

**Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention du Diplôme de
Master en Sciences Marines et Halieutiques**

Parcours : Gestion durable de la pêche et de l'aquaculture



*Evaluation de la pertinence d'indicateurs
halieutiques de l'état des ressources de poissons
récifaux dans la baie de Ranobe, Sud-Ouest de
Madagascar*

Présenté par : MBONY Andrinirina Jovial

Soutenu publiquement le : 20 Avril 2022

Devant le jury composé de : Dr. RAZANOELISOA Jacqueline (**Rapporteur**)

Dr. LÉOPOLD Marc (**Rapporteur, IRD-UMR Entropie**)

Dr. RAKOTONIRINA Berthin Pierre (**Président**)

Pr. LAVITRA Thierry (**Examineur**)

Dr. Henintsoa Jaonalison (**Examineur**)

REMERCIEMENTS

Pour parvenir à la réalisation de ce manuscrit, l'aide inestimable de nombreuses personnes m'a été très chère. C'est sous cet angle que je tiens à exprimer mes sincères reconnaissances à :

- Dr. MAHAFINA Jamal Angelot, directeur de l'IH.SM et Dr. RANIVOARIVelo Lantoasinoro, Responsable de mention qui œuvrent au bon fonctionnement de l'institut.
- Dr. RAZANOELISOA Jacqueline, enseignant chercheur de l'IH.SM, qui a accepté de m'encadrer malgré ses lourdes occupations. Vos corrections pertinentes sont potentiellement indispensables pour l'amélioration de ce travail que ce soit sur le fond ou sur la forme.
- Tous les enseignants de l'IH.SM pour la qualité de la formation dont j'ai bénéficié durant mes cursus Universitaire.

J'adresse tout particulièrement mes vifs remerciements à Dr. LEOPOLD Marc, mon Maitre de stage qui m'a encadré pendant toute la durée de ce stage. Je lui prie de recevoir ici le témoignage de ma respectueuse gratitude pour sa disponibilité et son investissement dans mon travail malgré les contraintes géographiques ainsi que ces précieux conseils et remarques pour la correction de mon manuscrit.

Je tiens également à exprimer mes sincères remerciements à :

RANAIVOMANANA Sandra et RANDRIATSARA Roddy, pour m'avoir accompagné sur le terrain, pour m'avoir introduit auprès des pêcheurs et pour leur appui à chaque étape dans la réalisation de ce mémoire. Merci pour votre sympathie.

A toute l'équipe du LMI (Laboratoire Mixte International) avec laquelle une simulation intellectuelle a pu être partagée.

C'est avec beaucoup d'émotion que j'exprime ma sympathie à tous les pêcheurs de la baie de Ranobe que j'ai eu l'occasion de rencontrer à terre ou en mer. Un grand merci en particulier aux assistants locaux, qui m'ont accueillie chaleureusement et qui m'ont hébergé durant la réalisation de l'étude sur terrain.

Enfin, mes éternelles reconnaissances que des mots ne peuvent les exprimer, sont destinés aux membres de ma famille, particulièrement à ma mère pour le soutien et le réconfort qui m'ont donné les forces et les courages d'affronter les difficultés.

A vous tous, Merci

Jovial !

RESUME

La petite pêche est une activité socio-économique majeure de la population littorale de la baie de Ranobe. Elle subit des pressions d'origines diverses, mettant en danger le moyen d'existence des pêcheurs qui en dépend. Face à cette situation, cette étude a été menée dans dix villages de pêcheurs de la baie pour évaluer des indicateurs halieutiques (effort de pêche et capture par unité d'effort) à partir des suivis participatifs des débarquements réalisés depuis décembre 2019 jusqu'en Août 2021 et des recensements effectués auprès des pêcheurs. Cinq types d'engins différents ont été considérés : (i) le filet maillant, (ii) le fusil, (iii) la ligne à main, (iv) le chalut à moustiquaire, et (v) la senne de plage.

Les résultats obtenus ont montré que 1152 pêcheurs au poissons récifaux ont été dénombrés sur l'étendue de la baie dont 38% étaient des pêcheurs au filet maillant, 27,1% des pêcheurs à la ligne et 23,8% au Fusil. L'effort de pêche total enregistré était de 244 820 sorties au cours de l'année 2020, seule année complète des périodes étudiées. Les CPUE ont été normalisées par la technique de modélisation linéaire mixte généralisée (GLMM) pour éliminer la variabilité expliquée par la technique de pêche. Elles variaient de $2,7 \pm 0,1$ kg à $10,2 \pm 0,6$ kg/sortie entre les engins étudiés. Les séries normalisées qui en résultent ont indiqué que tous les facteurs considérés présentaient des effets très significatifs sur les CPUE standard. La production totale estimée sur toute la période était de 1580 tonnes soit 81 kg/pêcheur/mois. Les indices obtenus dans le cadre de cette étude ont permis de donner des indications sur l'état des ressources halieutiques dans la zone.

Mots clés : suivis participatifs, CPUE standard, production, ressources, baie de Ranobe.

ABSTRACT

Small-scale fishing is a major socio-economic activity of the coastal population of Ranobe Bay. It is under pressure from various sources, endangering the livelihood of the fishermen who depend on it. Faced with this situation, this study was conducted in ten fishing villages in the bay to assess fishery indicators (fishing effort and catch per unit of effort) based on participatory monitoring of landings carried out from december 2019 until august 2021 and censuses conducted among fishermen. Five different gears types were considered: (i) gillnet, (ii) spear gun, (iii) handline, (iv) Mosquito travelnet, and (v) beach seine.

The results showed that 1152 reef fishers were counted in the bay area, of which 38% were gillnetters, 27.1% were handliners, and 23.8% fisherman with spear gun. The total fishing effort recorded was 244820 trips in the year 2020, the only full year of the study periods. The CPUEs were standardised using the Generalized Linear Mixed Modelling (GLMM) technique to remove variability explained by fishing technique. They ranged from 2.7 ± 0.1 kg to 10.2 ± 0.6 kg/trip between the surveyed gears. The resulting standardised series indicated that all factors considered had highly significant effects on the standard CPUE. The total estimated production over the whole period was 1580 tonnes or 81 kg/fisher/month. The indices obtained in the framework of this study have made it possible to give indications on the state of the fishery resources in the area.

Key words: participatory monitoring, standard CPUE, production, resources, Ranobe Bay.

FAMINTINANA

Ny jono madinika dia asa ara-tsosialy sy ara-toekarena lehibe ataon'ny mponina amorontsiraka ao amin'ny helodranon'i Ranobe. Iharan'ny tsindry isan-karazany io jono io, ka miantraika amin'ny fiveloman'ireo mpanjono. Manoloana izany toe-javatra izany, dia natao izao fikarohana izao tany amin'ireo tanàna folo manamorona ny helodranon'ny Ranobe. Ny tanjonan'ity asa ity dia ny hanombanana ny mari-pahamantarana mikasika ny jono (ezaka fanjonoana sy vokatrin'ny jono isakin'ny ezaka) avy amin'ny fanaraha-maso andraisan'ny rehetra anjara nanomboka ny volana desambra 2019 ka hatramin'ny aogositra 2021. Natao ihany koa ny fanisana ny mpanjono rehetra izay misehatra amin'io jono io. Karazana fitaovampanjonoana dimy samihafa no voakasik'ity fikarohana ity: (i) harato, (ii) basim-pia, (iii) vinta, (iv) draotsy (v) tarikaky.

Hita tamin'ny vokatra azo fa 1152 ireo mpanjono voaisa manerana ny helodrano, ka ny 38% amin'ireo dia mpanjono mampiasa harato, 27,1% vinta, 23,8% basim-pia. Ny totalin'ny ezaka fanjonoana voarakitra dia 244 820 fivoahana an-dranomasina tamin'ny taona 2020, hany taona feno tamin'ireo vanim-potoana nanaovana ny asa. Ny vokatra isakin'ny ezaka natao dia nampiharana ny modely statistika GLMM. Ny vokatra azo tamin'izany dia teo anelanelan'ny $2,7 \pm 0.1$ kg/fivoahana sy $10,2 \pm 0.6$ kg/fivoahana hoan'ireo fitaovampanjonoana dimy. Ny modely statistika nampiasaina dia manambara fa ny lafin-javatra rehetra nodinina dia naneho fiantraikany lehibe teo amin'ny CPUE. Tombanana ho 1 580 taonina na 81kg/mpanjono/volana ny totalin'ny vokatra tamin'ny ity fikarohana ity. Ny fanondroana azo tao anatin' ity fikarohana ity dia nahafahana nanome famantarana momba ny toetry ny harena anaty ranomasina ao amin'ny helodranon'ny Ranobe.

Teny fototra: Mari-pahamantarana, fanaraha-maso andraisan'ny rehetra anjara, CPUE nampitoviana, Vokatra, Harena, helodranon'ny Ranobe.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	i
RESUME.....	ii
ABSTRACT.....	iii
FAMINTINANA.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
ANNEXES.....	ix
LISTE DES ACRONYMES.....	x
INTRODUCTION.....	1
1. MATERIEL ET METHODES.....	4
1.1. Présentation de la zone d'étude.....	4
1.1.1. Description et caractéristique du site.....	4
1.1.2. Environnement biologique.....	5
1.1.3. Activités économiques de la population.....	5
1.2. Moyens d'exploitation des ressources.....	6
1.2.1. Embarcation.....	6
1.2.2. Description des engins et techniques de pêche.....	6
1.3. Approche méthodologique.....	10
1.3.1. Système de collecte des données.....	10
1.3.1.1. Recensement des pêcheurs et des engins de pêche.....	11
1.3.1.2. Suivi participatif des activités de pêche.....	12
1.3.2. Analyse des données.....	13
1.3.2.1. Estimation de l'effort de pêche.....	13
1.3.2.2. Estimation des captures par unités d'effort (CPUE).....	14
1.3.2.3. Estimation et évolution de la production.....	15
1.3.2.4. Normalisation des CPUE et indice d'abondance.....	15
1.3.2.5. Analyse statistique.....	17

2. RESULTATS	18
2.1. Répartition des pêcheurs par type d'engin.....	18
2.2. Evolution de l'effectif des pêcheurs.....	19
2.3. Distribution de la fréquence en tailles des engins de pêche.....	19
2.4. Estimation de l'effort de pêche	20
2.4.1. Effort total mensuel	20
2.4.2. Evolution spatio-temporelles de l'effort par type d'engin.....	22
2.5. Indice d'abondance des ressources à partir de la CPUE.....	25
2.5.1. Effets des facteurs explicatifs	25
2.5.2. Distribution des résidus	26
2.5.3. Variation des CPUE standardisées	27
2.5.4.1. Variabilité inter engin	28
2.5.4.2. Variation spatio-temporelle des CPUE.....	29
2.6. Estimation de la production	35
2.6.1. Production totale de la baie	35
2.6.2. Contribution par engins	36
3. DISCUSSION	40
3.1. Effort de pêche : choix de l'unité d'effort.....	40
3.2. Analyse de la CPUE comme indice d'abondance des ressources : les facteurs de variabilité	40
3.2.1. Variabilité inter-engins et inter-villages	41
3.2.2. Variabilité temporelle	42
3.3. Suivi participatif : Faisabilité, limite et amélioration de la méthode	44
CONCLUSION.....	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	48
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la zone d'étude, Sud-Ouest de Madagascar	4
Figure 2: Pirogue monoxyle à balancier, typique des pêcheurs Vezo	6
Figure 3: Pêcheurs au filet maillant dans la zone d'étude	7
Figure 4: Pêcheur à la ligne dans la zone d'étude	7
Figure 5: Pêcheur au Fusil dans la zone d'étude	8
Figure 6: Pêcheur à la senne de plage dans la zone d'étude.....	9
Figure 7: Pêcheur au chalut à moustiquaire dans la zone d'étude	9
Figure 8: Schéma récapitulatif de la démarche méthodologique de collecte de données	10
Figure 9: Mensuration des engins de pêche (ici, chalut à moustiquaire)	11
Figure 10: Répartition des pêcheurs de la baie de Ranobe par types d'engins.....	18
Figure 11: Distribution de la fréquence en tailles du filet maillant pour tous villages confondus (trait rouge représente la classe modale : 250 m).	19
Figure 12: Distribution de la fréquence en tailles du chalut et de la senne de plage (trait noir : classe modale du chalut (30 m) ; trait rouge : classe modale de la senne de plage (100 m))... ..	20
Figure 15: Evolution mensuelle de l'effort de pêche de l'engin filet maillant de décembre 2019 à août 2021. Les périodes ombragées représentaient les mois de l'année 2020. Les barres d'erreurs sont les IC à 95%	22
Figure 16: Evolution mensuelle de l'effort de pêche de l'engin ligne à main. Les périodes ombragées représentaient les mois de l'année 2020. Les barres d'erreur sont les IC.	23
Figure 17: Evolution mensuelle de l'effort de pêche de l'engin fusil. Les périodes ombragées représentaient les mois de l'année 2020. Les barres d'erreur sont les IC.	24
Figure 19: Evolution mensuelle de l'effort de pêche de l'engin senne de plage. Les périodes ombragées représentaient les mois de l'année 2020. Les barres d'erreur sont les IC.	25
Figure 20: Sorties de l'analyse de la normalité des résidus du sous modèle des observations de la CPUE : (A) distribution des résidus, (B) droite d'Henry, (C) histogramme des résidus.....	26

Figure 21: Variation mensuelle des CPUE standardisées par type d'engin à l'échelle de la baie de Ranobe. Les zones ombragées dans les tracés intégrés indiquent les intervalles de confiance approximatifs à 95% pour les estimations.	27
Figure 22: Comparaison par boxplot des valeurs des CPUE pour les types d'engins. Les points blancs sont les valeurs moyennes des CPUE. La ligne noire horizontale est la médiane observée.....	28
Figure 24: Variation mensuelle des CPUE corrigées pour le filet maillant. Les barres d'erreur présentées sur chaque figure représentent l'intervalle de confiance à 95%.....	30
Figure 25: Diagramme en boites des CPUE corrigées de l'engin ligne à main. Les barres horizontales présentent les médianes et les points blancs sont les moyennes.....	30
Figure 26: Variation mensuelle des CPUE corrigées de la ligne à main. Les barres d'erreur présentées sur chaque figure représentent l'intervalle de confiance à 95%.....	31
Figure 27: Diagramme en boites des CPUE corrigées du Fusil. Les barres horizontales présentent les médianes et les points blancs sont les moyennes.	32
Figure 28: Variation mensuelle des CPUE corrigées de l'engin Fusil. Les barres d'erreur nous montraient les IC à 95%. Les périodes grisées indiquaient les mois de l'année 2020.	32
Figure 29: Diagramme en boites des CPUE corrigées du Chalut	33
Figure 30: Variation mensuelle des CPUE corrigées du chalut à moustiquaire.	33
Figure 31: Diagramme en boites des CPUE corrigées de la senne plage	34
Figure 32: Variation mensuelle des CPUE corrigées de la senne de plage. Les barres d'erreur nous montraient les IC à 95%. Les périodes grisées indiquaient les mois de l'année 2020. ...	34
Figure 33: Production estimée dans chaque village étudié : (A) variation mensuelle, (B) part de production en pourcentage de chaque village.....	35
Figure 34: Production estimée pour les types d'engins étudiés	36
Figure 35: Production mensuelle estimée pour la pêche au filet maillant des villages échantillonnés. Les barres d'erreur représentaient l'intervalle de confiance à 95%. Les périodes grisées sont les mois de l'année 2020.	36
Figure 36: Production mensuelle estimée pour la pêche à la ligne d'Ambolimailaky, Beravy, Fitsitiky, Ifaty, Madiorano et Tsingoritelo. Les barres d'erreur représentaient l'intervalle de confiance à 95%. Les périodes grisées sont les mois de l'année 2020.	37

Figure 37: Production estimée des pêcheurs au fusil d’Ambolimailaky, Beravy, Fitsitiky, Ifaty, Madiorano et Tsingoritelo. Les barres d'erreur représentaient l'intervalle de confiance à 95%. Les périodes grisées sont les mois de l’année 2020.....	38
Figure 38: Production estimée des pêcheurs au chalut dans les villages de Beravy et de Fitsitiky. Les barres d'erreur représentaient l'intervalle de confiance à 95%. Les périodes grisées sont les mois de l’année 2020.	38
Figure 39: Production estimée des pêcheurs à la senne de plage dans le village d’Ambolimailaky. Les barres d'erreur représentaient l'intervalle de confiance à 95%. Les périodes grisées sont les mois de l’année 2020.....	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Répartition du nombre des pêcheurs suivis dans chaque village	12
Tableau 2: Répartition des pêcheurs en fonction des engins.....	18
Tableau 3:Evolution du nombre des pêcheurs. Source : (a) Laroche, 1992 et (b) Abeare, 2019	19
Tableau 4: Variance expliquée des effets fixes et aléatoires du modèle GLMM appliquée aux données de la CPUE. (***) : Significatifs codes, NS : Non Significatif)	25
Tableau 5: Comparaisons des CPUE par rapport à d'autres études réalisées. Sources : Laroche et Ramananarivo 1995, Mahatante 2017, Davies et al. 2009, Abeare, 2019.	43

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Extrait d’une fiche de suivi participatif
ANNEXE 2 : Extrait d’une fiche de recensement des pêcheurs, inventaires et mensuration des engins de pêche
ANNEXE 3 : Tableau récapitulatif des valeurs des efforts de pêche pour tous engins confondus
ANNEXE 4 : Tableau récapitulatif des valeurs des CPUE
ANNEXE 5 : Tableau récapitulatif des valeurs des CPUE standardisées
ANNEXE 6 : Tableau récapitulatif des statistiques des engins mesurés

ANNEXE 7 : Sorties statistiques des tests de Tukey

ANNEXE 8 : Sorties statistiques du modèle GLMM pour les données des CPUE.

ANNEXE 9 : Script R utilisé pour les jeux des données

LISTE DES ACRONYMES

ANOVA : Analysis of Variance

AR : Ariary

CPUE : Capture par Unité d'Effort

FAO : Food Agriculture and Organization

FIMIARA : Fikambanana Miaro sy Hanasoa ny Ranomasina

GLMM : General Linear Mixed Model

IC : Intervalle de confiance

IH.SM : Institut Halieutique et des Sciences Marines

IOT : Indian Ocean Trepang

mE : Multiplicateur d'Effort

RN9 : Route Nationale N°9

TA : Taux d'Activité

INTRODUCTION

La pêche, avec une production mondiale de 96,4 millions de tonnes de capture en 2018 et en employant plus de 59,51 millions de personnes, est l'un des secteurs primaires porteurs pour l'économie mondiale (FAO, 2020). Elle joue un rôle important dans la prévention et la réduction de la pauvreté et constitue un moyen d'existence durable à une grande partie de la population (Van der Elst *et al.*, 2005). Elle est une activité de subsistance pour de nombreuses populations côtières (Botsford *et al.*, 1997) et est une des réponses à l'insécurité alimentaire d'autant plus qu'elle présente des avantages nutritifs non négligeables (FAO, 2018).

Pour certains pays insulaires, la pêche récifale constitue une source essentielle de protéines et de revenu pour les populations locales (Sadovy, 2005). Les récifs coralliens assurent la majorité des captures de poissons et/ou d'invertébrés de certains pays tropicaux, alors qu'ils ne représentent que 0,17% de la surface des fonds océaniques mondiaux (Jugant, 2012). Cependant, les écosystèmes coralliens sont sévèrement dégradés à l'échelle du globe, les activités humaines étant en partie responsable (Bruggemann *et al.*, 2012; Andrefouet *et al.*, 2013; Sheridan *et al.*, 2014). La pratique de la pêche est entre autres considérée comme une source de pression importante par rapport aux autres facteurs anthropiques (Jackson *et al.*, 2001). Partant de ces constats, une diminution de la richesse spécifique et de l'abondance des poissons se fait de plus en plus sentir dans de nombreuses pêcheries récifales (Cinner et McClanahan, 2006; Mahafina, 2011).

Face à ces effets, il est primordial de mettre en place des stratégies de gestion de l'écosystème corallien pour garantir une durabilité écologique du milieu associée à celle de la pêcherie elle-même. Mais la complexité de cet écosystème rend très difficile l'estimation des impacts anthropiques, complique la collecte des données et par conséquent, la gestion des pêcheries récifales (Clua *et al.*, 2005). Cette situation impose de trouver des moyens capables de synthétiser toutes ces informations. Ainsi, l'organisation des données en indicateurs aide à mieux comprendre l'état et la dynamique des pêcheries (Brenier *et al.*, 2013) et peut par la suite servir comme outil de gestion pour assurer leur durabilité.

Par définition, un indicateur est une variable quantitative ou qualitative obtenue à partir des données de terrain et directement reliée aux objectifs de gestion (Pelletier *et al.*, 2005; Gonson *et al.*, 2011). Il peut mesurer la productivité ainsi que la biomasse et le taux d'exploitation mais aussi tout ce qui se rapporte aux caractéristiques d'un système donné

(Caddy, 2004). Un indicateur est utile pour quantifier les pressions, l'état, les réponses ainsi que les impacts affectant une pêcherie (FAO, 1999). Ces catégories d'indicateurs jouent un rôle légitime dans le suivi, l'évaluation et la compréhension de l'état des écosystèmes, des impacts des activités humaines et de l'efficacité des mesures de gestion des ressources (Rice et Rochet, 2005; Job et Virly, 2009).

A Madagascar, la pêche est l'un des trois principaux secteurs porteurs du développement économique, avec le secteur minier et le tourisme. La petite pêche est une activité économique majeure de la population littorale. Les zones à fort potentiel de développement se situent le long du littoral Ouest et en particulier dans les écosystèmes coralliens (Laroche *et al.*, 1997). La région sud-ouest est caractérisée par la présence d'un complexe récifal long de plus de 400 km, dont les caractéristiques influencent la pêche. De nombreuses études sur l'état de la pêcherie de poissons récifaux le long du littoral Sud-Ouest malagasy ont été réalisées depuis une trentaine d'années, notamment sur l'évaluation d'indicateurs. Elles s'orientent en général dans la zone de la Baie de Toliara (Laroche et Ramananarivo, 1995; Laroche *et al.*, 1997; Brenier, 2009; Behivoke *et al.*, 2021) et la Baie de Ranobe (Davies *et al.*, 2009 ; Abeare, 2019), principale zone peuplée de la région. Ces auteurs utilisent généralement la prise par unité d'effort en tant qu'indice d'abondance de la ressource récifale résultant du niveau d'exploitation. Néanmoins, ces recherches ont certaines limitations pour la définition d'un indice d'abondance : les CPUE ne prenaient pas en compte les dimensions des engins de pêche utilisés qui affectent pourtant leur efficacité, ni les différences spatiales (entre villages) et temporelles (variations saisonnières) d'abondances des ressources. Ces limites soulignent l'intérêt de développer des nouvelles stratégies pour suivre l'évolution des ressources récifales dans les années à venir à partir d'indices standardisés de CPUE (Campbell, 2004; Glazer et Butterworth, 2010).

L'objectif de la présente étude est d'évaluer un indicateur d'abondance des ressources de poissons récifaux à partir d'un suivi participatif de la pêcherie dans la zone de Ranobe Sud-Ouest de Madagascar. La problématique centrale de cette étude repose sur les questions suivantes : en quoi les CPUE reflètent-elles l'état de la ressource de poissons récifaux ? quelles sont les facteurs qui peuvent les faire varier ? Ainsi, deux hypothèses sous-tendent la présente recherche :

- H1 : Les CPUE peuvent constituer un indice d'abondance de la ressource, et donc de l'impact potentiel de la pêche en milieu corallien,

-H2 : Les CPUE varient en fonction de plusieurs facteurs technologiques (caractéristiques des engins) et spatio-temporels.

La première partie de l'étude est consacrée aux matériels et méthodes utilisés. Les résultats constituent la deuxième partie. Les discussions forment la troisième partie avant d'émettre les recommandations et la conclusion.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Présentation de la zone d'étude

1.1.1. Description et caractéristique du site

La Baie de Ranobe se trouve dans la région Sud-Ouest de Madagascar, située à environ 20 km au nord de la ville de Toliara en suivant la route nationale n°9 (RN9) (Fig.1). Cette baie de 163 km² est délimitée par les embouchures de deux fleuves, Manombo au nord et Fiherenana au sud (Abeare, 2019) et est peuplée d'environ 20000 habitants répartis dans 13 villages de pêcheurs. Du point de vue administratif, ces villages sont rattachés à la commune rurale de Belalanda et de Manombo, district de Toliara II. La présente étude a été effectuée au niveau des dix des principaux villages composant la baie. Certains villages qui présentent des caractéristiques similaires par rapport à l'occupation de l'espace géographique ont été regroupés en une unité village, ce qui nous a conduit à retenir six villages dont Tsingoritelo, Beravy, Ifaty, Madorano, Ambolimailaky et Fitsitiky.

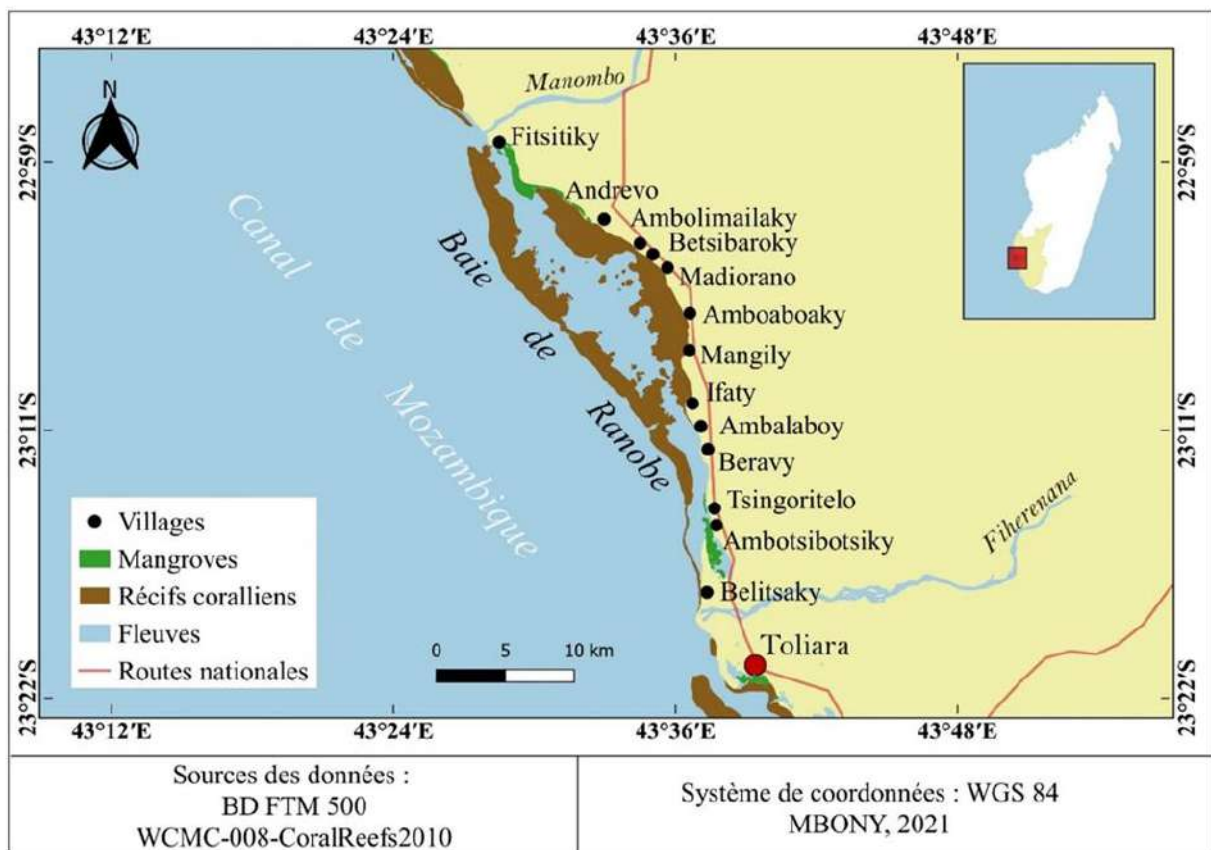


Figure 1: Localisation de la zone d'étude, Sud-Ouest de Madagascar

La baie de Ranobe est soumise à un climat tropical chaud et sec avec deux saisons bien marquées (saison chaude : de novembre à mars et froide : Avril à septembre), ce qui rend la zone très aride sauf pendant la période cyclonique. Le lagon connaît un régime de marée semi-diurne avec une amplitude maximale de 3,2 mètres et une basse mer des vives-eaux qui se produit au milieu de la journée ou de la nuit.

1.1.2. Environnement biologique

La baie de Ranobe est composée d'un récif barrière entrecoupé par deux passes, de massifs coralliens, et d'un grand lagon bordé par quelques récifs frangeants. Des études antérieures ont permis d'identifier une diversité faunistique importante dans la zone avec plus de 240 espèces de poissons récifaux, ainsi que plusieurs autres ressources halieutiques exploitées comme céphalopodes, les mollusques et les holothuries (Davies *et al.*, 2009; Abeare, 2019). Ce lagon étendu de 9 km de large et 32 km de long ainsi que les différents habitats du récif constituent les zones de pêche des villages de la baie. Bien que moins étudié que le grand récif de Toliara, cette baie présente des caractéristiques similaires et fait l'objet depuis quelques années d'un intérêt scientifique croissant.

1.1.3. Activités économiques de la population

A part la pêche qui assure l'existence et la survie socio-économique de plusieurs communautés du littoral de la baie, de projets de conservation de la biodiversité (pilotés par des organismes non gouvernementaux comme Reef Doctors) et d'aquaculture (pilotés par des entreprises dont Ocean Farmers, Indian Ocean Trepan) ont été mis en place au sein de ce lagon (Fencl, 2005; Todinanahary *et al.*, 2017). Ils contribuent au développement des activités économiques et à la conservation des écosystèmes et des ressources associées. En plus de ces projets, des associations locales promouvant la gestion durable des activités et des ressources naturelles et la préservation de l'environnement existent, à l'exemple du Fikambanana MIaro sy HAnasoa ny RAnomasina (FIMIHARA, traduit littéralement en « association pour protéger et améliorer l'environnement marin »). Ainsi, des efforts localisés de préservation des ressources naturelles et de la biodiversité sont aperçus dans la baie à l'exemple de la restauration des mangroves à Ambondrolava et la mise en place de petites réserves marines communautaires (Massif des roses et récif *Ankarandjelita*).

1.2. Moyens d'exploitation des ressources

1.2.1. Embarcation

Le *lakambezo* est une embarcation creusée à la main dans un gros tronc d'arbre (Fig.2). Dans le Sud-Ouest, comme dans tout le Sud, des artisans traditionnels spécialisés ont recouru à une espèce particulière d'arbre, le « farafatse » (*Givotia madagascariensis*), pour fabriquer le corps d'une pirogue. Pour le reste, c'est-à-dire le balancier, la rame et éventuellement la voile carrée peuvent être fabriqués par le pêcheur.



Figure 2: Pirogue monoxyde à balancier, typique des pêcheurs Vezo

1.2.2. Description des engins et techniques de pêche

Les différents engins et techniques de pêche utilisés dans le Sud-Ouest de Madagascar ont été déjà décrits par de nombreux auteurs (Rejela, 1993; Laroche et Ramanarivo, 1995; Rakotonarivo, 1998). Les engins de pêche utilisés par les pêcheurs de la baie de Ranobe sont multiples. Cette étude se focalise sur les cinq engins présents en majorité au sein de la baie.

➤ Filets maillants (« harato » ou « Talirano »)

Le filet maillant est toujours confectionné à partir d'un fil nylon (fig.3). Le plus souvent, deux techniques sont utilisées par les pêcheurs : le filet maillant encerclant et le filet maillant passif.

✚ La technique active au filet maillant encerclant est le plus fréquemment utilisé par les pêcheurs dans les petites vasques et en bordure de récif. Les pêcheurs en pirogue traversent la vasque dans sa partie médiane qui est la plus profonde, et frappent l'eau et les blocs de coraux accessibles dans le but d'encercler les bancs de poissons repérés à la surface de l'eau. Les poissons se maillent dans le filet en tentant d'échapper au resserrement du cercle. Lorsque le filet et les poissons atteignent une profondeur inférieure à 1m (hauteur

du filet), les pêcheurs commencent à resserrer le filet qui est ensuite halé dans la pirogue et les poissons sont démaillés individuellement.

✚ La technique passive du filet fixe, appelé localement « *lomaizava* » ou « *manandraky* » est pratiquée dans le lagon. Il consiste à placer le filet à marée haute perpendiculairement au courant (courant dominant venant du Sud) quelques heures avant l'aube et attendent ensuite la marée basse au lever du soleil pour relever les filets.



Figure 3: Pêcheurs au filet maillant dans la zone d'étude

➤ Ligne à main (« *Vinta* »)

C'est l'engin le moins cher : il suffit d'acheter 5 à 10 mètres ou plus de fil nylon auquel un hameçon va être fixé et appâté (petites crevettes notamment). Un morceau de planche de 15 à 20 centimètres de long est aussi utilisé pour enrouler le fil. L'utilisation de cet engin est très simple : les pêcheurs s'embarquent sur une pirogue puis choisissent le site de pêche et ancrent leurs pirogues avant de pêcher.



Figure 4: Pêcheur à la ligne dans la zone d'étude

➤ Fusil à poisson (« *Basim-pia* »)

Le fusil peut être en matériaux composites et/ou en bois lorsqu'il est fabriqué par le pêcheur ; c'est alors une réplique des fusils classiques mais avec une distance de tir beaucoup plus faible. Cette pêche est pratiquée sur le récif sur des zones allant de la bordure externe du récif au récif frangeant en passant par les vasques. Les pêcheurs travaillent le plus souvent à deux : le plongeur et un autre pêcheur qui le suit en pirogue. C'est un engin qui nécessite un investissement coûteux (masque et fusil) et aussi des capacités physiques.



Figure 5: Pêcheur au Fusil dans la zone d'étude

➤ Senne de plage (« *Tarikaky* » ou « *Jeriky* »)

Bien qu'interdites par la loi (n°2015-053 du code de la pêche et de l'aquaculture), les sennes de plages (Fig.6) sont encore utilisées dans certains villages de la baie de Ranobe (Ambolimailaky, Beravy, Ifaty). Elles nécessitent au minimum quatre pêcheurs mais ils sont généralement plus nombreux pour haler le filet. Alors qu'un pêcheur reste à terre pour tenir une extrémité de la corde, deux ou trois pêcheurs partent en pirogue et déroulent la corde perpendiculairement à la plage. Quand ils atteignent le filet, ils entament un arc de cercle pour le déployer, et quand celui-ci est entièrement immergé, ils repartent sur la plage en déployant la seconde corde parallèlement à la première. S'ensuit une longue phase de halage pouvant durer plus de deux heures durant laquelle les pêcheurs marchent doucement en reculant sur la grève en tirant la corde attachée à leur taille. Lorsque le filet arrive à proximité du rivage, les hommes se rapprochent de l'eau pour le tirer en tenant à la fois la partie supérieure et la partie inférieure. Il n'y a plus ensuite qu'à rapprocher progressivement la poche moustiquaire et déposer le produit de la pêche dans des paniers ou directement dans la pirogue.



Figure 6: Pêcheur à la senne de plage dans la zone d'étude

➤ Chalut à moustiquaire (« *draotsy* » ou « *draoto* »)

Cet engin aussi interdit par la loi n°2015-053 du code de la pêche et de l'aquaculture, est fabriqué à partir de moustiquaires cousues entre elles et formant une poche, le tout aux mailles extrêmement fines. Il dispose aussi de flotteurs et de lests comme les autres filets. Aussi, le chalut possède deux ailes qui servent à tirer le filet à pied sur les herbiers de l'estran (Fig.7). L'opération est presque la même que celle de la senne de plage, seulement, ici, le contenu est récupéré dans la pirogue sur mer, à marée basse, et le filet peut être remis à l'eau. Facile à mettre en place, la pêche avec cet engin peut être pratiqué avec les femmes et les enfants qui déployaient la toile moustiquaire dans les zones des herbiers en frôlant tout doucement le substrat. Cet engin est particulièrement dévastateur pour l'écosystème car il capture notamment des juvéniles de poissons (Raharinaivo, 2018).



Figure 7: Pêcheur au chalut à moustiquaire dans la zone d'étude

1.3. Approche méthodologique

1.3.1. Système de collecte des données

Les données collectées et utilisées dans la présente étude sont issues : i) d'un recensement des pêcheurs et des engins et ii) d'un suivi participatif réalisé sur le terrain dans les 10 villages de pêcheurs bordant la Baie de Ranobe de décembre 2019 à aout 2021. Ce suivi a été adopté dans le but de déterminer l'effort de pêche déployé et la capture des principales ressources visées par sortie. Ces étapes de collecte des données sont décrites ci-après (fig.8).

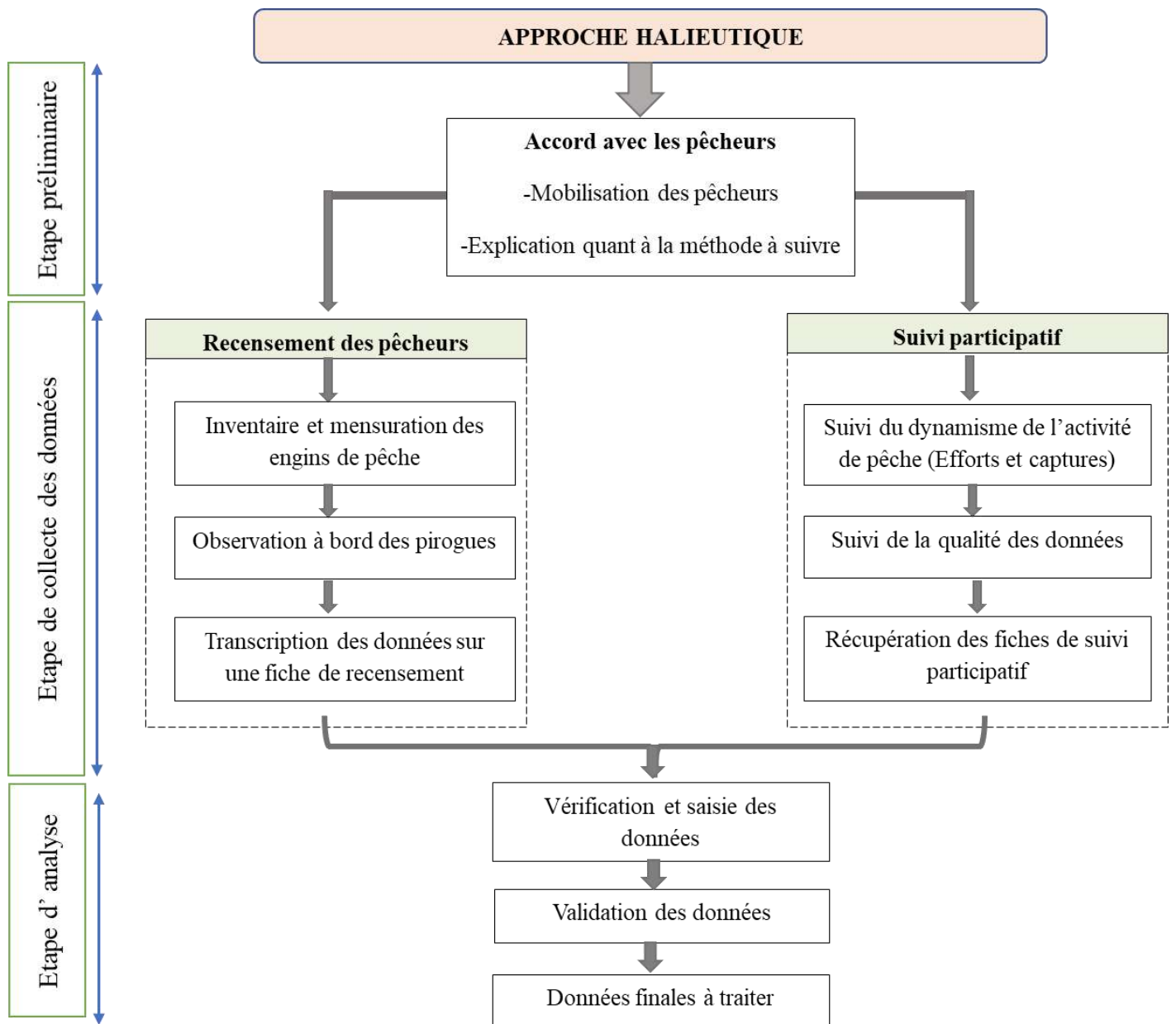


Figure 8: Schéma récapitulatif de la démarche méthodologique de collecte de données

1.3.1.1. Recensement des pêcheurs et des engins de pêche

L'objectif principal des travaux sur terrain était de recueillir des informations de base sur les éléments statistiques de la pêche au niveau de la zone d'étude. Ainsi, un système d'enquête a été mené pour recenser le nombre des pêcheurs, le nombre et les caractéristiques des engins de pêche. Cette partie terrain a été aussi marquée par des observations directes lors des suivis des séances de pêche. Le nombre et les catégories d'engins, les dimensions de l'engin et les tailles des mailles des filets ont été mesurés.

➤ Mensuration des engins de pêche

Les données de longueur ont été collectées pour développer des profils de longueur, et pour évaluer les différences qui peuvent exister dans les caractéristiques des engins de chaque pêcheur suivi. Les dimensions des engins de pêche ont été mesurées à l'aide d'un mètre ruban (fig.9). Ainsi, pour le filet maillant, la longueur s'exprime par la longueur totale cumulée en mètres des différentes pièces de filets utilisés pendant une sortie. Pour la senne de plage et le chalut à moustiquaire, la longueur de chaque élément constitutif de l'engin a été mesurée. La longueur totale a été obtenue en calculant la somme de la largeur de la poche additionnée de deux fois la longueur des ailes latérales. Les mailles ont été mesurées de nœud à nœud en millimètre près à l'aide d'un pied à coulisse. La forme, les éléments caractéristiques et les matériels de montage de l'engin ont aussi été notés.



Figure 9: Mensuration des engins de pêche (ici, chalut à moustiquaire)

1.3.1.2. Suivi participatif des activités de pêche

Une méthode participative a été adoptée au niveau de chaque village auprès des pêcheurs de poissons récifaux. Le suivi participatif présente de nombreux avantages : il augmente fortement l'effort d'échantillonnage à un coût réduit et permet d'obtenir des résultats fiables (Delaney *et al.*, 2008). C'est une méthode largement reconnue par la communauté scientifique depuis maintenant de nombreuses années, et qui a fait ses preuves dans le cadre de plusieurs programmes de conservation (Kearney *et al.*, 2007; Brenier *et al.*, 2013) Citons à titre d'exemple le programme Reef Check qui fait appel à des volontaires formés pour participer à l'évaluation de l'état de santé des écosystèmes coralliens à l'échelle mondiale (Hodgson, 1999). Les méthode participatives favorisant également l'éducation, la sensibilisation et le renforcement de capacités des citoyens au regard de la protection et de la gestion durable des écosystèmes (Aswani et Weiant, 2004; Noss *et al.*, 2005).

Au total 74 pêcheurs (soit 6% du total) ont été sélectionnés chaque mois par un assistant local pour participer au suivi et sont répartis inégalement dans chaque village (tab.1). Le lot de pêcheurs changeait tous les mois afin d'améliorer la représentativité de l'échantillon. L'implication des pêcheurs a été fait uniquement sur une base de volontariat et le choix a été basé par rapport à l'engin utilisés. Ainsi, cinq engins ont été échantillonnés : filet maillant, ligne à main, fusil, chalut à moustiquaire et senne de plage.

Tableau 1: Répartition du nombre des pêcheurs suivis dans chaque village

Villages	Nombre total des pêcheurs recensés	Nombre des pêcheurs suivis par mois	Pourcentage (%)
Fitsitiky	152	12	8
Ambolimailaky	224	15	7
Madiorano	117	6	5
Ifaty	182	12	7
Beravy	235	13	5
Tsingoritelo	242	16	7
TOTAL	1152	74	6

Une fiche de suivi a été distribuée pour chacun des pêcheurs échantillonnés. Ces pêcheurs identifiés par un code pêcheur ont eu pour consigne de remplir la fiche de suivi chaque jour, au retour de la pêche, si besoin avec l'aide d'un assistant local. Ce dernier a été choisi afin d'apporter son aide auprès des pêcheurs non alphabétisés. Pour chaque fiche, les informations suivantes ont été notées : la date, le nom du village, le nom du pêcheur et son code, l'activité (sortie de pêche ou non), et en cas de sortie de pêche : la période (jour et nuit), les différents types d'engins avec les techniques de pêche utilisés, le nombre de pêcheurs à bord, poids des capturées selon les catégories de ressources (poissons récifaux ou pélagiques), la zone de pêche et le revenu issu de la vente (Annexe 1).

Un suivi de la qualité des données du suivi participatif a été effectué au moment de la récupération des fiches chaque mois. Ce suivi a été assuré par les assistants locaux et deux étudiants en master de l'Institut Halieutique et des Sciences Marines (IH.SM).

1.3.2. Analyse des données

Pour toutes les données collectées, des bases de données sur tableur Excel ont été créés. Toutes les données ont été vérifiées au fur et à mesure pour voir les éventuelles erreurs d'observations, puis ont été saisies et validées afin de faciliter leurs traitements. Les variables étudiées ont été codées. Le traitement et l'analyse des données ont été effectués en suivant le classement des fiches de suivis enregistrées dans les bases de données.

1.3.2.1. Estimation de l'effort de pêche

L'effort de pêche correspond à l'importance de l'exploitation (pirogue-engin) d'un stock, dans un laps de temps donné (heure, jour, sortie) (Laurec et LeGuen, 1981). Il prend en compte l'effort des unités de pêche échantillonnées extrapolé aux unités en activité dans la zone et pour la période considérée.

Dans ce travail, l'évaluation de l'effort de pêche a pris en compte le nombre de sorties mensuel des pêcheurs suivis dans chaque village. Le choix de la sortie de pêche comme unité d'effort standard pour les différents engins a été conditionné par l'impossibilité d'obtenir une information plus précise sur la durée de pêche. La sortie de pêche est une unité d'effort commune à tous les engins vu la diversité des techniques et de types de pêche rencontrés dans la baie. Le taux d'activité moyen des pêcheurs est la fréquence moyenne de sorties des unités de pêche par jour. Il a été estimé en faisant la moyenne du nombre de sorties de l'ensemble des pêcheurs échantillonnés pendant la période considérée. L'effort total de pêche pour chaque village a ensuite été estimé par le produit du coefficient moyen d'activité des

pêcheurs, le nombre des pêcheurs actifs et le nombre de jours de la période (FAO, 2016). En tenant compte des tailles et le nombre d'engins déployés à chaque sortie de pêche, l'effort a été corrigé afin de standardiser l'unité d'effort d'une sortie (Gascuel, 2008):

$$\widehat{\text{Effort nominal corrigé}} = \overline{TA} \times N \times J \times mE$$

Où, \overline{TA} est le taux d'activité moyen des pêcheurs,

N : nombre des pêcheurs actifs dans le village

J : nombre total des jours dans 1 mois

mE : est le coefficient multiplicateur d'effort, obtenu à partir du rapport entre les dimensions de l'engin utilisé par les dimensions de référence de l'engin. Selon les caractéristiques de l'engin, les dimensions de référence ont été obtenues à partir du mode de la distribution de la longueur pour chaque type d'engin. Ainsi, pour le filet maillant, le chalut à moustiquaire et la senne de plage, les modes sont respectivement de 250 m, 30 m et 100 m de longueurs. Pour la pêche à la ligne et au fusil, la référence était de 1 hameçon et 1 fusil et le multiplicateur d'effort valait 1.

L'intervalle de confiance (IC) de la moyenne mensuelle du taux d'activité a été calculé sur la base de la formule suivante :

$$IC = \widehat{\text{Effort nominal corrigé}} \pm (t_{\text{student}} \times \text{Erreur-type}(TA)) \times N \times J \times mE$$

Avec, IC est l'intervalle de confiance de l'Effort nominal corrigé

t_{student} est le coefficient de confiance égal à 1,96 pour un risque d'erreur $\alpha = 0,05$

L'erreur-type de la distribution a été obtenu par le rapport entre l'écart-type du taux d'activité de l'échantillon et la racine carrée de la taille de l'échantillon.

1.3.2.2. Estimation des captures par unités d'effort (CPUE)

Pour chaque type d'engin de pêche, les prises moyennes par unité d'effort ont été estimées à partir du rapport entre le poids cumulé de capture des pêcheurs échantillonnés et la somme des coefficients multiplicateurs de l'effort pour les sorties correspondantes. Elles ont été représentées en fonction des engins, des strates spatiales (villages) et des échelles temporelles (mensuelles).

$$\overline{CPUE} (kg/sortie) = \frac{\sum_{sorties} Captures (kg)}{\sum_{sorties} mE}$$

Où, CPUE : capture par unité d'effort

L'intervalle de confiance de la moyenne mensuelle des CPUE a été calculé :

$$IC = \overline{CPUE} \pm (t_{student} \times Erreur - type(CPUE))$$

1.3.2.3. Estimation et évolution de la production

La production a été estimée par village et par mois en stratifiant les échantillons par engin. La production moyenne par jour a été calculée en faisant le produit des CPUE moyennes par sortie par le taux d'activité moyen par jour. La production mensuelle a ensuite été extrapolée en multipliant la production moyenne journalière par le nombre des pêcheurs actifs, le coefficient multiplicateur d'effort et le nombre total des jours de la période considérée. Soit,

$$\widehat{Production} = \overline{CPUE} \times \overline{TA} \times N \times J \times mE$$

La variance ainsi que l'incertitude de cette estimation des captures totales à 95% ont été calculées sur la base des formules suivantes :

$$Var(XY) = [Moy(Y)^2] \times Var(X) + Var(X) \times Var(Y)$$

$$Erreur_type^2(XY) = Var(XY)/n$$

$$IC(XY) = t_{student} \times Erreur - type (XY)$$

Où, X=CPUE, Y= Taux d'activité et n est la taille de l'échantillon (nombre de sorties)

1.3.2.4. Normalisation des CPUE et indice d'abondance

Les modèles linéaires mixtes généralisés, traduits en anglais en General Linear Mixed Model ou GLMM (Pinheiro et Bates, 2000) sont une approche couramment utilisée pour normaliser les données de prise et d'effort. Elle suppose que la valeur attendue d'une variable de réponse transformée est liée à une combinaison linéaire de multiples variables exploratoires (Maunder *et al.*, 2006).

Nous avons appliqué des GLMM pour estimer les CPUE standardisées à l'échelle de la baie de Ranobe en prenant en compte des facteurs susceptibles d'affecter les rendements de pêche. Le choix du modèle a été surtout conditionné du fait que notre suivi a été basé sur des mesures répétées des captures des mêmes pêcheurs durant la période de suivi (chacune de

leurs sorties pendant un mois environ). Les principaux effets considérés dans cette analyse sont d'une part les effets fixes (variables : les engins de pêche, les mois de l'année, la marée, l'interaction entre l'engin et les mois de pêche), et d'autre part les effets aléatoires (les pêcheurs et les villages). Les facteurs inclus dans le modèle ont été sélectionnés par une procédure de sélection qui est basée sur des tests de signification statistique. L'intérêt des modèles mixtes est de pouvoir évaluer si les effets aléatoires sont significatifs (ou pas) en même temps que les effets fixes habituels.

Les CPUE ont été ensuite prédites comme une combinaison linéaire des variables explicatives. Elles ont été calculées dans un tableau pour toutes les combinaisons possibles des modalités des variables retenues. La transformation par la racine carrée des CPUE a permis d'homogénéiser la variance et de corriger l'asymétrie de la distribution des CPUE. Nous avons visualisé les tendances temporelles des CPUE standardisées en prédisant l'effet de chaque covariable de réponses dans le temps. Le modèle appliqué aux données de la CPUE est donc de la forme suivante :

$$\sqrt{(CPUE)} \sim \alpha_{engin} + \beta_{mois} + \gamma_{marée} + \alpha_{engin} \times \beta_{mois} + \omega X + \varepsilon$$

Où, CPUE est la capture par unité d'effort

α_{engin} , β_{mois} , $\gamma_{marée}$, $\alpha_{engin} \times \beta_{mois}$ sont les effets fixes et constituent une combinaison linéaire des variables explicatives,

ω : vecteur des paramètres des effets aléatoires,

X : matrice de conception pour les effets aléatoires, soit de la forme (1|pêcheur) et (1|village)

ε : l'erreur résiduelle du modèle, indépendante et supposé suivre une distribution normale

La normalité des résidus des modèles a été diagnostiquée à l'aide de diagrammes de résidus qui sont les différences entre les données réelles et les valeurs prédites par le modèle (Glazer et Butterworth, 2010). L'analyse des résidus a été effectuée afin de détecter les sous et surestimations, les valeurs aberrantes, les observations influentes éventuelles et surtout d'examiner les modèles d'erreur dans les analyses. Le coefficient de détermination R^2 a été calculée pour estimer la capacité du modèle à prédire par la formule suivante :

$$R^2 = \frac{\sigma_{aléatoire}^2}{\sigma_{aléatoire}^2 + \sigma_{résiduelle}^2}$$

Avec, $\sigma_{aléatoire}^2$: la variance de l'effet aléatoire

$\sigma_{résiduelle}^2$: la variance des résidus du modèle

1.3.2.5. Analyse statistique

Toutes les données ont été traitées et analysées sous le logiciel R version 3.5 (R Core Team, 2018). Des tests paramétriques de comparaison sur les mesures répétées, à l'aide de modèles linéaires mixtes ont été réalisés. Ce test sur les mesures répétées est approprié car les données traitées correspondent à des mesures successives dans les captures pour les mêmes pêcheurs durant la période de suivi. La significativité des effets des facteurs a été testée sur chacune des variables de manière univariée pour les différents types de facteurs (spatiaux, temporels et halieutiques). Le test d'ANOVA a été utilisé dans le cas de comparaison de trois groupes et plus, selon le facteur choisi. Ce test est suivi d'un test post'hoc (test de Tukey) pour étudier les différences deux à deux entre les groupes, dans le cas où une différence significative a été détectée. Le seuil de signification pris pour tous les tests dans cette étude est de 0,05.

La manipulation des données a été effectuée via les packages dplyr, tidyr, car, readxl. Le package ggplot2 a permis de faire les représentations graphiques. La fonction lmer (méthode du maximum de vraisemblance) du package R lme4 version 1.1-23 a été utilisée afin d'estimer la pertinence de la méthodologie lors des ANOVA. Les tests de comparaisons des échantillons appariés ont été opérés à l'aide du package « lsmeans ». Les sorties statistiques du modèle ont été présentées dans la section « annexe », à l'aide de la fonction cld adaptée pour présenter les résultats de comparaisons statistiques par paires d'un modèle mixte linéaire. Le package FSA a permis d'obtenir un tableau récapitulatif de statistique descriptive (Ogle *et al.*, 2019).

2. RESULTATS

2.1. Répartition des pêcheurs par type d'engin

Au total, 1152 pêcheurs aux poissons récifaux ont été dénombrés au niveau des villages à l'échelle de la baie de Ranobe. Le nombre de pêcheurs variait de 117 à 242 entre les villages tous engins confondus (Tab.2). Le plus gros effectif est concentré à Tsingoritelo alors que le plus faible est observé à Madorano.

Tableau 2: Répartition des pêcheurs en fonction des engins par village

Villages	Engins de pêche					Total
	Filet maillant	Fusil	Ligne à main	Chalut à moustiquaire	Senne de plage	
Fitsitiky	84	20	22	24	2	152
Ambolimailaky	56	104	38	18	8	224
Madorano	45	19	49	4	0	117
Ifaty	51	73	35	12	11	182
Beravy	52	35	113	32	3	235
Tsingoritelo	159	23	55	5	0	242
Total	447	274	312	95	24	1152

Les engins utilisés variaient entre les villages ; le filet maillant est l'engin le plus utilisé dans l'ensemble des villages répertoriés (38,8% des pêcheurs, fig.10), viennent ensuite les pêcheurs à la ligne (27,1%) et au fusil (23,8%). Les deux autres engins de pêche (chalut et la senne de plage) ne représentent que 10,3% des pêcheurs. Ce taux très faible peut être expliqué par le caractère règlementaire de ces engins de pêche.

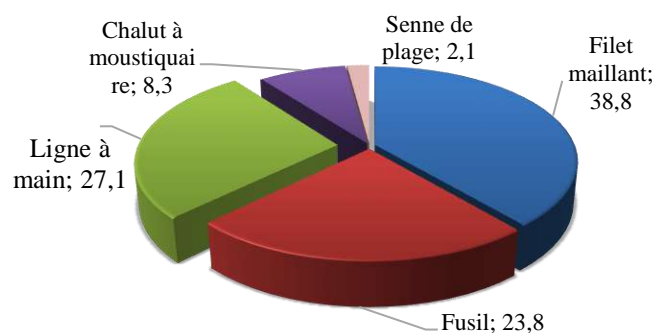


Figure 10: Répartition des pêcheurs de la baie de Ranobe par types d'engins

2.2. Evolution de l'effectif des pêcheurs

Les sources de données complémentaires utilisées dans cette étude sont issues des enquêtes cadres effectués en 1992, 2013 et 2015. Le recensement réalisé dans cette étude a été effectué de la manière la plus exhaustive possible. En effet, L'effectif des pêcheurs dans la baie de Ranobe a connu une évolution au cours du temps, le nombre a presque doublé en 30 ans (tab.3).

Tableau 3: Evolution du nombre des pêcheurs. Source : (a) Laroche, 1992 et (b) Abeare, 2019

Année	Villages						Total
	Tsingoritelo	Beravy	Ifaty	Madorano	Ambolimailaky	Fitsitiky	
^(a) 1992	180	107	298	38	131	-	754
^(b) 2013	255	214	290	92	263	263	1377
^(b) 2015	227	161	244	91	284	288	1295
2021	242	235	182	117	224	152	1152

2.3. Distribution de la fréquence en tailles des engins de pêche

Au total, 344 engins de pêche de type filet et chalut ont pu être mesurés sur l'étendue de la baie de Ranobe. Une large variation de dimensions a été observée pour les trois engins.

La taille des filets maillants (n=248) variait de 83 à 1060 m sur une chute de 1 à 5 m de hauteur. La moyenne enregistrée était de 370 m pour l'ensemble des filets mesurés (Fig.11). La maille variait entre 20 à 40 mm de côté suivant les espèces cibles.

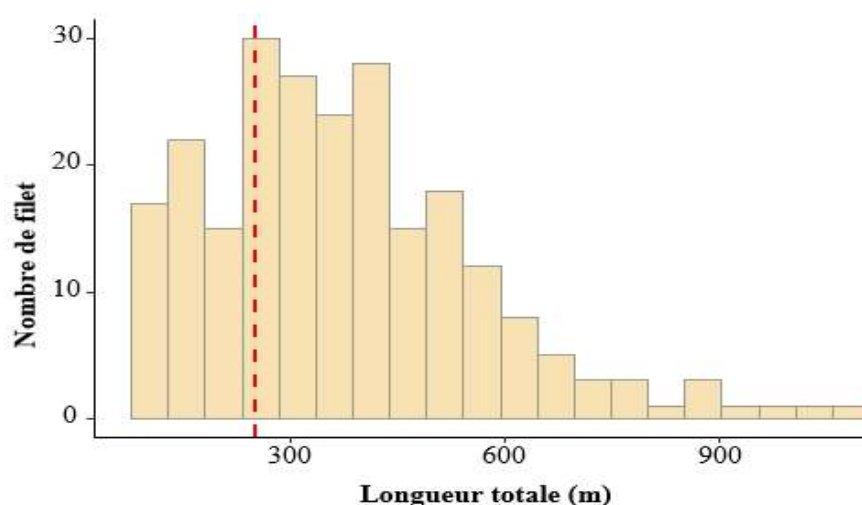


Figure 11: Distribution de la fréquence en tailles du filet maillant pour tous villages confondus (trait rouge représente la classe modale : 250 m).

En revanche, la dimension des chaluts moustiquaires (n=83) se situait entre 23 à 75 m pour une moyenne de 42 m (fig. 12). La moyenne enregistrée pour la senne de plage (n=13) était de 109 m de longueur et variait de 85 à 135 m. La longueur de la poche variait entre deux à six mètres pour le chalut (moyenne 4 m) contre 5 à 8 m pour la senne de plage (moyenne 6 m).

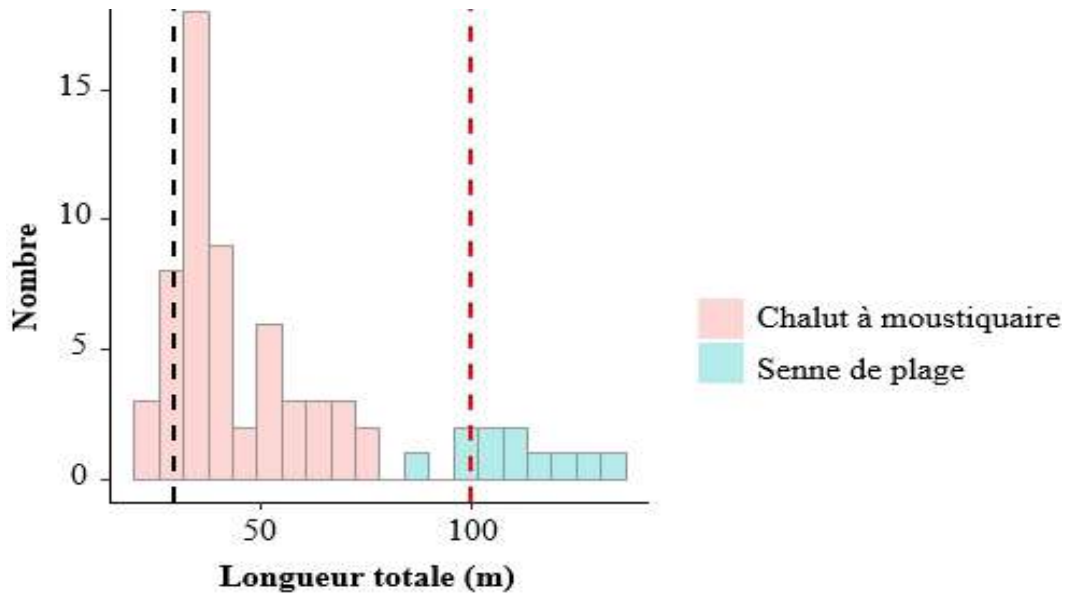


Figure 12: Distribution de la fréquence en tailles du chalut et de la senne de plage (trait noir : classe modale du chalut (30 m) ; trait rouge : classe modale de la senne de plage (100 m)).

2.4. Estimation de l'effort de pêche

2.4.1. Effort total mensuel

La principale différence dans les efforts de pêche dans les villages échantillonnés réside dans les fréquences des sorties de pêche. Les pêcheurs sortaient en mer chaque jour si les conditions météorologiques le permettaient. Ils sortaient en moyenne une fois par jour en général, soit un taux d'activité moyen de $0,5 \pm 0,2$ sortie/jour.

➤ Variations inter engins

L'effort de pêche total était très inégal pour les cinq types d'engins rencontrés dans la baie. Etant donné que la majorité des pêcheurs est consacrée à la pêche au filet maillant, son effort total mensuel représentait alors la valeur la plus élevée (2 à 6%) par rapport aux autres engins (fig.13). Le nombre de sorties maximal observé pour tous les types d'engins est situé en mois d'avril 2020 et 2021 (27 604 et 28 765 sorties respectivement). Au total, le nombre de sorties de pêche enregistrée tous engins confondus était de 244 820 sorties au cours de l'année 2020 (seule année complète) correspondant à une moyenne de 18 sorties/pêcheur/mois.

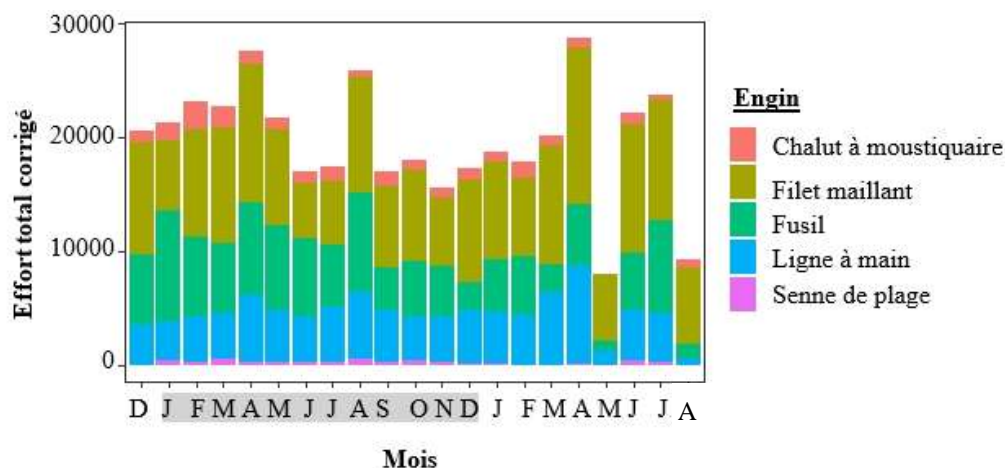


Figure 13 : Evolution mensuelle de l'effort de pêche pour les différents types d'engins dans tous les villages confondus. Les périodes grisées représentaient les mois de l'année 2020.

➤ Variation inter villages

En cumulant les estimations du nombre de sorties pour tous engins confondus, l'effort de pêche total mensuel estimé par village variait fortement (de 886 à 7 905 sorties) suivant les mois et les villages, soit un rapport de 1 à 9 (fig.14). L'effort total développé à Madiorano (\bar{x} = 1 834 sorties par mois) et Fitsitiky (\bar{x} = 2 646 sorties) est en général le plus faible en nombre de sorties (en excluant le pic en avril 2020 et en mai-juin 2021 respectivement), contre 3 593 à 4 548 sorties en moyenne dans les autres villages. Les sorties étaient à un niveau élevé à Ambolimailaky malgré une tendance à la baisse observée pour l'année 2020.

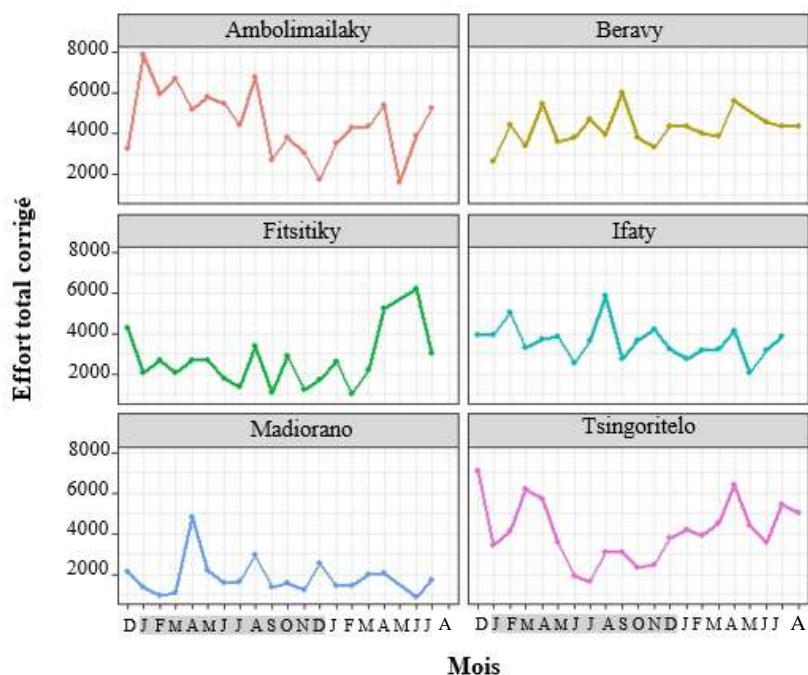


Figure 14 : Evolution mensuelle de l'effort de pêche pour tous engins confondus de décembre 2019 à août 2021. Les périodes grisées représentaient les mois de l'année 2020.

2.4.2. Evolution spatio-temporelles de l'effort par type d'engin

Pour apprécier la différence entre village, l'évolution de l'effort de pêche a été étudiée en considérant les engins de pêche communs entre les villages.

➤ Filet maillant

L'unité d'effort de pêche standard pour la sortie de pêche est définie par : 1 pirogue + 2 à 3 pêcheurs + 250 m de filets. L'effort de pêche moyen mensuel a peu varié pendant toute la période dans tous les villages suivis (excepté Tsingoritelo) avec moins de 2 000 sorties en moyenne. En revanche, à Tsingoritelo l'effort est beaucoup plus élevé atteignant jusqu'à 4 940 (± 660) sorties en mars 2020 (fig.15). Dans le village, une constante augmentation de l'effort de pêche est constatée à partir du mois de juillet 2020 jusqu'en avril 2021. On note aussi une forte augmentation de l'effort à Fitsitiky en juin 2021 soit 4 500 (± 280) sorties qui se traduit par un pic observé pour l'année considérée.

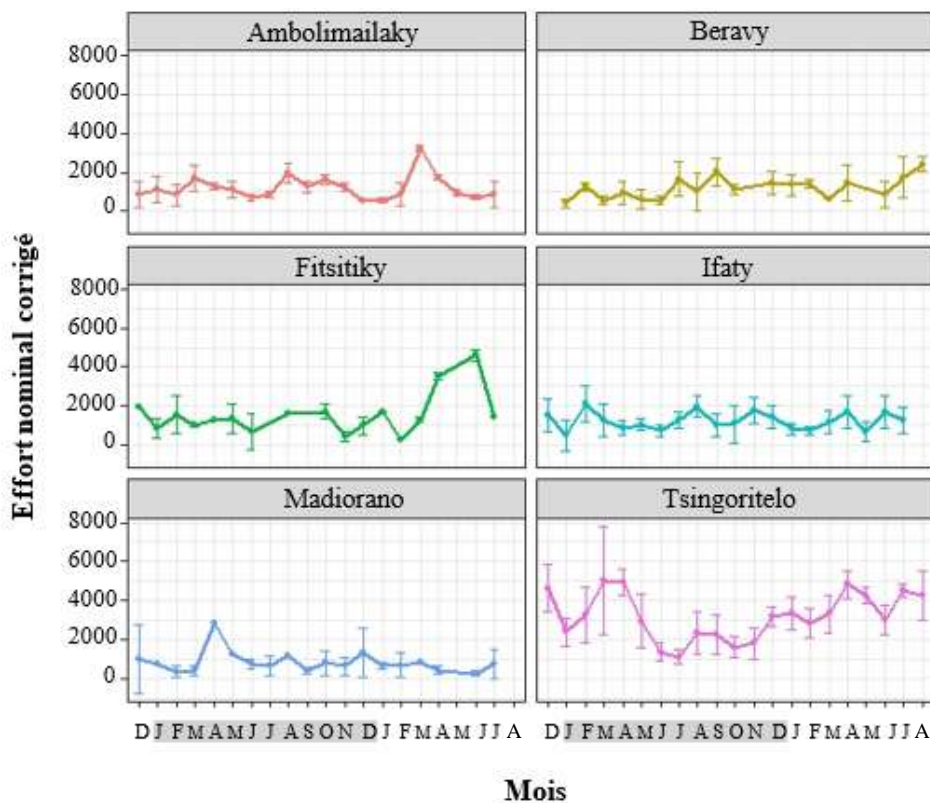


Figure 13: Evolution mensuelle de l'effort de pêche de l'engin filet maillant de décembre 2019 à août 2021. Les périodes ombragées représentaient les mois de l'année 2020. Les barres d'erreurs sont les IC à 95%

➤ Ligne à main

L'unité d'effort de pêche est constituée par : 1 pirogue + 1 pêcheur + 1 ligne. L'effort de pêche maximal est observé à Beravy (environ 2 000 sorties) puis à Madiorano et

Ambolimailaky (environ 1 000 sorties). La variation des sorties moyennes mensuelles à Beravy présentait un pic en avril 2020 (3 120±955 sorties) et avril 2021 (3 200±150 sorties) (fig.16). L'effort moyen mensuel variait peu et restait faible pour les trois autres villages sur toute la période échantillonnée. A Tsingoritelo, l'effort de pêche restait quasi stable sur toute l'année 2020, une légère augmentation est observée à partir du début de l'année 2021.

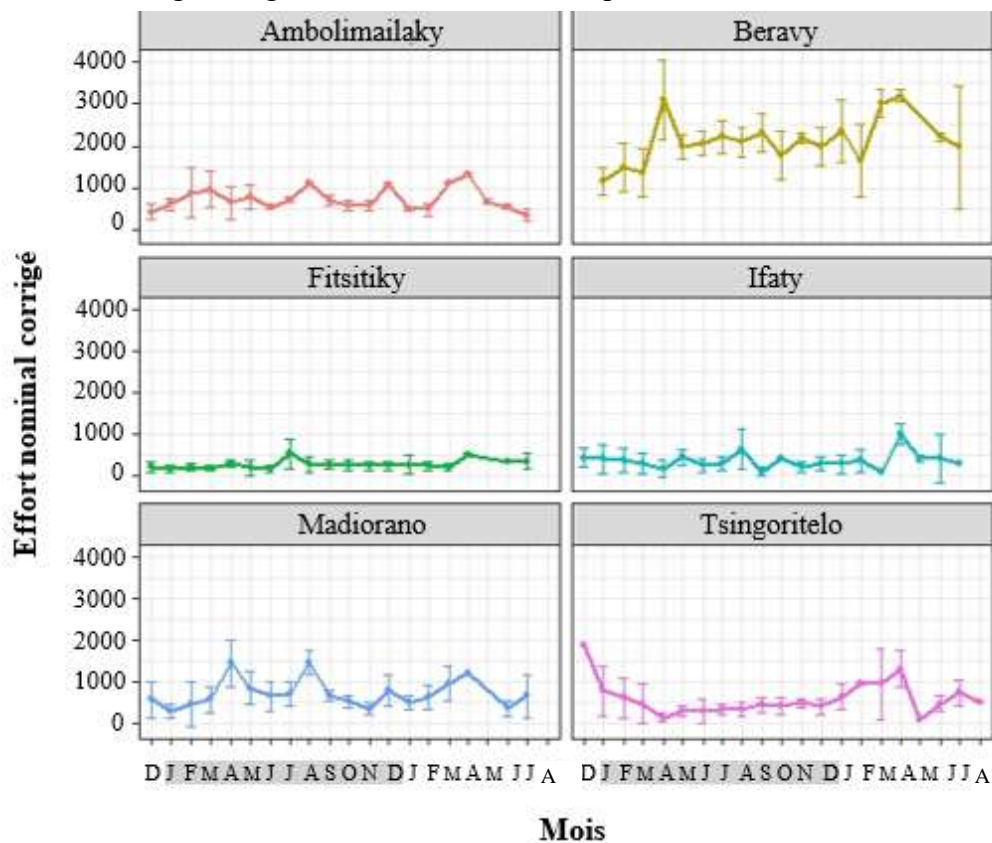


Figure 14: Evolution mensuelle de l'effort de pêche de l'engin ligne à main. Les périodes ombragées représentaient les mois de l'année 2020. Les barres d'erreur sont les IC.

➤ Fusil

Pour les pêcheurs au fusil, l'unité d'effort de pêche est définie par : 1 pirogue + 1 à 2 pêcheurs + 1 fusil. D'une manière générale, le nombre de sorties de pêche est nettement plus élevé à Ambolimailaky (5 448 ±736 sorties) et dans une moindre mesure à Ifaty (3023±1290 sorties) par rapport aux autres villages échantillonnés (122±50 à 3 023±594 sorties). Ceci est expliqué par le faible effectif des pêcheurs aux fusils dans les villages de Fitsitiky, Beravy, Madiorano et Tsingoritelo. Dans ces villages, on assistait à une tendance généralement stable des sorties au cours de l'année (fig.17). En revanche, l'effort montrait des variations importantes sur la période à Ambolimailaky et Ifaty.

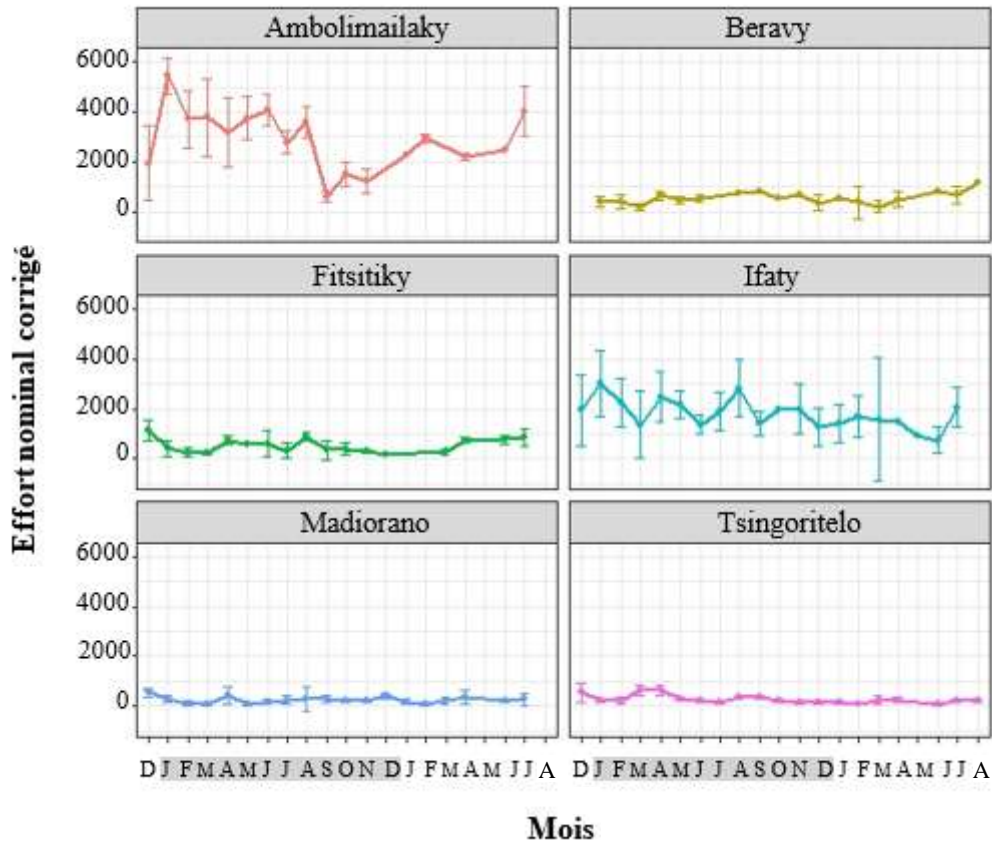


Figure 15: Evolution mensuelle de l'effort de pêche de l'engin fusil. Les périodes ombragées représentaient les mois de l'année 2020. Les barres d'erreur sont les IC.

➤ Chalut à moustiquaire

Pour les chaluts, l'unité d'effort est constituée par : 1 pirogue + 2 à 4 pêcheurs + 30 mètres de chalut. Aucune tendance globale sur le long terme n'a été notée entre les périodes considérées dans les villages concernés. Le chiffre important observé au nombre de sorties mensuelles se situait au début de l'année 2020 à Beravy soit $1\,273 \pm 340$ sorties (fig.18). Il va tout autrement à Fitsitiky, l'effort de pêche total variait peu entre les périodes de décembre 2019 et juillet 2021.

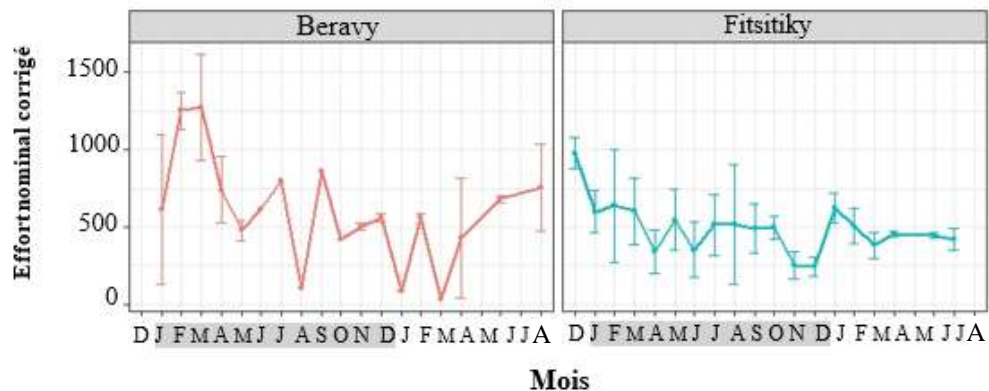


Figure 18 : Evolution mensuelle de l'effort de pêche de l'engin chalut. Les périodes ombragées représentaient les mois de l'année 2020. Les barres d'erreur sont les IC.

➤ Senne de plage

L'unité d'effort de pêche est constituée par : 2 pirogues + 5 à 8 pêcheurs + 100 mètres de filet de senne. On observe une nette diminution de la tendance du nombre de sorties pendant toute la période partant de 380 ±49 sorties en janvier 2020 à 79 sorties en juillet 2021 (fig.19).

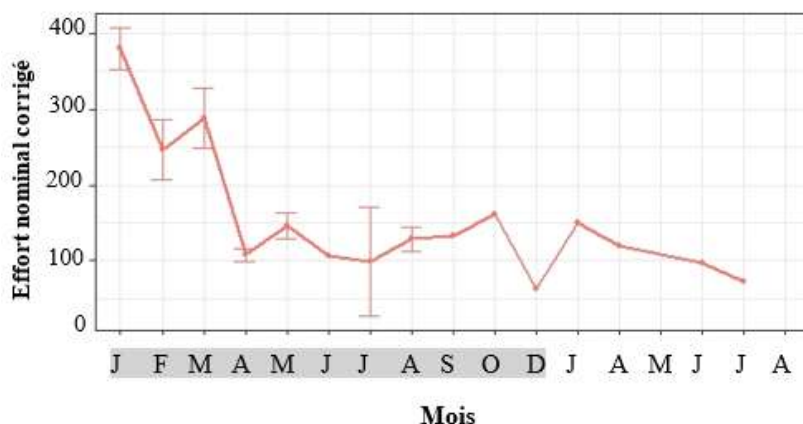


Figure 16: Evolution mensuelle de l'effort de pêche de l'engin senne de plage. Les périodes ombragées représentaient les mois de l'année 2020. Les barres d'erreur sont les IC.

2.5. Indice d'abondance des ressources à partir de la CPUE

2.5.1. Effets des facteurs explicatifs

Les résultats du modèle GLMM de standardisation des CPUE ont montré que toutes les variables explicatives considérées dans le modèle (mois, engin de pêche, marée et l'interaction entre le mois et l'engin) à part l'effet « marée » étaient statistiquement significatives (tests d'ANOVA, valeur $p < 0,001$), traduisant une fluctuation des CPUE standard au cours du temps quel que soit l'engin (tab.5). La variable « marée » ne présentait pas des effets significatifs et a été exclue dans le modèle final.

Tableau 4: Variance expliquée des effets fixes et aléatoires du modèle GLMM appliquée aux données de la CPUE. (***) : Significatifs codes, NS : Non Significatif)

Variables étudiés	CPUE	
	Variance expliquée (%)	p-value
Effets fixes	15,4	***
<i>Mois</i>	1,7	***
<i>Engin</i>	9	***
<i>Marée</i>	0	NS
<i>Mois*engin</i>	4,7	***
Effets aléatoires	28	-
<i>Pêcheurs</i>	22	-
<i>Villages</i>	6	-
Total modèle	43,4	

Ce modèle considérant des covariable liées à la pratique de pêche exprimait la majeure partie (43,4%) de déviance de la CPUE. Les effets fixes expliquent à eux seul 15% de la déviance totale du modèle. Par contre les effets aléatoires expliquaient une grande part de variabilité (28%) de la CPUE de la déviance expliquée du modèle, en particulier l'effet « pêcheur » (22%).

2.5.2. Distribution des résidus

La figure des résidus en fonction des valeurs observées du modèle retenu sur les valeurs positives montre une grande présence des valeurs nulles de CPUE dans notre observation, mais globalement un bon ajustement et une distribution assez homogène sur l'ensemble des valeurs sont remarqués. L'histogramme des résidus (fig. 20) semblait convenir et la droite d'Henry (Q-Q plot) qui compare les valeurs des quantiles de la loi empirique aux quantiles de la loi normale centrée réduite confirmait également la normalité de la distribution. Les résidus sont distribués de façon homogène en fonction des valeurs prédites pour tous les modèles. Quelques « outliers » ont été observés mais sans tendance de sous ou surestimation.

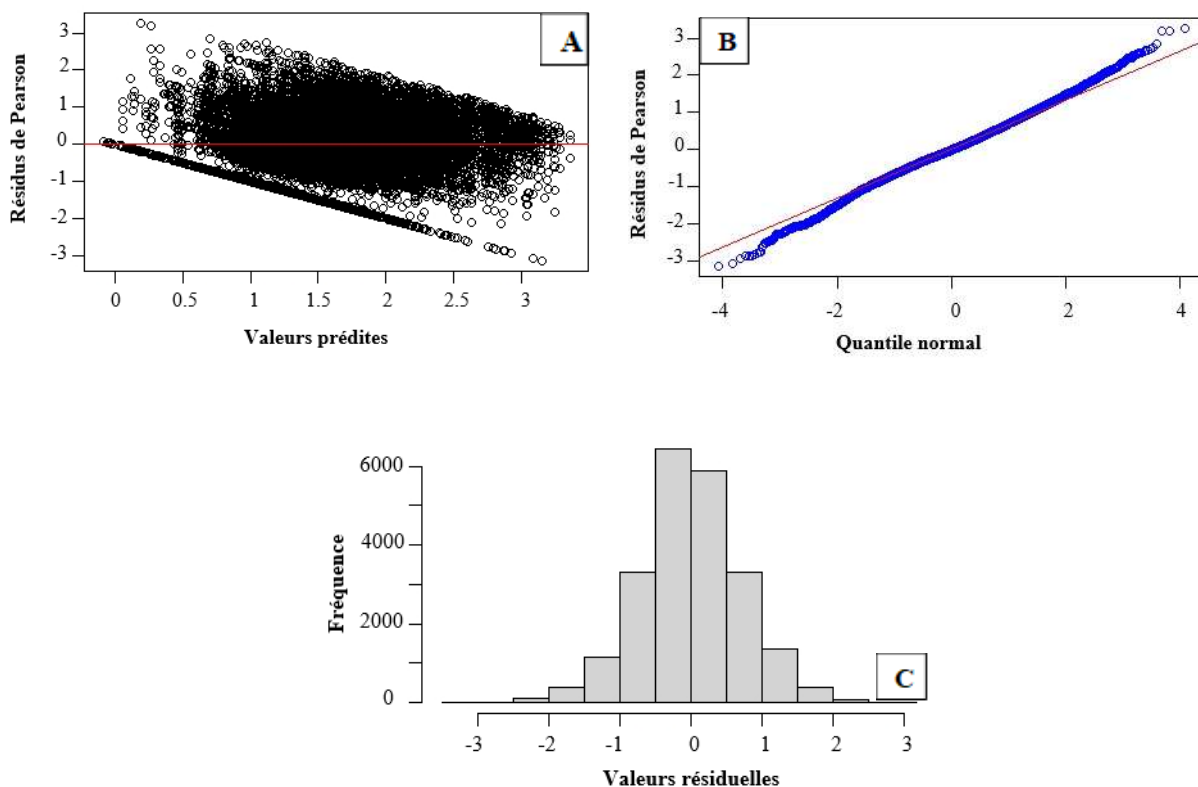


Figure 17: Sorties de l'analyse de la normalité des résidus du sous modèle des observations de la CPUE : (A) distribution des résidus, (B) droite d'Henry, (C) histogramme des résidus.

2.5.3. Variation des CPUE standardisées

La variation des CPUE standardisées présentée dans cette section montrait la tendance générale de l'indice d'abondance à l'échelle de la baie en tenant compte les effets aléatoires (villages et pêcheurs). Les courbes observées présentaient les valeurs prédites issues du modèle GLMM réalisé après avoir écarté les effets susceptibles d'affecter les CPUE. Les tendances mensuelles extraites des CPUE standardisées pondérées par engin montraient des tendances assez comparables pour chaque type d'engins étudiés (fig.21).

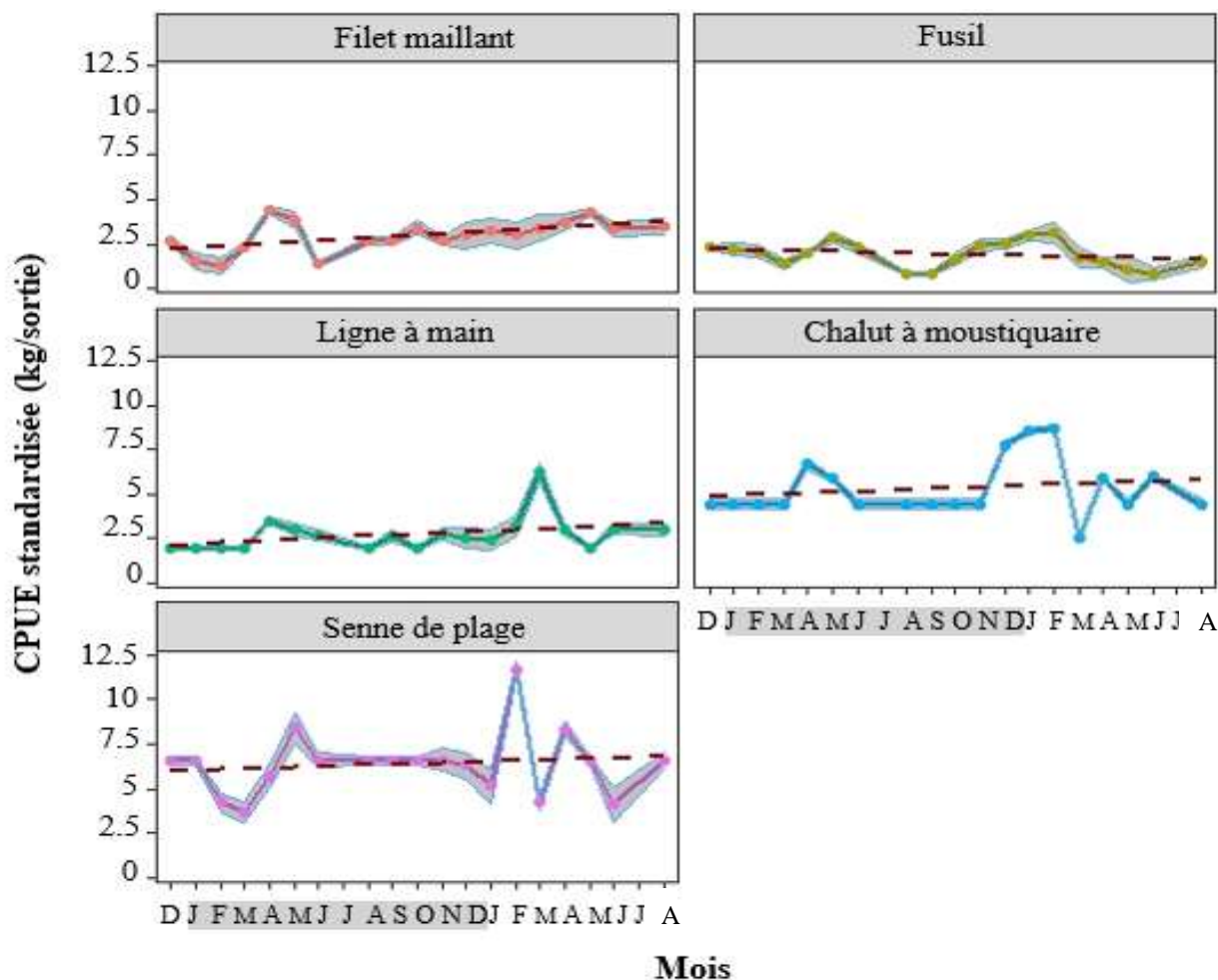


Figure 18: Variation mensuelle des CPUE standardisées par type d'engin à l'échelle de la baie de Ranobe. Les zones ombragées dans les tracés intégrés indiquent les intervalles de confiance approximatifs à 95% pour les estimations.

Cependant, les CPUE standardisées du filet maillant ont montré une tendance à la hausse sur la période échantillonnée (passant de $2,7\pm 0,1$ à $3,5\pm 0,3$ kg/sortie) malgré la chute observée en début de période. On note néanmoins une tendance saisonnière pour l'engin fusil montrant des déclin des captures pendant les saisons froides en 2020 (64%) et 2021 (25%), traduisant une diminution d'abondance des ressources ou une baisse d'efficacité des pêcheurs.

Les CPUE prédites pour l'engin ligne à main présentait une légère hausse tendancielle (34%) sur toute la période. Deux pics de captures sont constatés en avril 2020 et mars 2021 soit respectivement des valeurs de $3,5 \pm 0,1$ kg/sortie et $6,2 \pm 0,3$ kg/sortie.

Pour le chalut et la senne de plage, les valeurs des CPUE standardisées sont relativement importantes sur le long terme. Les deux indices fluctuaient avec des tendances globalement différentes : tandis que l'abondance semblait en légère hausse pour le chalut, elle était plus ou moins stable pour la senne de plage sans qu'une nette tendance de baisse ou d'accroissement soit mise en évidence.

2.5.4. Estimation des CPUE suivant les facteurs significatifs

L'analyse des CPUE dans cette partie a été présentée en fonction des effets significatifs issus du GLMM (cf. paragraphe 2.5.1). Elles ont été illustrées suivant les types d'engins et à une échelle mensuelle pour chaque strate spatiale étudiée.

2.5.4.1. Variabilité inter engin

Les CPUE moyennes par type d'engins ont indiqué que la senne de plage présentait la valeur plus élevée (moyenne de $10,2 \pm 0,6$ kg/sortie) comparées aux autres engins, en particulier la ligne à main (moyenne $3,1 \pm 0,1$ kg/sortie) et le fusil ($2,7 \pm 0,1$ kg/sortie). Des différences significatives ont été détectées entre les valeurs moyennes des CPUE pour tous les types d'engins étudiés ($p=2e^{-16} < 0,001$).

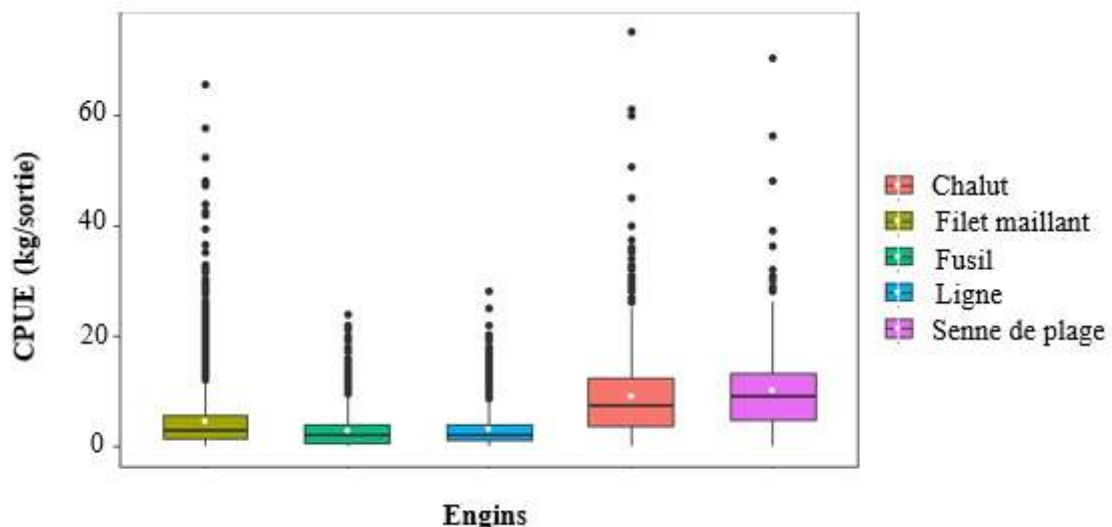


Figure 19: Comparaison par boxplot des valeurs des CPUE pour les types d'engins. Les points blancs sont les valeurs moyennes des CPUE. La ligne noire horizontale est la médiane observée

2.5.4.2. Variation spatio-temporelle des CPUE

Les variables « mois » ainsi que son interaction avec l'engin présentait des effets hautement significatifs dans le GLMM. En effet, pour illustrer la variation dans le temps des CPUE corrigées pour chaque village, l'analyse a été faite de manière explicite dans les sections qui suivent.

a) Cas du filet maillant

Les valeurs des CPUE étaient plus élevées dans les villages du Nord comparées à ceux du Sud (fig.23). Les médianes observées variaient de 1,9 à 4,8 kg/sortie. Les CPUE moyennes sont significativement supérieures à Madiorano ($\bar{x}=7,4\pm 0,6$ kg/sortie) par rapport aux autres villages (Test Tukey, $p<0,05$). En revanche, la valeur supérieure observée pour le village de Fitsitiky ($\bar{x}=3,6\pm 0,4$ kg/sortie) n'était pas significative par rapport aux villages de Tsingoritelo ($\bar{x}=3\pm 0,1$ kg/sortie, $p=0,06$), Beravy ($\bar{x}=4\pm 0,2$ kg/sortie, $p=0,35$) et Ifaty ($\bar{x}=3,3\pm 0,2$ kg/sortie, $p=0,359$).

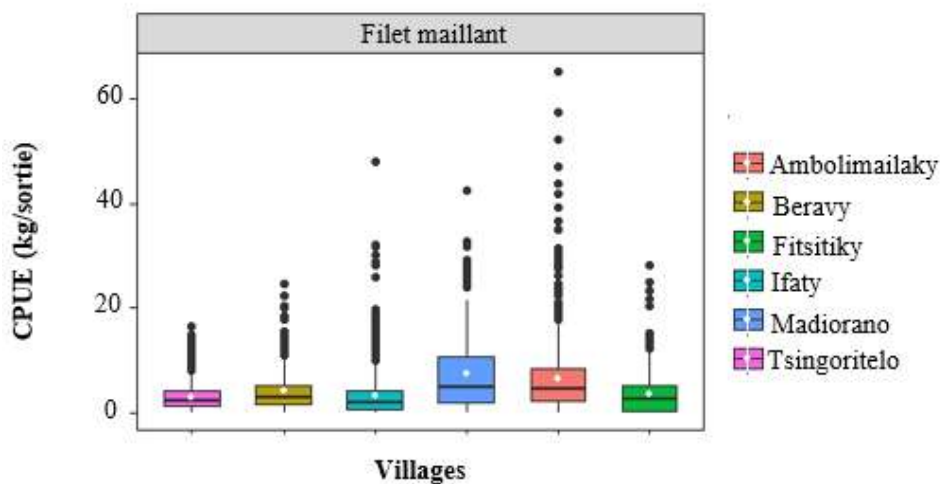


Figure 23 : Diagramme en boîtes des CPUE corrigées de l'engin filet maillant en fonction du village. Les barres horizontales présentent les médianes et les points blancs sont les moyennes.

L'évolution des CPUE dans le temps s'interprète comme une variation d'abondance de la ressource. Les CPUE moyenne corrigées variaient de $0,5\pm 0,3$ kg/sortie à $8,2\pm 1,1$ kg/sortie au cours de la période dans tous les villages (Fig. 24). On détecte une variation saisonnière notamment dans les villages de la zone Sud de la baie où les valeurs moyennes des CPUE chutaient pendant les saisons froides. Une variation inverse est observée à Fitsitiky où les saisons chaudes sont marquées par une baisse spectaculaire des CPUE pour toute la période étudiée.

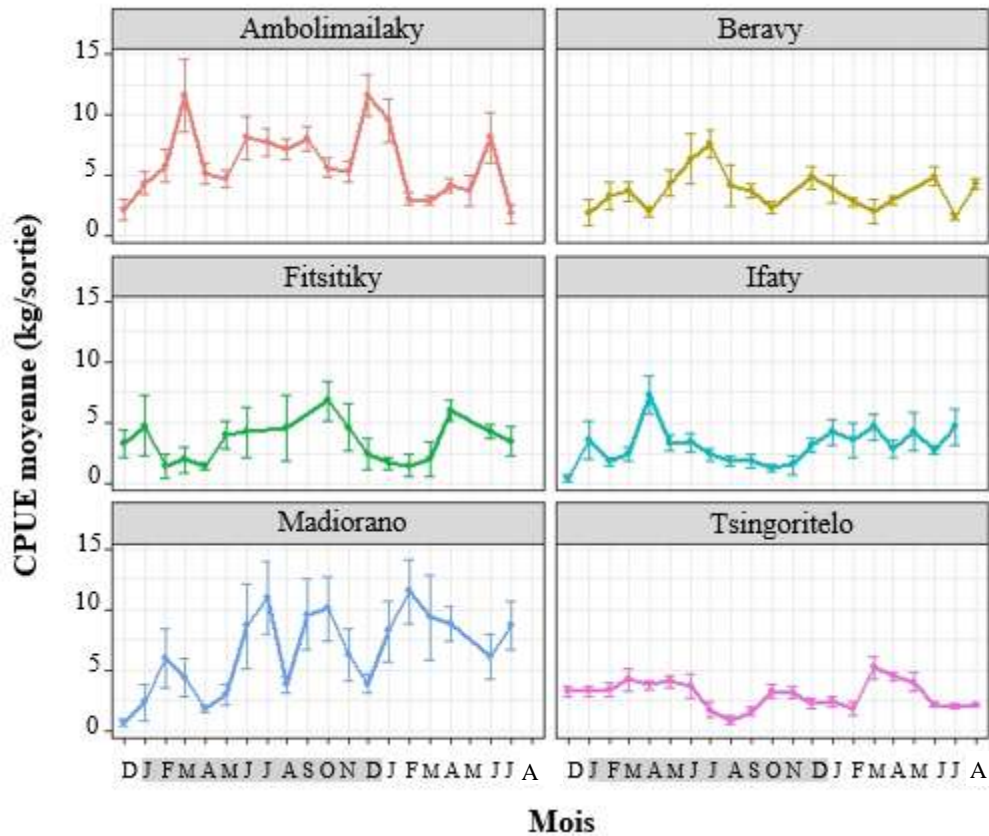


Figure 20: Variation mensuelle des CPUE corrigées pour le filet maillant. Les barres d'erreur présentées sur chaque figure représentent l'intervalle de confiance à 95%.

b) Cas de la ligne à main

La valeur maximale est observée à Fitsitiky ($\bar{x}= 4\pm 0,2$ kg/sortie) et à Ambolimailaky ($\bar{x}= 4\pm 0,1$ kg/sortie) alors que le plus faible est à Ifaty ($\bar{x}=2\pm 0,1$ kg/sortie) (Fig.25). Le résultat du test a indiqué que toutes les CPUE étaient significativement différentes entre les villages, excepté les CPUE par sortie pour le village de Fitsitiky qui ne montrait pas une différence significative avec celles d'Ambolimailaky ($p=0,645$) et de Tsingoritelo ($p= 0,483$).

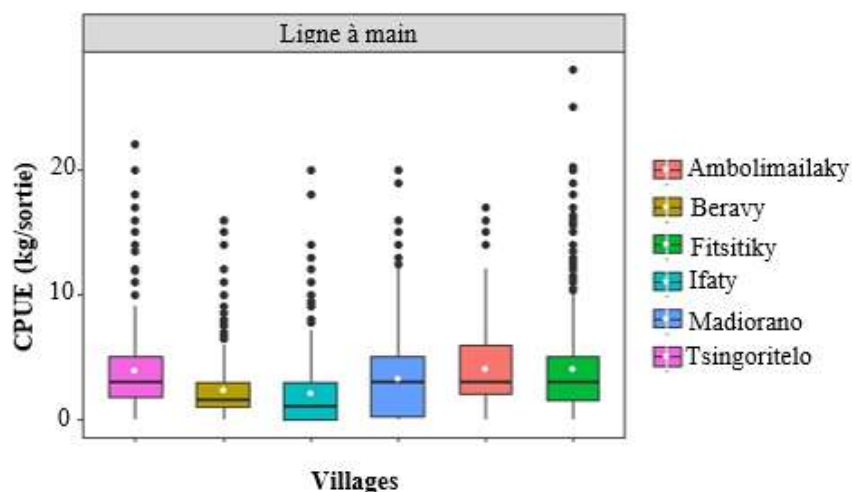


Figure 21: Diagramme en boîtes des CPUE corrigées de l'engin ligne à main. Les barres horizontales présentent les médianes et les points blancs sont les moyennes.

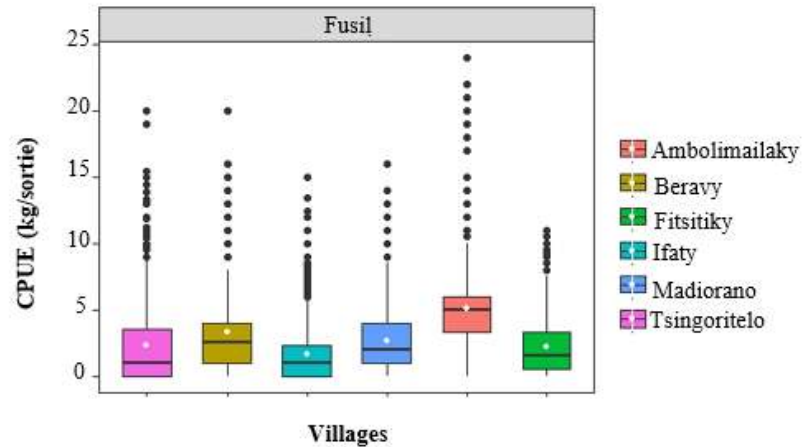


Figure 23: Diagramme en boîtes des CPUE corrigées du Fusil. Les barres horizontales présentent les médianes et les points blancs sont les moyennes.

Un gradient saisonnier bien marqué des CPUE est observé dans la zone Sud où les valeurs les plus faibles sont enregistrées en période froide et les plus élevées en saison chaude. Cependant, dans la zone nord notamment à Fitsitiky, Les CPUE augmentaient de 75% pour atteindre la valeur maximale en juillet 2021 soit $3,2 \pm 0,8$ kg/sortie (fig. 28). L'allure générale de la courbe est quasi stable à Ifaty, montrant toutefois deux pics de captures en février 2020 et mai 2021 (soit respectivement $3,5 \pm 0,5$ kg/sortie et $4 \pm 1,3$ kg/sortie).

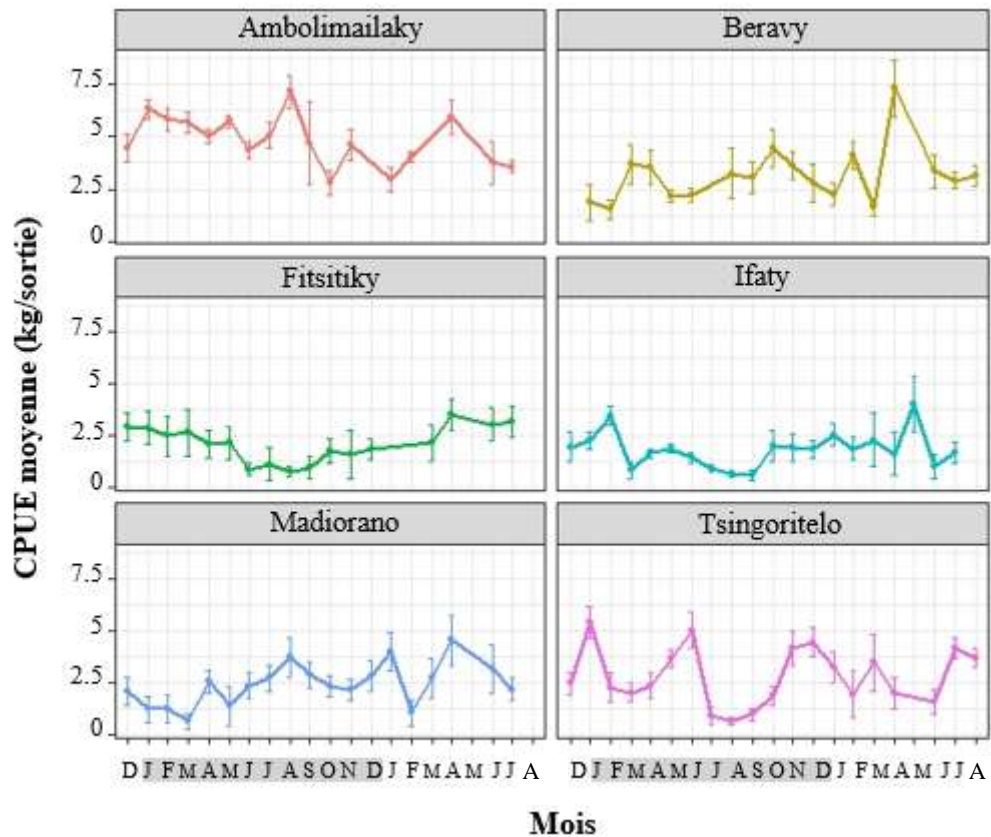


Figure 24: Variation mensuelle des CPUE corrigées de l'engin Fusil. Les barres d'erreur nous montraient les IC à 95%. Les périodes grisées indiquaient les mois de l'année 2020.

➤ Cas du Chalut à moustiquaire

Les CPUE moyennes étaient plus importantes et très homogènes à Ambolimailaky ($\bar{x}=10,3\pm 1,6$ kg/sortie) soient plus de deux fois supérieures qu'à Tsingoritelo ($5,3\pm 1,2$ kg/sortie) et Ifaty ($\bar{x}= 5,4\pm 0,8$ kg/sortie). Néanmoins, la valeur supérieure énoncée dans les CPUE n'était pas significative par rapport aux CPUE du village de Beravy ($\bar{x}= 9,5\pm 0,5$ kg/sortie) et de Fitsitiky ($\bar{x}= 9,5\pm 0,5$ kg/sortie) ($p>0,05$).

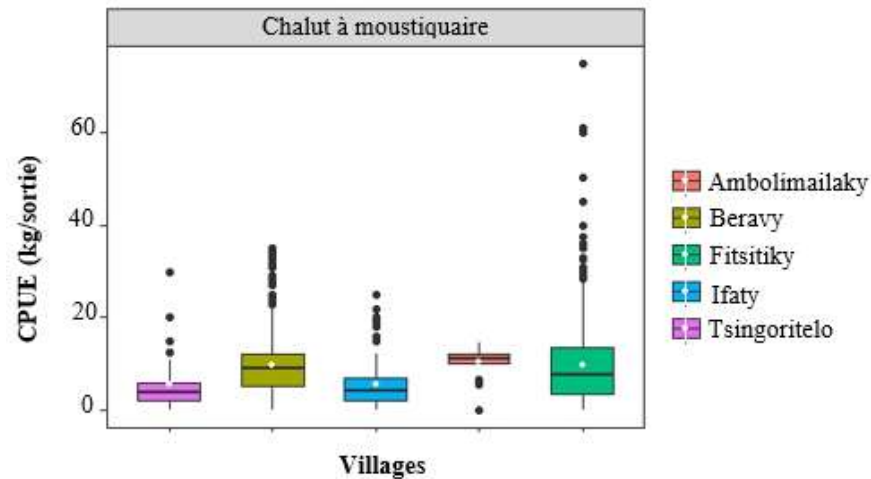


Figure 25: Diagramme en boîtes des CPUE corrigées du Chalut

L'évolution mensuelle ne présentait pas une tendance générale remarquable car la courbe nous donnait une allure très instable au cours des mois sur toute la période. Néanmoins, les CPUE diminuaient de moins de 65 % au cours de la période 2021 dans le village de Beravy (Fig.30). Cependant, à Fitsitiky cette baisse est intervenue avec un décalage de deux à trois mois dans chaque période étudiée.

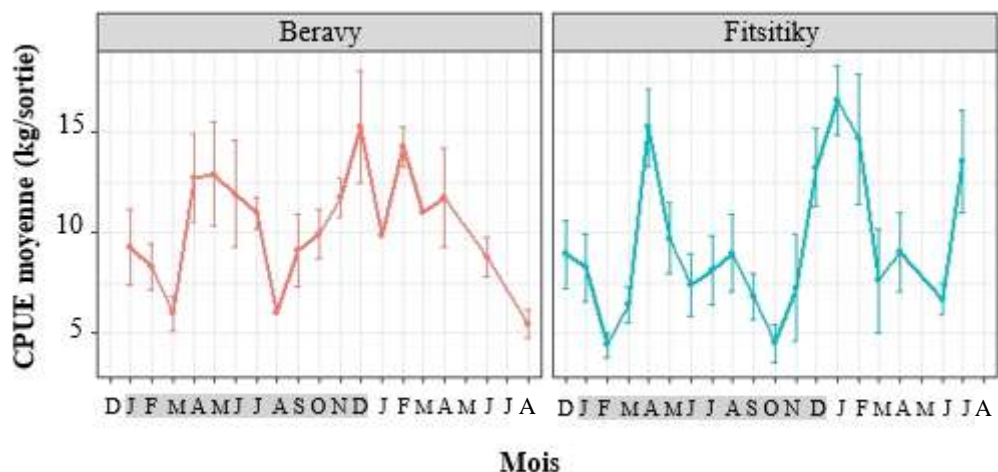


Figure 26: Variation mensuelle des CPUE corrigées du chalut à moustiquaire.

➤ Cas de la Senne de plage

Les CPUE moyennes variaient de $9,2 \pm 1,1$ kg/sortie à Ifaty à $11,9 \pm 4,1$ kg/sortie dans le village de Fitsitiky. Il est aisé d'observer graphiquement que la médiane des CPUE variaient entre 6 et 10,6kg/sortie. Néanmoins, le test de Tukey a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des CPUE de chacun des villages étudiés à part les valeurs moyennes observées entre le village d'Ambolimailaky ($\bar{x} = 11,1 \pm 0,5$ kg/ sortie) et d'Ifaty ($p=0,007$).

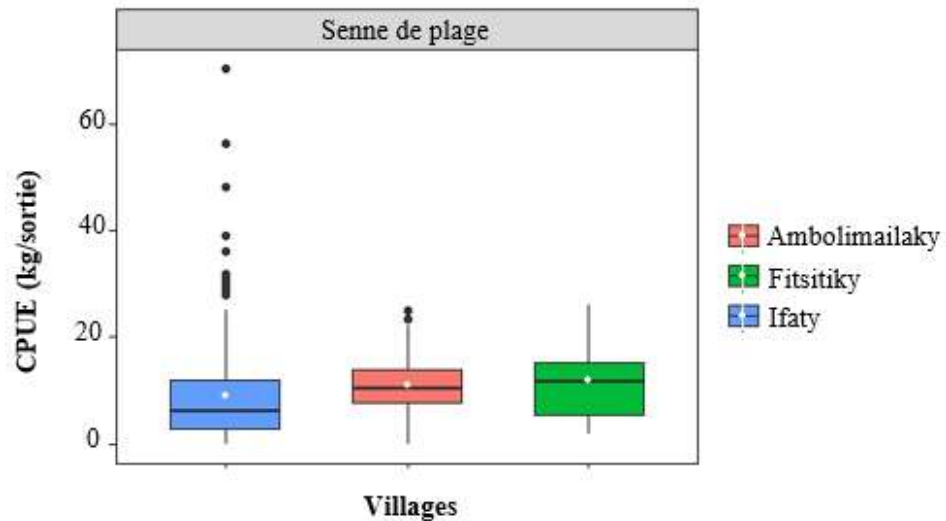


Figure 27: Diagramme en boîtes des CPUE corrigées de la senne de plage

Les CPUE moyenne fluctuaient fortement ($7,1 \pm 0,6$ à $17,6 \pm 4,1$ kg/sortie) sans qu'une nette tendance de baisse ou d'accroissement soit mise en évidence sur les périodes considérées.

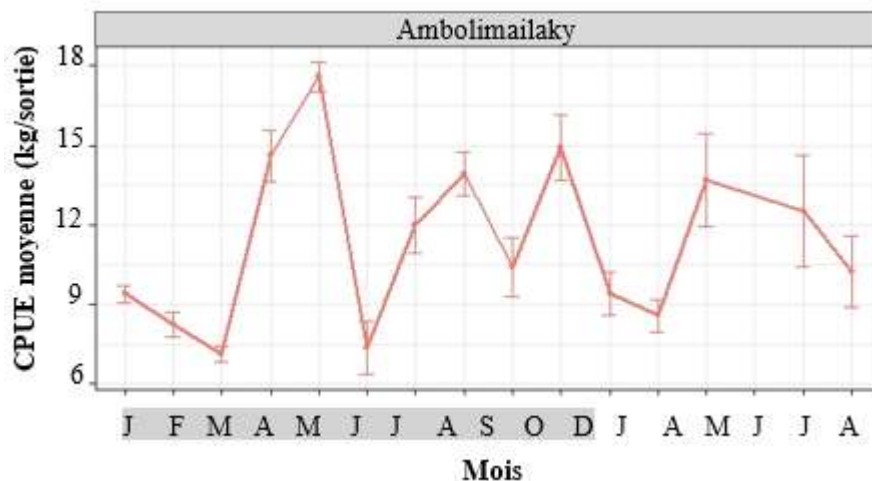


Figure 28: Variation mensuelle des CPUE corrigées de la senne de plage. Les barres d'erreur nous montraient les IC à 95%. Les périodes grisées indiquaient les mois de l'année 2020.

2.6. Estimation de la production

2.6.1. Production totale de la baie

La production estimée à l'échelle de la baie de Ranobe est comprise entre 28 et 122 tonnes (t) par mois et a atteint un total de près de 1580t pour tous villages confondus durant toute la période de suivi. La capture mensuelle estimée variait de 2,7 à 47t entre les villages sur toute la période. Le village d'Ambolimailaky a fourni la production la plus élevée (29%) de la production totale (fig. 33B). La production maximale enregistrée est située en mois d'avril 2021 (fig.33A).

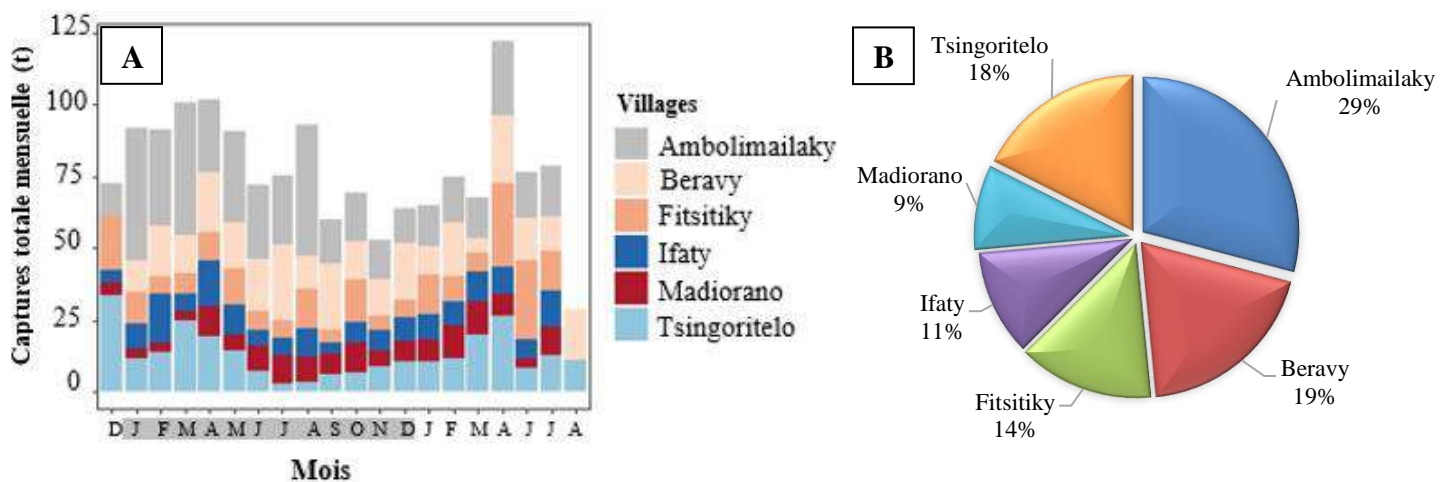


Figure 29: Production estimée dans chaque village étudié : (A) variation mensuelle, (B) part de production en pourcentage de chaque village

La quantité des captures débarquées pour l'année 2020 (seule année complète) obtenue à partir des cinq engins de pêche s'élevait à environ 974t (soit 6 tonnes par km²). D'une manière générale, la production moyenne mensuelle estimée était de 3,7±1,5t soit 81±1,7 kg/pêcheur. Sur toute la période, l'engin filet maillant apportait près de 43% de la production totale (fig.34). La senne de plage a produit 3% de la production, ce qui représentait la valeur la plus faible estimée pour tous engins étudiés.

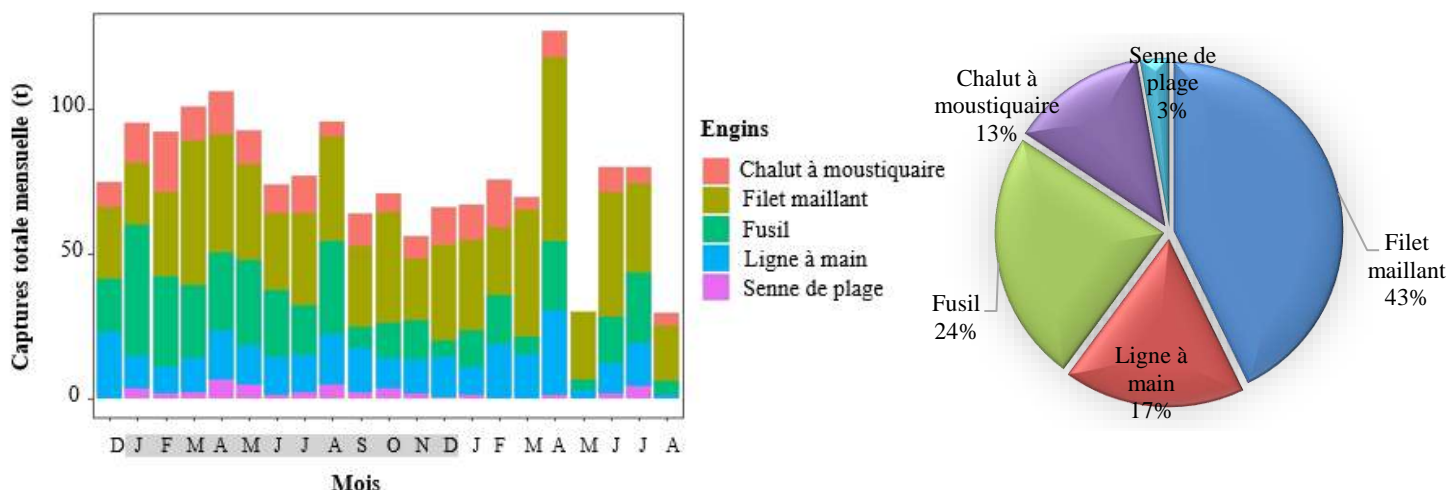


Figure 30: Production estimée pour les types d'engins étudiés

2.6.2. Contribution par engins

La capture moyenne mensuelle des pêcheurs au filet maillant montrait une forte variabilité entre les villages. Elle variait de $0,4 \pm 0,5t$ à $21,3 \pm 12t$ au cours de la période étudiée. En termes de statistique de production pour cet engin, Ifaty paraît le village le moins productif, avec des captures estimées oscillant autour de $0,7 \pm 0,6t$ à $6 \pm 3,1t$ (fig. 35). Pour tous les villages suivis, les plus productifs ont été les villages d'Ambolimailaky ($21,7 \pm 3,8t$) et de Tsingoritelo ($19,8 \pm 9,1t$).

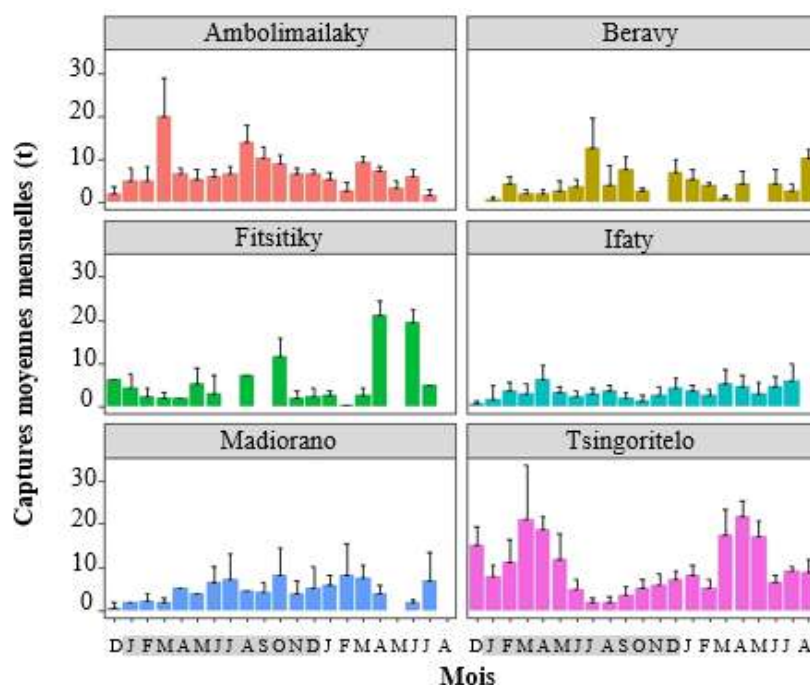


Figure 31: Production mensuelle estimée pour la pêche au filet maillant des villages échantillonnés. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance à 95%. Les périodes grisées sont les mois de l'année 2020.

En s'appuyant sur les périodes où les données de captures sont disponibles, on remarquait que les captures sont très variables suivant les mois étudiés dans certains villages. Les pêcheurs à la ligne des villages de la zone nord et celui d'Ifaty enregistraient des productions estimées moins élevées (moins de 5t). Cependant à Beravy, les captures diminuaient de 55% au cours de l'année 2020 (fig.36). Une variation saisonnière des captures est cependant remarquée à Tsingoritelo, où la production tend à se déclinier pendant les saisons froides. La valeur maximale observée pour tous les mois étudiés est située en fin d'année 2019 avec une valeur de 18t.

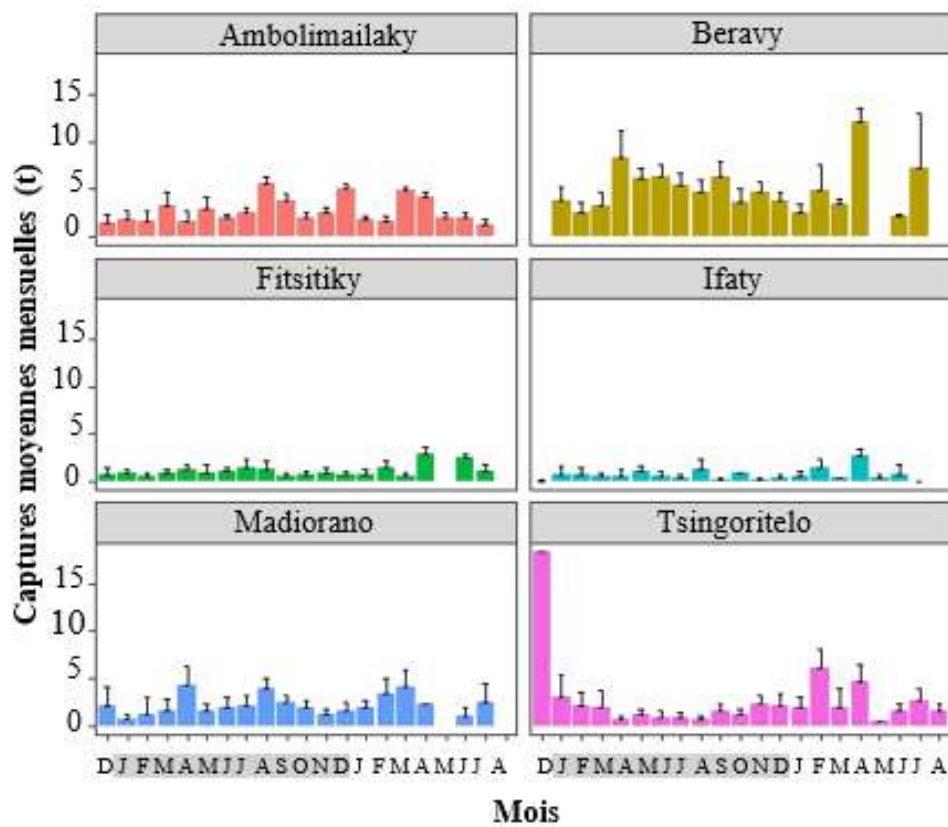


Figure 32: Production mensuelle estimée pour la pêche à la ligne d'Ambolimailaky, Beravy, Fitsitiky, Ifaty, Madorano et Tsingoritelo. Les barres d'erreur représentaient l'intervalle de confiance à 95%. Les périodes grisées sont les mois de l'année 2020.

Une stabilité relative de production des pêcheurs au fusil avec une tendance plus ou moins constante au cours des années est remarquée à Ifaty, contrairement à ce qui est observée à Ambolimailaky où les variations quantitatives de la production sont relativement importantes (fig.37). Dans les autres villages, la variation de la production était très faible (moins de 4t) et présentait une variation saisonnière bien marquée.

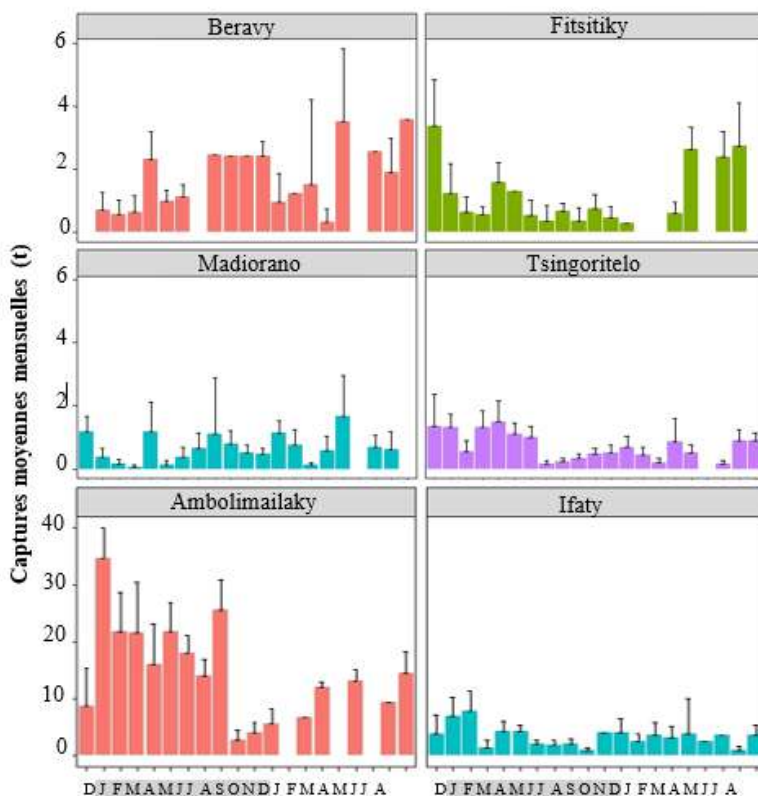


Figure 33: Production estimée des pêcheurs au fusil d’Ambolimailaky, Beravy, Fitsitiky, Ifaty, Madiorano et Tsingoritelo. Les barres d’erreur représentaient l’intervalle de confiance à 95%. Les périodes grisées sont les mois de l’année 2020.

L’évolution mensuelle des captures des pêcheurs au chalut présentait un pic de production situé au début de chaque période de suivi ($10,4 \pm 1,7t$ à Beravy et $10,3 \pm 2t$ à Fitsitiky). Aucune tendance globale n’a été observée, mais néanmoins on assiste à des valeurs importantes des captures presque pour tous les mois étudiés (fig.38).

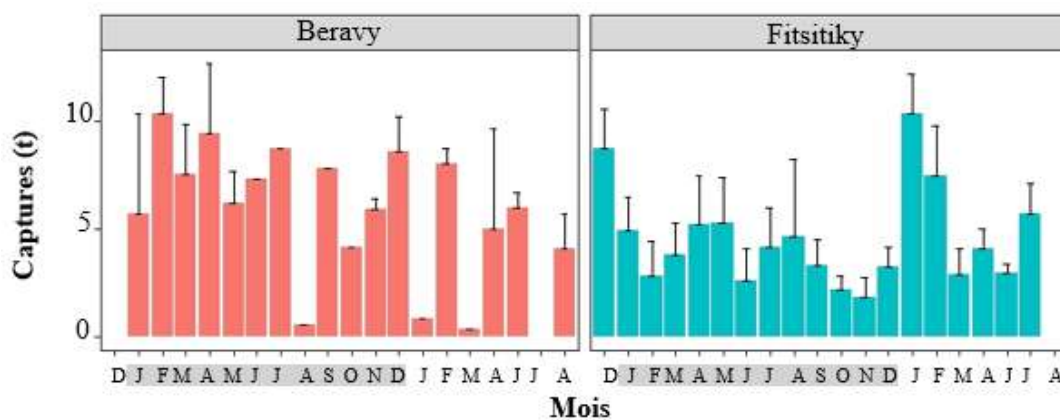


Figure 34: Production estimée des pêcheurs au chalut dans les villages de Beravy et de Fitsitiky. Les barres d’erreur représentaient l’intervalle de confiance à 95%. Les périodes grisées sont les mois de l’année 2020.

La production maximale pour la senne de plage est située en janvier 2020 pour une valeur de $3,6 \pm 0,5t$, puis diminuait en Avril 2020 pour atteindre une valeur de $1,6 \pm 0,23t$ (Fig.39). La production minimale sur toute l'année est en décembre 2020 soit 0,6t.

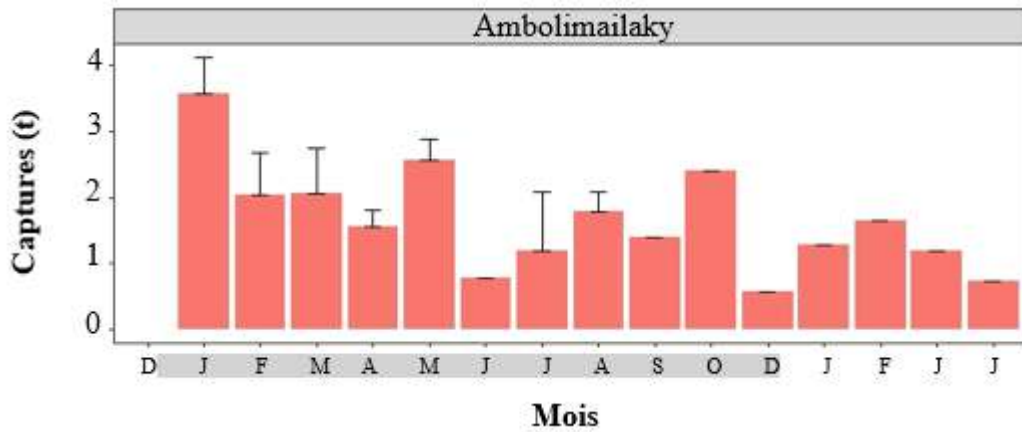


Figure 35: Production estimée des pêcheurs à la senne de plage dans le village d'Ambolimailaky. Les barres d'erreur représentaient l'intervalle de confiance à 95%. Les périodes grisées sont les mois de l'année 2020.

3. DISCUSSION

3.1. Effort de pêche : choix de l'unité d'effort

Dans la plupart des études sur la pêche dans le Sud-Ouest de Madagascar, les efforts observés sont basés sur les efforts nominaux comme le nombre des pirogues et le nombre des pêcheurs à bord (Laroche et Ramananarivo, 1995; Laroche *et al.*, 1997; Randriatsara, 2018). Dans le cas de la petite pêche, les variétés d'embarcations ne contribuent pas de la même façon à l'effort de pêche total (Kantoussan, 2007). Cependant, la définition d'un facteur de standardisation s'avère nécessaire (Laurec et LeGuen, 1981). La notion d'unité d'effort commune est un peu complexe en pêcherie ; souvent l'effort est parfois défini en fonction des catégories d'engins (Ecoutin *et al.*, 1994). La présente étude est à notre connaissance, la seule étude qui fournit les premières estimations de l'effort de pêche standardisé dans la baie de Ranobe, voire dans le Sud-Ouest de Madagascar. On a été amené à tenir compte des facteurs technologiques susceptibles de modifier l'efficacité réelle d'une unité d'effort de pêche nominal. On a eu donc recours à la notion d'effort nominal corrigé en considérant les dimensions et le nombre d'engins déployés à chaque sortie pour définir la puissance de pêche d'une unité pêcheur. Cette manière de standardiser l'effort de pêche tient compte des modifications des techniques de pêche (Kantoussan, 2007), et permet d'améliorer l'estimation de l'effort en définissant l'unité d'effort de manière proportionnée (Gascuel, 2008).

3.2. Analyse de la CPUE comme indice d'abondance des ressources : les facteurs de variabilité

Notre travail a proposé une analyse des données de captures des poissons récifaux dans la baie de Ranobe conduisant à l'identification d'un indice d'abondance des ressources de poissons récifaux à l'échelle de la zone à partir des CPUE standardisées. Cette CPUE joue un rôle important dans l'aménagement des ressources car il s'agit d'une information relativement simple à collecter (Bach *et al.*, 2009). Cet effet potentiel de la pratique de pêche nous a conduit à une analyse de la CPUE en considérant des facteurs exclusivement liés à la pratique de pêche et aux caractéristiques des unités de pêche. Les informations fournies par le biais du suivi participatif sont suffisantes pour donner une estimation acceptable de l'état des ressources dans la baie. Nos résultats fournissent déjà une évaluation actualisée de l'indice d'abondance et peuvent servir de données de référence pour de futures études spatio-temporelles plus importantes ou plus axées sur la gestion de la petite pêche. D'autres études similaires ont été réalisées afin d'identifier les composantes halieutiques dans la même zone

(Davies *et al.*, 2009; Abeare, 2019). Dans toutes ces études, la pratique de pêche était jugée homogène et donc avec un effet sur les variations de la capture par unité d'effort considérée comme indice d'abondance de la ressource.

3.2.1. Variabilité inter-engins et inter-villages

Les résultats obtenus dans cette étude montraient des différences d'estimation d'abondance entre les engins de pêche. Le rendement de pêche variait selon les méthodes adoptées. Il est remarqué que les valeurs moyennes des CPUE des engins de type filet étaient nettement supérieures à celles des autres engins, ce qui est prononcé dans le cas des filets maillant ($\bar{x}=4,5\pm 0,1$ kg/sortie), du chalut ($\bar{x}=9,1\pm 0,3$ kg/sortie) et de la senne de plage ($\bar{x}=10,2\pm 0,6$ kg/sortie). L'étude menée par Abeare en 2019 a trouvé des valeurs assez similaires à celles de la présente étude montrant également des fortes variabilités entre les différents types d'engins étudiés (tab.5). Souvent, la variation retrouvée pour un même engin ou pour des différents engins peut être liée au fait que tous les engins de la même catégorie ne présentaient pas des caractéristiques tout à fait identiques (Stergiou *et al.*, 2007; Alfaro-Shigueto *et al.*, 2010). C'est notamment le cas des engins de type filet qui ne font pas tous la même dimension (Maunder *et al.*, 2006). Dans cette étude, les engins ont été standardisés de manière à supprimer les biais possibles qui peuvent impacter les captures des pêcheurs. Ainsi, la variabilité entre engins peut être expliquée par plusieurs autres facteurs. Un élément important réside dans la manipulation et le principe de fonctionnement de chacun des engins. Les écarts observés peuvent aussi être liés aux performances ou compétences différentes des pêcheurs (Laroche *et al.*, 1997), comme le suggère la forte contribution de la variable aléatoire « pêcheur » dans le GLMM. De plus, les modes de prélèvement des diverses ressources visées entre engins impactaient probablement la variabilité dans les captures des pêcheurs évoluant dans la même zone de pêche. Ainsi, analyser les captures par taxon permettrait d'améliorer grandement notre compréhension à cette variation.

La variation spatiale des CPUE peut s'expliquer par des conditions physiques localement différentes (Abeare, 2019) et par des pressions de pêche de sélectivité variables qui peuvent influencer les distributions spatiales des poissons (Kantoussan, 2007). La capturabilité des espèces et l'efficacité des engins peuvent aussi différer selon les positions géographiques des secteurs d'études. Même si les villages sont en étroite communication dans la baie, les profils morphologiques des habitats diffèrent entre les zones et de ce fait expliquent probablement une partie de la variabilité spatiale des CPUE. Toutefois, la nécessité

d'avoir une information plus précise sur les lieux de pêche que sur les lieux de résidence des pêcheurs s'avèrent indispensable pour confirmer cette interprétation.

3.2.2. Variabilité temporelle

La tendance des CPUE standardisées observées dans cette étude est presque similaire dans la baie pour les différents types d'engins considérés, tout au long de la période de suivi. Elle présentait une faible variation inter-annuelle mais de fortes variations intra-annuelles. Les différences des CPUE entre les périodes échantillonnées mettaient en évidence des effets mensuels et saisonniers, et pourraient traduire une abondance saisonnière des ressources de poissons récifaux. Ces mois où les captures sont importantes témoignent vraisemblablement de la disponibilité des ressources vers lesquels les efforts sont orientés. Le pic de captures rencontré pendant la période estivale (Octobre à Avril) pour certains types d'engins coïnciderait probablement avec la période de reproduction de la plupart des espèces de poissons récifaux, en novembre-décembre (Robinson et Sauer, 2013). Entre autres, l'effet des restrictions de transport pendant l'année du covid-19 a été observé à partir des valeurs des CPUE observées sur toute l'année 2020. Cette période où les ventes et l'écoulement des produits halieutiques ont été limitées dans la zone de Ranobe a forcément eu un impact sur l'effort de pêche et a limité la sortie en mer des pêcheurs et par conséquent la hausse des rendements de pêche. La réduction de la pression de pêche constitue dans le cas présent la principale augmentation des CPUE comme cela a été observée dans d'autres écosystèmes (Zwanenburg, 2000; Jennings et Blanchard, 2004; Karakulak, 2004).

L'incidence de la marée ne semblait pas avoir en aucun cas un effet sur les captures durant les périodes de suivies. Ce qui est assez surprenant car les marées dans la zone Sud-Ouest sont assez importantes en termes d'amplitude qui est de type semi diurne, avec une alternance de vives eaux et de mortes eaux (Pichon, 1978). D'autant plus que l'abondance des poissons récifaux se voit surtout durant les périodes des mortes eaux au niveau des marchés locaux (Rakotonarivo, 1998). Ce résultat est à confirmer ou à affirmer lors d'une prochaine étude.

En comparant les données obtenues en fonction de l'engin pour différentes zones de la région Sud-Ouest (tab.5), il est observé que les résultats de Ranobe suivent de manière globale la tendance par rapport à ceux des données des autres recherches (sur des CPUE non standardisées) en particulier pour le filet maillant, la ligne à main et le fusil. En revanche les CPUE observées durant les études réalisées par Davies et *al* (2009) montraient une valeur plus faible pour l'engin senne de plage ($4,3 \pm 0,1 \text{kg/sortie}$). Néanmoins, la brève période

d'étude effectuée par cet auteur ne permet pas de saisir un cycle annuel complet. Le manque de représentativité temporelle et spatiale explique probablement les résultats de son étude.

Tableau 5: Comparaisons des CPUE par rapport à d'autres études réalisées. Sources : Laroche et Ramananarivo 1995, Mahatante 2017, Davies et *al.* 2009, Abeare, 2019.

Type d'engins	CPUE moyenne kg/sortie					
	Baie de Toliara			Baie de Ranobe		
	1989-1990	2009	2017	2009	2019	Présente étude
Filet maillant	18,2±6	6,8	8,5±0,9	3,4±0,01	4,3	4,5±0,1
Fusil	-	-	-	3,8±0,1	3,3	2,7±0,1
Ligne à main	4,8± 0,4	3,2	2,2±0,1	3,3±0,4	2,8	3,1±0,1
Chalut à moustiquaire	-	18,3	10,3±0,9	-	-	9,1±0,3
Senne de plage	31,9±6,2	-	-	4,3±0,1	15,4	10,2±0,6

Par comparaison avec d'autres régions du monde, les CPUE de la ligne à main au Pérou avoisinaient les $1,7 \pm 0,2$ kg/jour et celles du filet maillant $1,7 \pm 0,1$ kg/jour (De la Puente et al. 2020). En ce qui concerne l'archipel de Kho Chang en Thaïlande où des mesures de gestion ont été appliquées depuis de nombreuses années, il est observé pour la ligne à main des CPUE de 8 ± 3 kg/jour et pour le filet maillant de 11 ± 9 kg/jour. C'est un témoignage de l'efficacité des méthodes de gestion à terme (Lunn et Dearden 2006).

Ces comparaisons soulèvent la question de la nécessité d'un suivi annuel régulier et à long terme de la petite pêche (et permettant l'estimation de CPUE standardisées) dans la région Sud-Ouest de Madagascar. Le suivi régulier (séries chronologiques) semble indispensable pour des raisons suivantes : il permettra de prendre connaissance de toute la dynamique évolutive de chaque pêcherie et de comprendre les principales phases de son historique. D'un point de vue pratique, il favorisera l'interprétation de certaines modifications qui sont difficiles à cerner à partir d'un suivi basé sur une seule année et surtout il permettra une meilleure compréhension des indicateurs par exemple en testant leur sensibilité par rapport à une perturbation (Laurans *et al.*, 2004).

3.3. Suivi participatif : Faisabilité, limite et amélioration de la méthode

Pour tout projet de développement ou de gestion de la petite pêche, la disposition des données statistiques fiables (de production et commercialisation) s'avérerait nécessaire au suivi de l'état d'une pêcherie (Jenning et Blanchard, 2004). Or l'Etat malagasy n'a pas les moyens (matériels, financiers et humains) pour réaliser à long terme des enquêtes de production. Confier ce travail à la communauté locale pourrait résoudre en partie ce problème, à condition d'encadrer et aider la population dans la réalisation de leurs tâches (Aswani et Weiant, 2004). De plus, dans un contexte où les ressources financières sont insuffisantes, les suivis participatifs s'avéraient être particulièrement pertinents car ils présentent un rapport coût/efficacité faible en impliquant généralement des volontaires et en bénéficiant de leurs ressources logistiques (Whitelaw et al., 2004). Tel est le cas de la gestion de la pêche aux poulpes dans la mise en place des réserves marines à *Andavadoaky* où le suivi participatif des communautés a été opté (Ratsimbazafy, 2010).

La présente étude a adopté sur le terrain un protocole générique de suivi participatif des pêcheries récifales. Dans une étude basée sur des données de suivi participatif, la qualité de l'information dépend notamment des bonnes conditions relationnelles entretenues avec les personnes suivies (Brenier et al., 2013). Cette étude a fait l'objet d'un travail préalable d'information des pêcheurs au cours de réunions organisées dans chaque village, permettant de présenter l'importance de cette étude et de leur collaboration. Cette démarche préliminaire était très importante pour acquérir leur confiance et d'accroître leur motivation (Delaney et al., 2008).

Le suivi participatif adopté dans cette étude implique dans sa démarche la participation des acteurs peu formés à la discipline scientifique. La participation de la population locale n'a concerné que la phase de collecte des données, qui d'ailleurs se fait toujours sur la base du volontariat mais a nécessité la mise à disposition de petites compensations financières de 5 000Ar par pêcheur par mois, pour les inciter à cette recherche collaborative. Les phases préliminaires et d'analyse des données ont relevé de la seule responsabilité des scientifiques. Par ailleurs, il a été démontré la nécessité de contrôler la qualité des données qui en sont issues (Aswani et Weiant, 2004 ; Brenier, 2009).

Bien que la qualité des données collectées soit satisfaisante, quelques biais et limites de la méthode adoptée sont à considérer : l'oubli dans le remplissage des fiches de suivis et la falsification des déclarations sont toujours possibles malgré les contrôles réguliers effectués par les assistants locaux auprès des pêcheurs (Changeux et Zylberblat, 1993 ;

Becker et al., 2005). Cette situation ne s'est produite qu'au début de la période de suivi. Toutefois, nous avons sensibilisé les pêcheurs en leur précisant qu'il valait mieux ne pas remplir les fiches de suivi plutôt que de faire de fausses déclarations. Des erreurs dans les mesures des poissons capturés et aussi à la confusion dans leur classification (poissons récifaux ou pélagiques) sont probables qui peuvent induire les pêcheurs à remplir les fiches de suivi de manière erronée mais involontairement. Des erreurs dans la saisie des données ont été souvent rencontrées où certaines feuilles de pêcheurs étaient parfois difficile à déchiffrer, ce qui a fallu vérifier chaque fiche au moment de la récupération.

D'une manière générale, les données obtenues au cours des suivis réalisés semblent efficaces dans l'ensemble, au vu des résultats obtenus. La démarche adoptée dans cette recherche était encourageante, mais quelques améliorations sont encore envisageables. Comme les acteurs principaux dans la collecte des données sont amateurs à la discipline scientifique, le renforcement de leur capacité à travers des formations et de l'éducation s'avérait très important (Noss et al., 2005). Ceci contribuera à un renforcement des échanges et de la coopération, en particulier lors des séances de restitution des résultats (Whitelaw et al., 2004 ; Becker et al., 2005). Le suivi doit également être appuyé de près par un encadrement scientifique pour mieux vérifier la crédibilité et la fiabilité des données. Cet encadrement doit être accompagné par une évaluation ponctuelle de la qualité des données produites (Kearney et al., 2007).

CONCLUSION

Cette étude a permis de définir les caractéristiques des activités de pêche et d'estimer l'abondance des ressources de poissons récifaux dans la baie de Ranobe, région Sud-Ouest de Madagascar. Elle nous a aussi permis de tirer des points importants sur certains indicateurs halieutiques comme l'effort de pêche à partir des résultats de suivis participatifs de la pêche réalisés dans dix villages de pêcheurs de décembre 2019 à Août 2021 (19 mois consécutifs).

A partir des recensements effectués au cours de cette étude, on a pu estimer que le nombre des pêcheurs dans la baie de Ranobe a connu une évolution en 30 ans (1152 pêcheurs, soit plus de 35%) et que le filet maillant reste l'engin le plus utilisé par les pêcheurs (38% du total des pêcheurs recensés). Les données collectées dans les villages ciblés concernent également les profils de longueur d'engins de type filets, spécifiques aux villages et ont permis d'apprécier les caractéristiques distinctes des engins de pêche. L'analyse de l'effort de pêche a tenu compte de la dimension d'engins mesurés et a permis d'observer une variation spatio-temporelle entre les différents types d'engins étudiés. Pour l'année 2020, on a pu estimer un effort total de 244.820 sorties à l'échelle de la baie correspondant à une moyenne de 18 sorties par pêcheur par mois.

Les captures totales débarquées dans la baie a atteint 1580 tonnes durant toute la période (19 mois), où les 29% de la production estimée parviennent du village d'Ambolimailaky. La production moyenne mensuelle estimée dans la baie était de $81 \pm 1,7$ kg/pêcheur. La standardisation des données des CPUE a permis de supprimer la majeure partie de la variation temporelle des données qui n'est pas attribuable aux changements d'abondance. Dans cette recherche, le modèle GLMM utilisé a permis d'identifier que les facteurs explicatifs considérés (mois, engins, villages et l'interaction entre le mois et l'engin) présentent des effets significatifs qui influencent la variation d'abondance des ressources, et constituent un outil pertinent pour l'analyse des séries temporelles de CPUE.

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la caractérisation des petites pêcheries à Madagascar et les données collectées lors des suivis pourraient servir à une étude de plus grande envergure. Néanmoins, cette étude n'est qu'une partie d'un plus vaste programme de suivi de la baie. Cependant, elle donne plusieurs pistes de recherche pour un suivi à long terme des pêcheries récifales :

- Il est intéressant de connaître la position des zones de pêche et leur fréquentation, ainsi que la durée effective de pêche, de la même manière que cela a été fait dans la baie de Toliara,

- Il est aussi nécessaire d'étudier les compositions de captures afin d'identifier la structure des peuplements exploités et l'indicateur basé sur la composition spécifique,

- Il s'avérait très utile d'évaluer l'indicateur basé sur le spectre de tailles des populations exploitées afin d'affiner le diagnostic de l'impact de la pêche et de mettre en place par la suite des mesures de gestion plus efficaces.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abeare S., 2019.** The Vezo communities and fisheries of the coral reef ecosystem in the Bay of Ranobe, Madagascar. Thèse de doctorat. University of New Orleans. 309 p.
- Alfaro-Shigueto J., Mangel J. C., Pajuelo M., Dutton P., Seminoff J. et Godley B. J., 2010.** Where small can have a large impact. *Structure and characterization of small-scale fisheries in Peru. Fish Res.* pp.8–17.
- Andrefouet S., Guillaume M. M. M., Delval A., Rasoamanendrika F. M. A., Blanchot J. et Bruggemann J. H., 2013.** Fifty years of changes in reef flat habitats of the Grand Re´cif of Toliara (SW Madagascar) and the impact of gleaning, *Coral Reefs*, pp. 12-23.
- Aswani S. et Weiant P., 2004.** Scientific evaluation in women’s participatory management : Monitoring marine invertebrate refugia in the Solomon Islands. *Human Organization.* pp.301-319.
- Bach P., Gaertner D., Romanov E. et Travassos P., 2009.** Effects of the gear deployment strategy and current shear on pelagic longline shoaling. *Fish. Res.* pp. 55–64.
- Becker C., Agreda E., Astudillo M., Costantino D. et Torres P., 2005.** Community based monitoring of fog capture and biodiversity at Loma Alta, Ecuador enhance social capital and institutional cooperation. *Biodiversity and Conservation.* pp.2695- 2707.
- Behivoke F., Etienne M.-P., Guitton J., Randriatsara R. M., Ranaivoson E. et Léopold M. 2021.** Estimating fishing effort in small-scale fisheries using GPS tracking data and random forests, *Ecological Indicators, Vol. 123*, pp.107-321.
- Botsford L., Castilla J. & Peterson C., 1997.** The management of fisheries and marine ecosystems. *Science vol.277.* pp.509-515.
- Brenier A., 2009.** Pertinence des approches participatives pour le suivi écosystémique des pêcheries récifales. Thèse de doctorat. UFR des sciences de la vie. Université de Paris VI-Pierre et Marie Curie. 224 p.
- Brenier A., Mahafina J., Galzin R. and Ferraris J., 2013.** Approches participatives : une solution pour le suivi des pêcheries récifales ? *Natures Sciences Sociétés, Vol. 21, No. 3*, pp. 293–306.

- Bruggemann J. H., Rodier M., Guillaume M. M. M., Andréfouët S., Arfi R., Cinner J. E., Pichon M., Ramahatratra F., Rasoamanendrika F., Zinke J. and McClanahan T. R. 2012.** Wicked Social-Ecological Problems Forcing Unprecedented Change on the Latitudinal Margins of Coral Reefs : the Case of Southwest Madagascar, *Ecology and Society*, Vol. 17, pp.4-47.
- Caddy J. F., 2004.** Current usage of fisheries indicators and reference points, and their potential application to management of fisheries for marine invertebrates, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 61. No. 8. pp. 1307–1324.
- Campbell R., 2004.** CPUE standardisation and the construction of indices of stock abundance in a spatially varying fishery using general linear models. *Fish Res*, Vol. 70. pp.209-227.
- Changeux T. & Zylberblat M., 1993.** Analyse des statistiques de pêche aux engins dans le bassin du Rhône : étude de l'effort de pêche. *Bull. Fr. Pêche Piscic. (1993)*. Vol.330. pp.245-269.
- Cinner J. E. & McClanahan T. R., 2006.** Socioeconomic factors that lead to overfishing in small-scale coral reef fisheries of Papua New Guinea. *Environmental conservation*. Vol 33. pp.73–80.
- Clua E., Beliaeff B., Chauvet C., David G., Ferraris J., Kronen M., Kulbicki M., Labrosse P., Letourneur Y., Pelletier D., Thébaud O. and Léopold M., 2005.** Towards multidisciplinary indicator dashboards for coral reef fisheries management, *Aquatic Living Resources*, Vol. 18. No. 3. pp.199–213.
- Davies, Beanjara N. & Trengenza T., 2009.** A socio-economic perspective on gear-based management in an artisanal fishery in south-west Madagascar, *Fisheries Management and Ecology*, Vol. 16. pp. 279–289.
- Delaney D., Sperling C., Adams C. & Leung B., 2008.** Marine invasive species : validation of citizen science and implications for national monitoring networks. *Biol Invasions*. No. 10. pp.117–128.
- De la Puente S., Lopez D. Benaventes S., Sueiro J., Pauly D., 2020.** Growing into Poverty : Reconstructing Peruvian small-scale fishing Effort Between 1950 and 2018. *Front Mar sci*. Pp.507-681.

- Ecoutin J., Durand J., Lae R. & Hie-Daré J. P., 1994.** L'exploitation des stocks [IV. L'homme et les ressources vivantes]. *Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome II - Les milieux lagunaires*, pp.400-444.
- FAO, 1999.** Indicators for sustainable development of marine capture fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries., 68 p.
- FAO, 2016.** Cours de formation internationale en statistiques des pêches et collecte de données, par G. J de Graaf, F. Nunoo, P. Ofori Danson, G. Wiafe, E. Lamptey et P. Bannerman. No. 1091. Rome, Italie., FAO, *Circulaire sur les pêches et l'aquaculture*, 154 p.
- FAO, 2018.** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2018 ; Atteindre les objectifs de développement durable. 224 p.
- FAO, 2020.** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2020. FAO, 227 p.
- Fencl A., 2005.** The Role of Malagasy Women in Community Development : Analyzing the Potential for the Creation of a Women's Association for Alternative Livelihoods in Ifaty. 30p.
- Ferraris J., 1993.** Prise par unité d'effort et indice d'abondance en pêche artisanale : quelques éléments de réflexion à partir de la pêcherie sénégalaise. *Evaluation des ressources exploitables par la pêche artisanale sénégalaise*. pp. 10-16.
- Gascuel D., 2008.** Dynamique des populations et gestion des stocks halieutiques. Support de cours en ligne, Agrocampus Ouest/Campus numérique ENVAM éd, France, 125 p.
- Glazer J. P. & Butterworth D. S., 2010.** GLM-based standardization of the catch per unit effort series for South African west coast hake. Focusing on adjustments for targeting other species. *South African Journal of Marine Science*. No. 24 :1. pp. 323–339.
- Gonson C., Ferraris J., Thomassin A., Payrot J. and Jollit I., 2011.** Méthodologie statistique de sélection d'un indicateur d'usage pertinent et efficace à partir d'enquêtes sur la pêche plaisancière : comparaison des résultats de la Réserve Naturelle Marine à la Réunion, la Réserve Naturelle Marine de Cerbère-Banyuls et du, 100 p.
- Hanchet S. M., Blackwell R. G. and Dunn A., 2005.** Development and evaluation of catch per unit effort indices for southern blue whiting (*Micromesistius australis*) on the Campbell Island Rise, New Zealand. *ICES Journal of Marine Science*. Vol. 62, No. 6. pp.1131–1138.

- Harley S. J., Myers R. A. and Dunn A., 2001.** Is catch-per-unit-effort proportional to abundance? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. No.58. pp. 1760–1772.
- Hodgson G., 1999.** A global assessment of human effects on coral reefs. *Marine Pollution Bulletin*, No.38. pp. 345-355.
- Jackson J. B. C., Kirby M. X., Berger W. H., Bjorndal K. A., Botsford L. W., Bourque B. J., Bradbury R. H., Cooke R., Erlandson J., Estes J. A., Hughes T. P., Kidwell S., Lange C. B., Lenihan H. S., Pandolfi J. M., Peterson C. H., Steneck R. S., Tegner M. J. and work(s): R. R. W. R., 2001.** Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems, *Science, New Series*. Vol. 293. No. 5530. pp. 629–638.
- Jennings S. & Blanchard J. L., 2004.** Fish abundance with no fishing : predictions based on macroecological theory. *Journal of Animal Ecology*. Vol.73. pp. 632-642.
- Job S. & Virly S., 2009.** Définition d'indicateurs de suivi de l'état de santé des zones récifo-lagonaires de Nouvelle-Calédonie face au changement climatique. Rapport final d'opération ZONECO. 173 p.
- Jugant S., 2012.** Importance des récifs coralliens pour les poissons récifaux : exemple des Demoiselles (Pomacentridae), dans l'archipel des Maldives. 143 p.
- Kantoussan J., 2007.** Impacts de la pression de pêche sur l'organisation des peuplements de poissons : Application aux retenues artificielles de Sélingué et de Manantali, Mali, Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat. Agrocampus Rennes, 193 p.
- Karakulak S., 2004.** Catch and effort of the bluefin tuna purse-seine fishery in Turkish waters. *Fisheries Research*. Vol. 68. pp. 361-366.
- Karnauskas M. and Babcock E., 2012.** Comparisons between abundance estimates from underwater visual census and catch-per-unit-effort in a patch reef system, 14 p.
- Kearney J., Berkes F., Charles A., Pinkerton E. & Wiber M., 2007.** The role of participatory governance and community-based management in integrated coastal and ocean management in Canada., *Coast Manag*. No. 35. pp.79–104.
- Laroche J. and Ramanarivo N., 1995.** A preliminary survey of the artisanal fishery on coral reefs of the Tulear Region (southwest Madagascar). 8 p.

- Laroche J., Razanoelisoa J., Fauroux E. and Rabenevanana M. W., 1997.** The reef fisheries surrounding the south-west coastal cities of Madagascar, *Fisheries Management and Ecology*. Vol. 4. No. 4. pp.285–299.
- Laurans M., Gascuel D., Chassot E. & Thiam D., 2004.** Changes in the trophic structure of fish demersal communities in West Africa in the three last decades. *Aquatic Living Resources* No.17. pp. 163-173.
- Laurec A. & LeGuen J. C., 1981.** Dynamique des populations marines exploitées. Rapport scientifique Technique No. 45, Concepts et modèles CNEXO, 117 p.
- Lunn K. & Dearden P., 2006.** Monitoring small-scale marine fisheries : An example from Thailand's KO Chang Archipelago. *Fish Res.* Vol 77. pp. 60-71.
- Mahafina J., 2011.** Perception et comportement des pêcheurs pour une gestion durable de la biodiversité et de la pêche récifale : application au niveau des réserves marines temporaires du Sud-Ouest de Madagascar. Thèse de doctorat. En co-tutelle Université de La Réunion et Université de Toliara. 186 p.
- Mahatante T.P., 2017.** Ressources halieutiques et variabilités climatiques à Madagascar. *Editions Universitaires européennes*. pp.117-134.
- Maunder M., Sibert J., Fonteneau A., Hampton J., Kleiber P. & Harley S., 2006.** Interpreting catch per unit effort data to assess the status of individual stocks and communities. *ICES Journal of Marine Science*. Vol. 63. pp.1373–1385.
- Noss A., Oetting I. & Cuellar R., 2005.** Hunter self-monitoring by the Isoseno-Guarani in the Bolivian Chaco. *Biodiversity and Conservation*. No.14. pp.2679-2693.
- Ogle D. H., Wheeler P. & Dinno A., 2019.** FSA : Fisheries Stock Analysis. R package version 0.8.24. 53 p.
- Pelletier D., Garcia-Charton J., Ferraris J., David G., Thebaud O., Letourneur Y., Claudet J., Amand M., Kulbicki M. & Galzin R., 2005.** Designing indicators for assessing the effects of marine protected areas on coral reef ecosystems: A multidisciplinary standpoint. *Aquat Living Resour.* No. 18. pp.15-33.
- Pichon M., 1978.** Recherches sur les peuplements à dominance d'anthozoaires dans les récifs coralliens de Tuléar (Madagascar). *Atoll Research Bulletin*. Vol 222. pp.1–490.

- Pinheiro J. C. & Bates D. M., 2000.** Mixed-effects Models in S and S-plus. Springer, New York. *Vol. 55. No.3.* pp.1005–1018.
- Ratsimbazafy H. A., 2010.** Approche participative et étude des effets des réserves marines temporaires sur la population de poulpe (*Octopus cyanea*). Cas des réserves marines de « velondriake ». Mémoire de Master 2 en Sciences marines. IH.SM. Université de Toliara. 68p.
- R Core Team, 2018.** *R : A Language and Environment for Statistical Computing.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 103p.
- Raharinaivo L.R., 2018.** Etude de la maturité sexuelle des poissons capturés par les petits pêcheurs d'Ankilibe dans les herbiers de la baie de Toliara (Sud-Ouest de Madagascar). Mémoire de DEA en Océanologie appliquée. IHSM. Université de Toliara. 46p.
- Rakotonarivo W., 1998.** Les petits poissons pélagiques de la région de Toliara (Sud-Ouest de Madagascar) : biologie, écologie, exploitation et aménagement. Thèse de Doctorat. IH.SM. Université de Toliara, Madagascar. 129 p.
- Randriatsara R. M., 2018.** Etude spatiale de la pêche traditionnelle à partir de l'analyse des trajectoires des pirogues cas du village d'Ankilibe, Sud-Ouest de Madagascar. Mémoire de master 2 en science marine et halieutique. IH.SM. Université de Toliara. 46 p.
- Rejela M. N., 1993.** La pêche traditionnelle Vezo, Sud-Ouest de Madagascar. Un système d'exploitation dépassé ? Thèse de Doctorat. Université de Bordeaux 3. 384 p.
- Rice J. C. and Rochet M.-J., 2005.** A framework for selecting a suite of indicators for fisheries management. *ICES Journal of Marine Science. Vol. 62, No. 3.* pp. 516–527.
- Robinson L. & Sauer W., 2013.** A first description of the artisanal shark fishery in northern Madagascar : implications for management. *African Journal of Marine Science. No 35.* pp. 9-15.
- Sadovy Y., 2005.** Trouble on the reef: the imperative for managing vulnerable and valuable fisheries. *Fish and Fisheries. Vol 6.* pp.167-185 p.
- Schneider J. C., 2000.** Manual of Fisheries Survey Methods II : with periodic updates. Ann Arbor : Michigan Department of Natural Resources. *Fisheries Special Report.* 395 p.

- Sheridan C., Baele J. M., Kushmaro A., Fréjaville Y. and Eeckhaut I., 2014.** Terrestrial runoff influences white syndrome prevalence in SW Madagascar, *Marine Environmental Research*. Vol. 101. pp. 44–51.
- Stergiou K. I., Moutopoulos D. K., Casal H. J. & Erzini K., 2007.** Trophic signatures of small-scale fishing gears: implications for conservation and management. *Mar Ecol Prog Ser* Vol 333. pp.117–128.
- Todinanahary G., Lavitra T., Andriafanilo H., Puccini N., Grosjean P. & Eeckhaut I., 2017.** Community-based coral aquaculture in Madagascar : A profitable economic system for asimple rearing technique ? *No. 467*. pp.225–234.
- Van der Elst R., Everett B., Jiddawi N., Mwatha G., Afonso P. S. and Boule D., 2005.** Fish, fishers and fisheries of the Western Indian Ocean: their diversity and status. A preliminary assessment. *Philosophical Transactions of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. Vol. 363. No. 1826. pp.263–284.
- Whitelaw M., Berkes A., Charles J. & Kearney J., 2004.** Establishing the Canadian Community Monitoring Network. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol 88. pp.409- 418.
- Zwanenburg K., 2000.** The effects of fishing on demersal fish communities of the Scotian Shelf. *ICES Journal of Marine Science*. Vol 57. pp. 503-509.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Extrait d'une fiche de suivi participatif

Village :

Nom pêcheur :

Code :

Date	Période	Nbr de pêcheur à bord	Engin de pêche	Poids total captures (kg)	Poids de chacune des catégories (kg)			Zone(s) de pêche	Revenu(s)
Dimanche 22-déc	Jour				Gros pélagique :	Petit pélagique :	Autres :		
					Crabe bon :	Crabe mauvais :	Crevette :		
					Holothuries :	Calmars :	Poulpes :		
	Nuit				Gros pélagique :	Petit pélagique :	Autres :		
					Crabe bon :	Crabe mauvais :	Crevette :		
					Holothuries :	Calmars :	Poulpes :		
Lundi 23-déc	Jour				Gros pélagique :	Petit pélagique :	Autres :		
					Crabe bon :	Crabe mauvais :	Crevette :		
					Holothuries :	Calmars :	Poulpes :		
	Nuit				Gros pélagique :	Petit pélagique :	Autres :		
					Crabe bon :	Crabe mauvais :	Crevette :		
					Holothuries :	Calmars :	Poulpes :		
Mardi 24-déc	Jour				Gros pélagique :	Petit pélagique :	Autres :		
					Crabe bon :	Crabe mauvais :	Crevette :		
					Holothuries :	Calmars :	Poulpes :		
	Nuit				Gros pélagique :	Petit pélagique :	Autres :		
					Crabe bon :	Crabe mauvais :	Crevette :		
					Holothuries :	Calmars :	Poulpes :		
Mercredi 25-déc	Jour				Gros pélagique :	Petit pélagique :	Autres :		
					Crabe bon :	Crabe mauvais :	Crevette :		
					Holothuries :	Calmars :	Poulpes :		
	Nuit				Gros pélagique :	Petit pélagique :	Autres :		
					Crabe bon :	Crabe mauvais :	Crevette :		
					Holothuries :	Calmars :	Poulpes :		
Jeudi 26-déc	Jour				Gros pélagique :	Petit pélagique :	Autres :		
					Crabe bon :	Crabe mauvais :	Crevette :		
					Holothuries :	Calmars :	Poulpes :		
	Nuit				Gros pélagique :	Petit pélagique :	Autres :		
					Crabe bon :	Crabe mauvais :	Crevette :		
					Holothuries :	Calmars :	Poulpes :		
Vendredi 27-déc	Jour				Gros pélagique :	Petit pélagique :	Autres :		
					Crabe bon :	Crabe mauvais :	Crevette :		
					Holothuries :	Calmars :	Poulpes :		
	Nuit				Gros pélagique :	Petit pélagique :	Autres :		
					Crabe bon :	Crabe mauvais :	Crevette :		
					Holothuries :	Calmars :	Poulpes :		

ANNEXE 3 : Tableau récapitulatif des valeurs des efforts de pêche pour tous engins confondus

		Villages					
	Période	Tsingoritelo	Beravy	Ifaty	Madiorano	Ambolimailaky	Fitsitiky
2019	Déc.	7065		3929	2134	3233	4268
2020	Janv.	3430	2607	3830	1336	7905	2075
	Fév.	4129	4400	5011	956	5974	2696
	Mars	6210	3389	3294	1088	6713	2058
	Avr.	5742	5470	3695,3	4782	5216	2697
	Mai	3603	3570	3858	2208	5810	2679
	Juin	1917	3773	2513,4	1580	5468	1800
	Juil	1647	4692	3674	1612	4426	1383
	Aout	3059	3954	5829,7	2960	6758	3350
	Sep	3087	6008	2720	1384	2699	1122
	Oct.	2315	3833	3647	1558	3812	2881
	Nov.	2486	3351	4217	1208	3022	1257
	Déc.	3803	4333	3213,3	2547	-	1687
2021	Janv.	4173	4349	2737,4	1402	3493	2602
	Fév.	3944	3999	3150,2	1459	4261	1043
	Mars	4515	3839	3238	1996	4345	2183
	Avr.	6404	5579	-	2032	5357	5240
	Mai	4400	-	2040	-	1607	-
	Juin	3586	4548	3154	887	3873	6186
	Juil	5463	4341	3855,5	1724	5282	3060
	Aout	5012	4323	-	-	-	-

ANNEXE 4 : Tableau récapitulatif des valeurs des CPUE

Villages	Engins	N	Moyenne	IC
Ambolimailaky	Chalut à moustiquaire	20	10,25	1,588
Beravy	Chalut à moustiquaire	587	9,507	0,466
Fitsitiky	Chalut à moustiquaire	1297	9,511	0,465
Ifaty	Chalut à moustiquaire	172	5,368	0,753
Tsingoritelo	Chalut à moustiquaire	82	5,337	1,208
Ambolimailaky	Filet maillant	1530	6,524	0,333
Beravy	Filet maillant	861	3,974	0,242
Fitsitiky	Filet maillant	417	3,584	0,392
Ifaty	Filet maillant	1262	3,254	0,234
Madorano	Filet maillant	644	7,395	0,582
Tsingoritelo	Filet maillant	1853	2,957	0,11
Ambolimailaky	Fusil	1229	5,097	0,165
Beravy	Fusil	561	3,277	0,247
Fitsitiky	Fusil	457	2,222	0,201
Ifaty	Fusil	1837	1,632	0,092
Madorano	Fusil	688	2,655	0,189
Tsingoritelo	Fusil	1467	2,363	0,158
Ambolimailaky	Ligne à main	1766	3,932	0,131
Beravy	Ligne à main	2232	2,367	0,09
Fitsitiky	Ligne à main	946	4,005	0,248
Ifaty	Ligne à main	765	1,994	0,176
Madorano	Ligne à main	1239	3,277	0,181
Tsingoritelo	Ligne à main	835	3,811	0,225
Ambolimailaky	Senne de plage	333	11,087	0,518
Fitsitiky	Senne de plage	16	11,875	4,134
Ifaty	Senne de plage	314	9,201	1,124

ANNEXE 5 : Tableau récapitulatif des valeurs des CPUE standardisées

		Engins				
	Période	Filet maillant	Fusil	Ligne	Chalut	Senne de plage
2019	Déc.	2,66±0,11	2,34±0,07	1,96±0,07	4,45±0,15	6,60±0,10
2020	Janv.	1,56±0,24	2,25±0,18	1,96±0,07	4,45±0,15	6,60±0,10
	Fév.	1,32±0,22	2,13±0,16	1,96±0,07	4,45±0,15	4,24±0,27
	Mars	2,31±0,11	1,37±0,16	1,96±0,07	4,45±0,15	3,69±0,29
	Avr.	4,45±0,11	1,96±0,07	3,53±0,07	6,71±0,15	5,71±0,35
	Mai	3,84±0,21	2,89±0,15	2,99±0,16	5,86±0,08	8,41±0,44
	Juin	1,37±0,11	2,31±0,15	2,72±0,17	4,45±0,15	6,60±0,21
	Juil	2,66±0,11	0,85±0,07	1,96±0,07	4,45±0,15	6,60±0,10
	Aout	2,66±0,11	0,85±0,07	1,96±0,07	4,45±0,15	6,60±0,10
	Sep	2,66±0,11	0,85±0,07	2,66±0,16	4,45±0,15	6,60±0,10
	Oct.	3,42±0,22	1,64±0,16	1,96±0,07	4,45±0,15	6,60±0,10
	Nov.	2,66±0,11	2,46±0,18	2,79±0,18	4,45±0,15	6,60±0,32
	Déc.	2,99±0,37	2,56±0,15	2,59±0,29	7,78±0,08	6,30±0,36
2021	Janv.	3,28±0,37	2,99±0,15	2,43±0,28	8,53±0,08	5,15±0,52
	Fév.	2,99±0,38	3,13±0,30	3,28±0,29	8,70±0,08	11,70±0,21
	Mars	3,42±0,40	1,77±0,31	6,20±0,29	2,56±0,08	4,24±0,21
	Avr.	3,72±0,21	1,51±0,15	2,96±0,14	5,90±0,08	8,35±0,20
	Mai	4,28±0,11	1,12±0,40	1,96±0,07	4,45±0,15	6,60±0,10
	Juin	3,35±0,22	0,85±0,16	3,06±0,16	6,00±0,08	4,12±0,50
	Juil	2,66±0,11	2,62±0,23	1,96±0,07	4,45±0,15	6,60±0,44
	Aout	3,46±0,24	1,56±0,18	2,99±0,18	4,45±0,15	6,60±0,23

ANNEXE 6 : Tableau récapitulatif des statistiques des engins mesurés

Statistique	Engins de pêche		
	Filet maillants	Chalut	Senne de plage
Longueur minimum (m)	83,3	23,6	85
Longueur maximum (m)	1060,1	75,4	135,3
Moyenne (m)	370,7	42,2	109,5
Médiane (m)	334,8	37,4	108,1
Mode (m)	250	30,1	100

ANNEXE 7 : Sorties statistiques des tests de Tukey

✚ Engin filet maillant

data: CPUE_FM\$CPUE and CPUE_FM\$village

	Ambolimailaky	Beravy	Fitsitiky	Ifaty	Madiorano
Beravy	< 2e-16	-	-	-	-
Fitsitiky	< 2e-16	0.35925	-	-	-
Ifaty	< 2e-16	0.00412	0.35925	-	-
Madiorano	0.00085	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16	-
Tsingoritelo	< 2e-16	2.9e-06	0.06999	0.28452	< 2e-16

✚ Engin Fusil

data: CPUE_FU\$CPUE and CPUE_FU\$village

	Ambolimailaky	Beravy	Fitsitiky	Ifaty	Madiorano
Beravy	< 2e-16	-	-	-	-
Fitsitiky	< 2e-16	1.6e-09	-	-	-
Ifaty	< 2e-16	< 2e-16	0.00010	-	-
Madiorano	< 2e-16	0.00015	0.01992	< 2e-16	-
Tsingoritelo	< 2e-16	2.7e-11	0.31950	3.0e-14	0.03359

✚ Engin ligne à main

data: CPUE_LN\$CPUE and CPUE_LN\$village

	Ambolimailaky	Beravy	Fitsitiky	Ifaty	Madiorano
Beravy	< 2e-16	-	-	-	-
Fitsitiky	0.6455	< 2e-16	-	-	-
Ifaty	< 2e-16	0.0087	< 2e-16	-	-
Madiorano	8.5e-09	< 2e-16	4.1e-08	< 2e-16	-
Tsingoritelo	0.6455	< 2e-16	0.4836	< 2e-16	0.0002

✚ Engin Chalut à moustiquaire

data: CPUE_CM\$CPUE and CPUE_CM\$village

	Ambolimailaky	Beravy	Fitsitiky	Ifaty
Beravy	1.000	-	-	-
Fitsitiky	1.000	1.000	-	-
Ifaty	0.035	2.0e-09	1.2e-10	-
Tsingoritelo	0.043	1.7e-05	8.4e-06	1.000

✚ Engin Senne de plage

data: CPUE_SP\$CPUE and CPUE_SP\$village

	Ambolimailaky	Fitsitiky
Fitsitiky	0.695	-
Ifaty	0.007	0.368

P-value adjustment method : « Tukey »

ANNEXE 8 : Sorties statistiques du modèle GLMM pour les données des CPUE.

```
method [lmerModLmerTest]
Formula: sqrtCPUE ~ engin + mois + mois * engin + (1 | village) + (1 |
code_pecheur)
Data: data_CPUE
```

```
      AIC      BIC   logLik deviance df.resid
49620.0 50437.8 -24708.0 49416.0   22329
```

Scaled residuals:

```
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-4.6649 -0.6109 -0.0231  0.6159  4.9183
```

Random effects:

```
Groups      Name      Variance Std.Dev.
code_pecheur (Intercept) 0.22671  0.4761
village      (Intercept) 0.05977  0.2445
Residual                    0.50009  0.7072
```

Number of obs: 22431, groups: code_pecheur, 485; village, 6

Fixed effects:

	Estimate	Std. Error	df	t value
(Intercept)	2.109e+00	1.491e-01	2.738e+01	14.144
enginFilet maillant	-4.775e-01	1.183e-01	2.235e+04	-4.038
enginFusil-harpon	-1.191e+00	1.133e-01	2.234e+04	-10.508
enginLigne à main	-7.079e-01	1.169e-01	2.227e+04	-6.054
enginSenne de plage	4.633e-01	1.741e-01	1.603e+04	2.661
moisaout_21	-1.323e-01	1.412e-01	2.225e+04	-0.936
moisavr_20	4.783e-01	1.413e-01	2.242e+04	3.384
moisavr_21	3.158e-01	1.280e-01	2.212e+04	2.467
moisdec_19	-5.693e-02	1.815e-01	2.234e+04	-0.314
moisdec_20	6.785e-01	1.345e-01	2.238e+04	5.044
moisfev_20	1.811e-01	1.267e-01	2.236e+04	1.430
moisfev_21	8.447e-01	1.370e-01	2.242e+04	6.166
moisjanv_20	1.524e-01	1.439e-01	2.240e+04	1.059
moisjanv_21	8.119e-01	1.315e-01	2.225e+04	6.174
moisjui_20	1.198e-01	1.325e-01	2.217e+04	0.904
moisjui_21	2.958e-03	2.122e-01	2.241e+04	0.014
moisjuin_20	1.914e-02	1.284e-01	2.214e+04	0.149
moisjuin_21	3.457e-01	1.368e-01	2.225e+04	2.526
moismai_20	3.312e-01	1.284e-01	2.220e+04	2.578
moismai_21	-6.514e-02	1.169e-01	2.228e+04	-0.557
moismar_20	1.665e-01	1.290e-01	2.214e+04	1.291
moismar_21	-5.141e-01	1.415e-01	2.152e+04	-3.633

enginFilet maillant:moisavr_21	1.463e-01	1.410e-01	2.221e+04	1.037	0.299631	
enginFusil-harpon:moisavr_21	9.946e-03	1.391e-01	2.219e+04	0.071	0.943001	
enginLigne à main:moisavr_21	1.405e-01	1.396e-01	2.224e+04	1.006	0.314277	
enginSenne de plage:moisavr_21	-5.354e-01	3.603e-01	2.206e+04	-1.486	0.137319	
enginFilet maillant:moisdec_19	-2.526e-01	1.945e-01	2.231e+04	-1.299	0.193877	
enginFusil-harpon:moisdec_19	6.168e-01	1.943e-01	2.227e+04	3.175	0.001502	**
enginLigne à main:moisdec_19	2.313e-01	2.021e-01	2.197e+04	1.144	0.252446	
enginFilet maillant:moisdec_20	-4.995e-01	1.485e-01	2.238e+04	-3.364	0.000770	***
enginFusil-harpon:moisdec_20	-2.575e-02	1.464e-01	2.237e+04	-0.176	0.860326	
enginLigne à main:moisdec_20	-4.710e-01	1.446e-01	2.239e+04	-3.258	0.001122	**
enginSenne de plage:moisdec_20	-7.370e-01	2.911e-01	2.243e+04	-2.532	0.011345	*
enginFilet maillant:moisfev_20	-4.443e-01	1.444e-01	2.243e+04	-3.078	0.002089	**
enginFusil-harpon:moisfev_20	5.477e-01	1.426e-01	2.236e+04	3.841	0.000123	***
enginLigne à main:moisfev_20	-1.461e-01	1.411e-01	2.242e+04	-1.036	0.300365	
enginSenne de plage:moisfev_20	-5.088e-01	2.024e-01	2.224e+04	-2.514	0.011943	*
enginFilet maillant:moisfev_21	-7.521e-01	1.535e-01	2.241e+04	-4.900	9.63e-07	***
enginFusil-harpon:moisfev_21	-4.347e-01	1.495e-01	2.242e+04	-2.908	0.003640	**
enginLigne à main:moisfev_21	-4.417e-01	1.490e-01	2.242e+04	-2.966	0.003023	**
enginFilet maillant:moisjanv_20	-3.766e-01	1.607e-01	2.243e+04	-2.344	0.019093	*
enginFusil-harpon:moisjanv_20	5.826e-01	1.567e-01	2.242e+04	3.719	0.000201	***
enginLigne à main:moisjanv_20	5.002e-02	1.580e-01	2.242e+04	0.317	0.751562	
enginSenne de plage:moisjanv_20	-2.577e-01	2.060e-01	2.237e+04	-1.251	0.210862	
enginFilet maillant:moisjanv_21	-6.332e-01	1.471e-01	2.227e+04	-4.305	1.68e-05	***
enginFusil-harpon:moisjanv_21	-2.158e-01	1.459e-01	2.233e+04	-1.479	0.139107	
enginLigne à main:moisjanv_21	-6.472e-01	1.425e-01	2.229e+04	-4.542	5.60e-06	***
enginSenne de plage:moisjanv_21	-1.117e+00	2.691e-01	2.218e+04	-4.151	3.32e-05	***
enginFilet maillant:moisjui_20	2.101e-02	1.466e-01	2.225e+04	0.143	0.886052	
enginFusil-harpon:moisjui_20	1.093e-01	1.397e-01	2.217e+04	0.783	0.433890	
enginLigne à main:moisjui_20	-4.145e-02	1.418e-01	2.218e+04	-0.292	0.770068	
enginSenne de plage:moisjui_20	-2.857e-01	1.876e-01	2.231e+04	-1.523	0.127786	
enginFilet maillant:moisjui_21	1.474e-02	2.208e-01	2.242e+04	0.067	0.946761	
enginFusil-harpon:moisjui_21	7.001e-01	2.190e-01	2.241e+04	3.196	0.001395	**
enginLigne à main:moisjui_21	2.246e-01	2.232e-01	2.241e+04	1.007	0.314149	
enginSenne de plage:moisjui_21	-1.484e-01	3.468e-01	2.233e+04	-0.428	0.668733	
enginFilet maillant:moisjuin_20	1.802e-01	1.458e-01	2.222e+04	1.236	0.216620	
enginFusil-harpon:moisjuin_20	5.965e-01	1.380e-01	2.220e+04	4.321	1.56e-05	***
enginLigne à main:moisjuin_20	2.480e-01	1.390e-01	2.220e+04	1.785	0.074305	.
enginSenne de plage:moisjuin_20	-4.572e-01	1.985e-01	2.204e+04	-2.303	0.021286	*
enginFilet maillant:moisjuin_21	-1.516e-01	1.497e-01	2.232e+04	-1.013	0.311126	
enginFusil-harpon:moisjuin_21	2.372e-02	1.573e-01	2.215e+04	0.151	0.880166	
enginLigne à main:moisjuin_21	-3.343e-02	1.502e-01	2.224e+04	-0.223	0.823848	
enginSenne de plage:moisjuin_21	-8.913e-01	2.525e-01	2.206e+04	-3.530	0.000416	***
enginFilet maillant:moismai_20	-5.339e-02	1.424e-01	2.226e+04	-0.375	0.707714	
enginFusil-harpon:moismai_20	4.497e-01	1.367e-01	2.225e+04	3.290	0.001003	**
enginLigne à main:moismai_20	-1.553e-01	1.399e-01	2.227e+04	-1.111	0.266734	
enginSenne de plage:moismai_20	-5.426e-01	2.179e-01	2.207e+04	-2.490	0.012784	*

enginFilet maillant:moismai_21	4.416e-01	1.703e-01	2.228e+04	2.593	0.009534	**
enginFusil-harpon:moismai_21	1.434e+00	3.651e-01	2.160e+04	3.928	8.59e-05	***
enginFilet maillant:moismar_20	-1.098e-01	1.461e-01	2.221e+04	-0.751	0.452425	.
enginFusil-harpon:moismar_20	2.463e-01	1.426e-01	2.198e+04	1.727	0.084170	.
enginLigne à main:moismar_20	-5.892e-03	1.458e-01	2.155e+04	-0.040	0.967775	.
enginSenne de plage:moismar_20	-9.851e-01	2.209e-01	1.977e+04	-4.460	8.23e-06	***
enginFilet maillant:moismar_21	7.287e-01	1.576e-01	2.191e+04	4.623	3.81e-06	***
enginFusil-harpon:moismar_21	9.266e-01	1.592e-01	2.189e+04	5.820	5.98e-09	***
enginLigne à main:moismar_21	5.758e-01	1.527e-01	2.171e+04	3.771	0.000163	***
enginFilet maillant:moisnov_20	4.039e-02	1.592e-01	2.240e+04	0.254	0.799667	.
enginFusil-harpon:moisnov_20	6.490e-01	1.582e-01	2.236e+04	4.103	4.10e-05	***
enginLigne à main:moisnov_20	2.715e-01	1.579e-01	2.237e+04	1.720	0.085473	.
enginSenne de plage:moisnov_20	-4.847e-02	2.475e-01	2.239e+04	-0.196	0.844749	.
enginFilet maillant:moisoct_20	3.151e-01	1.410e-01	2.221e+04	2.234	0.025488	*
enginFusil-harpon:moisoct_20	3.573e-01	1.368e-01	2.216e+04	2.611	0.009027	**
enginLigne à main:moisoct_20	1.914e-01	1.395e-01	2.221e+04	1.372	0.170079	.
enginSenne de plage:moisoct_20	8.553e-02	1.903e-01	2.205e+04	0.450	0.653035	.
enginFilet maillant:moissep_20	1.509e-01	1.329e-01	2.212e+04	1.135	0.256341	.
enginFusil-harpon:moissep_20	2.073e-02	1.284e-01	2.209e+04	0.162	0.871687	.
enginLigne à main:moissep_20	2.265e-01	1.298e-01	2.212e+04	1.744	0.081144	.
enginSenne de plage:moissep_20	-1.443e-01	1.927e-01	2.201e+04	-0.749	0.454002	.

ANNEXE 9 : Script R utilisé pour les jeux des données

```

###Importer la BDD_ranobe
ranobe<- read_excel("E:/Stage M2/BDD_ranobe/BDD/BDD_ranobe.xlsx",
                  col_types = c("date", "text", "text",
                              "text", "text", "text", "text", "numeric",
                              "numeric", "numeric", "numeric",
                              "numeric"))

View(ranobe)
#data frame
ranobe<-data.frame(ranobe)
#ranobe$date<- convertToDate(ranobe$date, origin = "1900-01-01")
ranobe$date<-as.Date(ranobe$date, format="%d/%m/%Y")

##### Trier les donnees par periode:1 mois #####
P1<-ranobe[ranobe$date>="2019-12-01" & ranobe$date<="2019-12-31",]
P2<-ranobe[ranobe$date>="2020-01-01" & ranobe$date<="2020-01-31",]
P3<-ranobe[ranobe$date>="2020-02-01" & ranobe$date<="2020-02-28",]
P4<-ranobe[ranobe$date>="2020-03-01" & ranobe$date<="2020-03-31",]
P5<-ranobe[ranobe$date>="2020-04-01" & ranobe$date<="2020-04-30",]
P6<-ranobe[ranobe$date>="2020-05-01" & ranobe$date<="2020-05-31",]
P7<-ranobe[ranobe$date>="2020-06-01" & ranobe$date<="2020-06-30",]
P8<-ranobe[ranobe$date>="2020-07-01" & ranobe$date<="2020-07-31",]
P9<-ranobe[ranobe$date>="2020-08-01" & ranobe$date<="2020-08-31",]
P10<-ranobe[ranobe$date>="2020-09-01" & ranobe$date<="2020-09-30",]
P11<-ranobe[ranobe$date>="2020-10-01" & ranobe$date<="2020-10-31",]
P12<-ranobe[ranobe$date>="2020-11-01" & ranobe$date<="2020-11-30",]
P13<-ranobe[ranobe$date>="2020-12-01" & ranobe$date<="2020-12-31",]
P14<-ranobe[ranobe$date>="2021-01-01" & ranobe$date<="2021-01-31",]
P15<-ranobe[ranobe$date>="2021-02-01" & ranobe$date<="2021-02-28",]
P16<-ranobe[ranobe$date>="2021-03-01" & ranobe$date<="2021-03-31",]
P17<-ranobe[ranobe$date>="2021-04-01" & ranobe$date<="2021-04-30",]
P18<-ranobe[ranobe$date>="2021-05-01" & ranobe$date<="2021-05-31",]
P19<-ranobe[ranobe$date>="2021-06-01" & ranobe$date<="2021-06-30",]
P20<-ranobe[ranobe$date>="2021-07-01" & ranobe$date<="2021-07-31",]

```

```

#Filtre applique? au data.frame (suppression des jrs de suivi inferieur à 3)
data_ranobe <- subset(df_ranobe,Jr_suivi>3)
summary(data_ranobe)

####grouper par: village,mois,maree,engin)
BDD_ranobe<-data_ranobe%>%dplyr::group_by(mois,village,engin,code_pecheur,Nbr_jr_mens,Jr_suivi)%>%
  dplyr::summarise(sortie=length(date),mean_pui_pec=(mean(UE)))

summary(BDD_ranobe)
##### calcul des indicateurs halieutiques#####
####Effort nominal
####Taux d'activite individuel des pecheurs suivis
BDD_ranobe$TA<-BDD_ranobe$sortie/BDD_ranobe$Jr_suivi
summary(BDD_ranobe)
####Taux d'activite moyen mensuel par engin et par village|
t_student<-1.96

BDD_EFFORT<-BDD_ranobe%>%
  dplyr::group_by(mois,village,engin,Nbr_jr_mens)%>%
  dplyr::summarise(Tac_moyen=mean(TA, na.rm=T), Tac_sd=sd(TA,na.rm=T),N=length(code_pecheur),mean_pui_pec=(mean(mean_pui_pec)))
BDD_EFFORT$Tac_se <- BDD_EFFORT$Tac_sd/sqrt(BDD_EFFORT$N)
BDD_EFFORT$Tac_IC<-BDD_EFFORT$Tac_se*t_student
summary(BDD_EFFORT)
#### Importation des donnees effectif pecheur
Effectif_pecheur_engin<- read_excel("E:/Stage M2/BDD_ranobe/BDD/Nbre_pecheurs_Ranobe.xlsx",
  sheet = "Effectif_pec_engin", col_types = c("text",
  "text", "numeric"))

BDD_EFFORT<-left_join(BDD_EFFORT,Effectif_pecheur_engin, by=c("village","engin"))
BDD_EFFORT$EFFORT<-BDD_EFFORT$Nbr_jr_mens*BDD_EFFORT$Tac_moyen*BDD_EFFORT$pecheurs_actifs
BDD_EFFORT$BDD_EFFORT_GLOBAL<-BDD_EFFORT$Nbr_jr_mens*BDD_EFFORT$Tac_moyen*BDD_EFFORT$pecheurs_actifs*BDD_EFFORT$mean_pui_pec
BDD_EFFORT$EFF_IC<-BDD_EFFORT$Nbr_jr_mens*BDD_EFFORT$Tac_IC*BDD_EFFORT$pecheurs_actifs
BDD_EFFORT$EFF_GLOB_IC<-BDD_EFFORT$Nbr_jr_mens*BDD_EFFORT$Tac_IC*BDD_EFFORT$pecheurs_actifs*BDD_EFFORT$mean_pui_pec
.....
##### CPUE par sortie par rapport à la dimension de l'engin (kg/sortie) #####
data_CPUE<-data_ranobe
data_CPUE$CPUE <- data_CPUE$poids_poissons_recifaux/data_CPUE$UE
summary(data_CPUE)

#####Création d'un data frame incluant plusieurs variables avec CPUE

data_CPUE=data.frame(data_CPUE$mois,data_CPUE$village,data_CPUE$engin,data_CPUE$maree,data_CPUE$CPUE, data_CPUE$code_pecheur)
colnames(data_CPUE) <- c("mois","village","engin","Maree","CPUE", "code_pecheur")

##### CPUE Triée par engin #####
CPUE_FM<- data_CPUE%>%
  select(mois,village,engin,Maree,code_pecheur,CPUE)%>%
  filter(engin=="Filet maillant")

CPUE_FU<- data_CPUE%>%
  select(mois,village,engin,Maree,code_pecheur,CPUE)%>%
  filter(engin=="Fusil-harpon")

CPUE_LN<- data_CPUE%>%
  select(mois,village,engin,Maree,code_pecheur,CPUE)%>%
  filter(engin=="Ligne à main")

CPUE_CM<- data_CPUE%>%
  select(mois,village,engin,Maree,code_pecheur,CPUE)%>%
  filter(engin=="Chalut à moustiquaire")

CPUE_SP<- data_CPUE%>%
  select(mois,village,engin,Maree,code_pecheur,CPUE)%>%
  filter(engin=="senne de plage")
#####
##### Estimation de la production #####
Data_PRODUCTION <- left_join(BDD_EFFORT,BDD_CPUE_moyenne, by=c("mois","village","engin"))
mois=Data_PRODUCTION$mois
village=Data_PRODUCTION$village
engin=Data_PRODUCTION$engin
TA_moyen=Data_PRODUCTION$Tac_moyen
TA_se=Data_PRODUCTION$Tac_se
CPUE_moyenne=Data_PRODUCTION$CPUE_moyenne
se_cpue=Data_PRODUCTION$se
Nbr_jr_mens=Data_PRODUCTION$Nbr_jr_mens
pecheurs_actifs=Data_PRODUCTION$pecheurs_actifs
mean_pui_pec=Data_PRODUCTION$mean_pui_pec
PRODUCTION<-data.frame(mois,village,engin,TA_moyen,TA_se,CPUE_moyenne,se_cpue,Nbr_jr_mens,pecheurs_actifs,mean_pui_pec )
hist(BDD_EFFORT$N, breaks=30)
PRODUCTION$se_xy_2<-(PRODUCTION$TA_moyen)^2+(PRODUCTION$se_cpue)^2+(PRODUCTION$CPUE_moyenne)^2+(PRODUCTION$TA_se)^2+
  (PRODUCTION$se_cpue)^2+(PRODUCTION$TA_se)^2
PRODUCTION$se_xy<-sqrt(PRODUCTION$se_xy_2)
PRODUCTION$cpue_jr <- PRODUCTION$TA_moyen*PRODUCTION$CPUE_moyenne
PRODUCTION$captures <- PRODUCTION$cpue_jr*PRODUCTION$Nbr_jr_mens*PRODUCTION$pecheurs_actifs*PRODUCTION$mean_pui_pec
PRODUCTION$captures_IC <- PRODUCTION$se_xy*t_student*PRODUCTION$Nbr_jr_mens*PRODUCTION$pecheurs_actifs*PRODUCTION$mean_pui_pec
PRODUCTION$captures_par_pec<-PRODUCTION$captures/PRODUCTION$pecheurs_actifs
summary(PRODUCTION)

```

```
#####
##### Modèle linéaire Mixte (GLMM) #####
data_CPUE <- subset(data_CPUE, CPUE < 15)
plot(density(data_CPUE$CPUE))

# transformation des données par racine carrée
data_CPUE$sqrtCPUE <- sqrt(data_CPUE$CPUE)
hist(data_CPUE$sqrtCPUE)
summary(data_CPUE)

# recherche de l'asymétrie pour normalisation
library(moments)
skewness(data_CPUE$sqrtCPUE, na.rm = TRUE) #pas d'asymétrie, ok

##facteurs aleatoires: villages/code pecheur
data_CPUE$village<- factor(data_CPUE$village)
data_CPUE$code_pecheur<- factor(data_CPUE$code_pecheur)

#Fonction lmer du package lme4
M1<-lmer(sqrtCPUE ~ engin + mois + mois*engin + (1|village) + (1|code_pecheur), data=data_CPUE,REML=FALSE)
summary(M1)

#Intervalle de confiance
confint(M1, oldNames = FALSE)

#correlation
print(M1, correlation=TRUE)

#plot des residus
E1<-resid(M1, type = "pearson")
F1<-fitted(M1)
plot(x=F1,y=E1, xlab="fitted values", ylab="Pearson residuals")
abline(0,0, col="red")

#Normalité des residus
qqnorm(resid(M1),col="blue")
qqline(resid(M1),col="red")
hist(resid(M1))

#coeff
eff_fixes<-fixef(M1)
eff_alea<-ranef(M1)$village
head(eff_alea)
```