christophe	9,4	1	150	5	170
3,17	1	0,5	175	90	8	8	3	christophe	9,4	1	150	5	170
	0	0,5	175	90	8	8	3	christophe	9,4	1	150	5	170
	0	0,5	175	90	13	13	2,3	rodney/chris	13	1	150	5	170
2,5	1	0,4	90	90	13	13	2,3	rodney/chris	13	1	150	5	170
0	0	0,4	90	90	13	13	2,3	rodney/chris	13	1	150	5	170
4,67	1	0,4	90	90	13	13	2,3	rodney/chris	13	1	150	5	170
0,67	1	0,4	90	90	13	13	2,3	rodney/chris	13	1	150	5	170
1,5	0	0,4	90	90	13	13	2,3	rodney/chris	13	1	150	5	170
4,75	1	0,4	330	330	12	13	2	rodney	12	1,1	160	10	200
3	1	0,4	330	330	12	13	2	rodney	12	1,1	160	10	200
0,67	0	0,4	330	330	12	13	2	rodney	12	1,1	160	10	200
3,5	0	0,4	330	330	12	13	2	rodney	12	1,1	160	10	200
0,17	0	0,4	330	330	12	13	2	rodney	12	1,1	160	10	200
0,17	0	0,4	330	330	12	13	2	rodney	12	1,1	160	10	200
1,17	3	0,4	330	330	12	13	2	rodney	12	1,1	160	10	200
0,5	3	0,4	330	330	12	13	2	rodney	12	1,1	160	10	200
1	3	0,4	330	330	12	13	2	rodney	12	1,1	160	10	200
	0	0,4	330	330	12	13	2	rodney	12	1,1	160	10	200

Annexe 2 : Fiche d'identification plongeurs.

Dada: Antoine

Age: 49 years, was born in 1968.

Location: Mahé.

Study: stop studding after the secondary school.

Professional Experience: Start diving for sea cucumbers in 1988 at 20 years hold. He is fishing for 29 years. Before that he was working as Dive Master during 6 years around Seychelles: Desroches, Alphonce, La Digue... He gets a problem with his boss and he was looking for a new job. He contacted Jeff Pool which was already working in the sea cucumbers fisheries. Jeff introduce him on the world for that fish, he learns how to fish in 2-3 weeks. After that he never miss even one fishing period of time. Just one last year, he stops for 8 months to release all the azote which was on his body.

Participation to the experiment: Because after the end of the fishing period he was free, he is interested in what will append to the sea cucumber fishery because he sows it is going to be harder and harder with the time.

Remark: When he start diving, there were only 10 boats witch were fishing sea cucumbers on diving. The price for one sea cucumber was around 40R. There were diving at 18-21m during 15 days for 3 000 holothuries. But now it is 100R for one sea cucumber, they have to dive at 40m for 22 days to bring back 2 000 holothuries. They have to go deeper and far from the Mahé plateau. For the moment they do not go farther them 70-80 mills form Mahé for fishing because it is to expensive for them. He thinks there are place where may be there are steel a lot of sea cucumber because nobody been there yet.

Stock problem: To close the fishery is not a good solution because many people depend on it to live. But to close it during a longer time, for example in June because the sea conditions are already bad.

Didier

Age: 26 years old, was born in 1991.

Location: Mahé/La Digue.

Study: secondary school and 2 years in the fishing school at providence. He learns diving with them, he pass his open water and advanced. He gets his certificate and he start working.

Professional Experience: His father is a local fisherman on palangrillier. He was helping and working with him during one time but he switches on diving for sea cucumber because it was more lucrative in 2010. So, he is fishing sea cucumbers since 7 years. He learns how to fish in 20-22 days. The most important think he learns is: how to do the decompression stop. It was painful at the beginning, he gets beans on the shoulders many times. But all the commercial divers get it on his opinion. If not, they are lying.

Participation to the experiment: Terry was working with him before, he proposes him to come. Didier was available so he came on.

Remark: they are fishing the same species: cococier blanc and noir, ananas, pentar et spok. Since he starts fishing he did not see a big difference on the catch. Just some years are better them others. For example, in 2011-2012 was good and 2017 was good also. A good fish is around 4 000 and a bad one is 2 000 for him.

Stock problem: Close the fishery is not a solution because fisherman will have problems. It could be good if SFA regulate every year the period of time of the fishery with the result of the catch they are collecting.

Future: He would like to continue fishing if the price steel stay height and if there are sea cucumbers around.

Le parcours de Jeff n'a pu être complété.

Annexe 3 : Scirpe R de modélisation

```
##### Modélisation #####
```

```
library(ggplot2)
```

```
#extarction des données
```

```
fulldata1<-read.table("C:/Users/julie caquelard/Documents/Holothuries/data  
expé/matrix.csv",sep=";",dec=" ",header=TRUE)
```

```
#selection des lignes corespondant aux plongée utilisble, c'st a dire donc les valeurs sont differente  
de 0.
```

```
fulldata<-
```

```
subset(fulldata1,validation>0,select=c(density_nbr_of_holothurie,visibility_group,catch_per_min,fi  
sherman))
```

```
fulldata
```

```
summary(fulldata)
```

```
str(fulldata)
```

```
# significativité des différentes varriables
```

```
fulldata <- within(fulldata, fisherman <- relevel(fisherman, ref = "jeff ")) # "jeffe" est mis en  
référence
```

```
lmt<-lm( catch_per_min ~ density_nbr_of_holothurie + visibility_group + fisherman, data =  
fulldata)
```

```
summary(lmt)
```

```
#Verification de la couverture homogene
```

```
qplot(visibility_group, density_nbr_of_holothurie, data=fulldata, geom=c("point", "smooth"))
```

```
###couverture homogene des densites sur chaque valeur de visibilite, echantillionage balancer, il n'y  
a pas de tendanc
```

```
#Regression lineaire
```

```
qplot(visibility_group,catch_per_min,data=fulldata,geom=c("point", "smooth"))
```

```
lm1<-lm(catch_per_min~1+visibility_group,data=fulldata)
```

```
lm1
```

```
#lm1=0.2379
```

```
par(mfrow=c(2,2))
```

```
plot(lm1)
```

```
summary(lm1)
```

```
#R=0.6849 La variable visibilité explique à 68% les valeurs de capture par minute.
```

```
#ajoute une collone : visi effect on catch=EVC
```

```
X<-13
```

```
VisiCoef<-X-fulldata$visibility_group
```

```
is.numeric(VisiCoef)
```

```
EVC<-(VisiCoef*0.2379)
```

```
#ajustement des catch en fonction du facteur visibilite : Visi Ajusted Catch = VAC
```

```
VAC<-(fulldata$catch_per_min+EVC)
```

```
qplot(fulldata$catch_per_min, VAC, data=fulldata,geom=c("point"))
```

```
qplot(visibility_group,VAC,data=fulldata,geom=c("point", "smooth"))

#modelle :adjusted catch/density :
lm2<-lm(VAC~-1+density_nbr_of_holothurie,data=fulldata)
lm2
#lm2=0.04781
summary(lm2)
#R=0.7718
par(mfrow=c(2,2))
plot(lm2)

par(mfrow=c(1,1))
plot(fulldata$density_nbr_of_holothurie,VAC,data=fulldata)
abline(lm2,col="red")
```