



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 participative d'indicateurs d'état
des ressources en crabes de mangrove dans le
sud-ouest de Madagascar (zone de Morombe)*

Présenté par : FANAMBINANTSOA Heriniaina Stéphano Duolah

Soutenu publiquement le : 20 Avril 2022

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

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

Dr. JARISOA Tsarahevitra (**Président**)

Pr. LAVITRA Thierry (**Examineur**)

Dr. RASOLOFONIRINA Richard (**Examineur**)

REMERCIEMENTS

Ce mémoire de fin d'études n'aurait pas pu se réaliser sans la contribution de quelques personnes à qui je voudrais témoigner ici ma profonde gratitude.

Toute ma considération se porte à l'endroit de Dr MAHAFINA Jamal Angelot, Directeur de l'Institut Halieutiques et des Sciences Marines (IH.SM) qui œuvre au bon fonctionnement de l'institut.

Mes sincères remerciements vis-à-vis de Dr. RANIVOARIVELO Lantoasinoro, Chef de Mention de l'IH.SM de m'avoir permis à suivre la formation au sein de cet institut.

J'adresse mes profondes gratitude à Dr. LÉOPOLD Marc, co-encadrant et non moins coordonnateur du projet CORECRABE qui m'a autorisé d'effectuer ce stage au sein de ce projet et du Laboratoire Mixte International Mikaroka (LMI). Tout au long de ce travail, vous vous êtes investi même étant à l'étranger. Merci pour vos encadrements et vos précieux conseils.

Je suis reconnaissant à l'égard de Dr. RAZANOELISOA Jacqueline, enseignant-chercheur à l'IH.SM et à la fois co-encadrant qui a consacré son temps à l'amélioration de ce manuscrit avec ses recommandations et conseils pertinents.

Gratitude à l'endroit de tous les enseignants et à la grande famille de l'IH.SM pour la qualité de la formation que j'ai reçu ici durant ces 5 années d'études. Je tiens également à remercier Dr. RABERINARY Daniel et l'équipe du projet CORECRABE (ZAFIMAMATRAPEHY Deutz et consort) pour leur aide et instruction.

Je ne saurais oublier les pêcheurs de crabe de la zone de Morombe, d'Andranopasy au nord jusqu'à Vatoavo au sud, les autorités locales, mes compagnons de terrain, les sociétés de collecte et leur personnel, en particulier COPEFRITO. Je tiens à leur remercier spécialement pour leur hospitalité, sympathie et aide technique au cours des mois de terrain.

Une attention particulière est attribuée à ma famille, spécialement à ma mère pour son soutien moral et financière depuis mon enfance, Maman les mots sont très faibles pour exprimer toute ma reconnaissance envers toi.

Bien évidemment, je remercie tous mes amis issue de la promotion *Delphinus delphis* et surtout mes collègues de bureau, une équipe formidable de jeunes chercheurs, travailler avec vous est un pur plaisir. A tous et à toutes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, soyez assuré de ma profonde reconnaissance.

MAHAVELO BEVATA !

RESUME

La pêche au crabe de mangrove est une filière d'une importance majeure dans le monde et à Madagascar du fait de sa contribution sur les plans économique et social. Faute d'un suivi halieutique fiable, l'état de la ressource n'est pas connu. De ce fait, un protocole de suivi participatif a été mis en œuvre dans la pêche de crabe de mangrove de la zone de Morombe, sud-ouest de Madagascar entre avril et août 2021. L'objectif était d'évaluer les indicateurs halieutiques d'état des ressources de crabe: indice d'abondance (CPUE) et structure en tailles par la mesure de la longueur céphalothoracique (LC) des crabes. L'acquisition des données était basée sur une approche participative et collaborative en collectant des informations sur les activités des pêcheurs et leurs captures.

Au total, 699 pêcheurs au crabe ont été recensés dont 68% effectuaient la pêche au crochet, 20% et 12% pratiquaient respectivement la pêche à la balance et à la ligne. L'effort de pêche enregistré au cours de la période était de 27 733 sorties (5 550 sorties par mois en moyenne). La taille minimale et maximale des crabes pêchés au niveau des villages étaient respectivement 3,3 cm et 15,6 cm. La moyenne était de $10,0 \pm 0,2$ cm, et presque 60% des captures étaient des crabes moins de 11 cm (taille minimale de capture réglementaire). La capture par unité d'effort (CPUE) a été significativement différente pour les trois engins de pêche. Elle était en moyenne de $5 \pm 0,2$ kg/sortie pour le crochet, $0,2 \pm 0,01$ kg/sortie/ balance et $0,1 \pm 0,01$ kg/sortie/ ligne. Les CPUE standardisées au moyen d'un modèle linéaire mixte généralisé (GLMM) ont révélé que les variables mois, engins et leur interaction avaient un effet significatif sur l'abondance des crabes. Elle suivait une même tendance descendante régressive sur la période de suivi ainsi pour les différents engins. L'étude de ces indicateurs relève que les ressources en crabes étaient abondantes selon les périodes dans la zone de Morombe et que la durabilité de la pêche était menacée avec les captures des crabes juvéniles.

Mots clés : pêche au crabe, suivi participatif, indice d'abondance, structure en taille, Morombe.

ABSTRACT

The mud crab fishery is important in the world and in Madagascar because of its contribution to the economic and social plan. Due to the lack of reliable fisheries monitoring, the state of the resource is not known. So, a participatory monitoring protocol was implemented in the mud crab fishery in the Morombe area, southwest of Madagascar during april until august 2021. The objective was to assess fishery indicators of the state of crab resources: abundance index (CPUE) and size structure by measuring cephalothoracic length (CL). Data acquisition was based on a participatory and collaborative approach by collecting information on fishermen's activities and their catches. The main gears used in the area were: hook, scale and line.

A total of 699 crab fishermen were recorded, 68% of whom fished with hooks, 20% with scales and 12% with lines. The fishing effort recorded during the period was 27 733 trips (an average of 5 550 trips per month). The minimum and maximum sizes of crabs caught in the villages were 3.3 cm and 15.6 cm respectively. The average was 10.0 ± 0.2 cm, and almost 60% of the catches were crabs smaller than 11 cm (minimum legal catch size). The catch per unit effort (CPUE) was significantly different for the three gears. It was on average 5 ± 0.2 kg/trip for the hook, 0.2 ± 0.01 kg/trip/hoop net and 0.1 ± 0.01 kg/trip/line. Standardized CPUE using a generalized linear mixed model (GLMM) revealed that the variables months, gear and their interaction had a significant effect on crab abundance. It followed the same regressive downward trend over the monitoring period as well for the different gears. The study of these indicators shows that crab resources were abundant during different periods in the Morombe area and that the sustainability of the fishery was threatened with catch of juveniles.

Key words: mud crab fishery, participatory monitoring, abundance index, size structure, Morombe.

FAMINTINANA

Seha-pihariana manan-danja eran-tany sy eto Madagasikara ny jono drakaka eo amin'ny fampiroboroboana ny lafiny ara-toekarena sy sosialy. Noho ny tsy fahampian'ny fanaraha-maso azo antoka dia tsy fantatra mazava tsara ny toetoetran'io harena io ao anaty rano sy ala honko. Noho izany, nisy ny fanaraha-maso andraisan'ny rehetra anjara teo amin'ny jono drakaka tany Morombe, faritra atsimo-andrefan'i Madagasikara tamin'ny volana aprily ka hatramin'ny aogositra ny taona 2021. Ny tanjona dia ny hanombanana ny mari-pamantarana momba ny drakaka: ny vokatra ny jono araka ny ezaka natao sy ny hangezan'ny drakaka voajono amin'ny alalan'ny fandrefesana ny halavan'ny harany. Nifototra tamin'ny fiaraha-miasa tamin'ny fanangonam-baovao momba ny asan'ny mpanjono sy ny hazany ny asa natao. Ny fitaovana ampiasaina amin'iny faritra iny amin'ny fanjonoana drakaka dia: ny *fingavitsy*, ny *gamela* ary ny *vinta*.

Nahatratra 699 ny isan'ireo mpanjono drakaka voasoratra anarana ka ny 68% tamin'izy ireo no mpanjono anaty honko mampiasa *fingavitsy*, 20% ary ny 12% kosa no nanao fanjonoana amin'ny *gamela* sy *vinta*. Ny ezaka fanjonoana voarakitra nandritra ny vanim-potoana dia 27.733 fivoahana (izany hoe 5.550 eo ho eo isam-bolana). 3,3 sentimetatra sy 15,6 sentimetatra ny refin'ny drakaka farany kely sy lehibe indrindra azon'ireo mpanjono. Ny antsasa-manilan'ny drakaka voajono dia $10,0 \pm 0,2$ sentimetatra, ary saika ny 60% amin'ny vokatra dia drakaka latsaky ny 11 sentimetatra (haben'ny drakaka azo tandrahana araka ny lalàna velona). Tsy nitovy tokoa ny vokatra ny jono ho an'ireo fitaovana telo. Izany dia eo ho eo amin'ny $5 \pm 0,2$ kg/fivoahana ho an'ny *fingavitsy*, $0,2 \pm 0,01$ kg/fivoahana/*gamela* ary $0,1 \pm 0,01$ kg/fivoahana/*vinta*. Nasehon'ireo vokatra ny jono nampiharana ny modely statistika (GLMM) fa nisy ifandraisany lehibe teo amin'ny hamaroan'ny drakaka azo ny fitaovana, ny volana ary ny fiarahan'izy roa. Nanaraka fironana mihamidina mitovy ihany koa izany nandritra ny vanim-potoanan'ny fikarohana ho an'ny fitaovam-panjonoana samihafa. Ny fandinihana ireo mari-paha-mantarana roa ireo dia manambara fa ny hakeliny sy ny hamaroan'ny drakaka azo dia miovaova arakaraka ny vanim-potoana ao amin'ny faritr'i Morombe ary tandindonin-doza ny hahalovainjafy ity jono drakaka ity noho ny fihazana ireo drakaka madinika.

Teny fototra: fanjonoana drakaka, fanaraha-maso andraisan'ny rehetra anjara, mari-drefin'ny hamaroan'ny drakaka, halavan'ny drakaka, Morombe.

TABLES DE MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
RESUME	ii
ABSTRACT	iii
FAMINTINANA	iv
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES ANNEXES.....	xi
LISTE DES ACRONYMES.....	xi
INTRODUCTION.....	1
1. MATERIEL ET METHODES	4
1.1. Présentation de la zone d'étude et techniques de pêche	4
1.2. Aperçu global de l'organisation de la filière dans la zone.....	7
1.3. Bio-écologie du crabe de mangrove	9
1.4. Collecte des données	10
1.4.1. Prospection des sites et recensement.....	10
1.4.2. Suivi participatif et communautaire des activités de pêche	11
1.4.3. Suivi participatif des déplacements de pêcheurs par GPS	14
1.4.4. Suivi participatif des crabes commercialisés.....	14
1.5. Analyse des données.....	16
1.5.1. Estimation de l'effort de pêche	16
1.5.2. Détermination des captures par unité d'effort de pêche (CPUE).....	17
1.5.3. Estimation et évolution de la production	18
1.5.4. Caractérisation de la structure en tailles et sexe des crabes.....	18
1.5.5. Standardisation de la CPUE et de la taille des crabes par les modèles statistiques (GLMM et GLM).....	19

2. RESULTATS.....	23
2.1. Indicateur de pression : recensement et effort nominal corrigé.....	23
2.2. Estimation de l'indice d'abondance : CPUE	29
2.3. Standardisation de la CPUE à partir du modèle GLMM.....	33
2.4. Estimation de la production	36
2.5. Indicateurs liés à la taille des crabes.....	39
2.5.1. Distribution de tailles des crabes au niveau des pêcheurs	39
2.5.2. Standardisation de la taille par le modèle GLM	42
2.5.3. Distribution de tailles des crabes commercialisés.....	43
3. DISCUSSION.....	45
3.1. Indicateurs d'état de la ressource en crabes de mangrove	45
3.2. Protocole de suivi participatif : intérêts, limites et améliorations	49
CONCLUSION.....	51
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	53
ANNEXES	

LISTES DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la zone d'étude.....	4
Figure 2: Crochet (photo à gauche, longueur : 100 cm) et pêcheur au crochet (à droite).....	5
Figure 3: Raquette (photo à gauche) et pêche de nuit à la raquette (photo à droite).	6
Figure 4: Lignes utilisées pour la pêche à la ligne.	6
Figure 5: La balance (photo à gauche) et un pêcheur à la balance (photo à droite).....	7
Figure 6: Circuit de collecte et de commercialisation de la principale société de collecte crabes dans la zone de Morombe.....	8
Figure 7: Cycle biologique du crabe de mangrove	10
Figure 8: (A) Prise de la taille la longueur céphalothoracique d'un crabe au moyen d'un pied à coulisse ; (B) Abdomen des crabes selon le sexe (crabe male de forme triangulaire à gauche, femelle de forme ovale à droite).	13
Figure 9: Schéma récapitulatif des étapes pour la production des données utilisées.....	15
Figure 10: Variations mensuelles de l'effort de pêche cumulé entre les trois engins dans les villages de la zone de Morombe d'avril à août 2021.	25
Figure 11: Effort nominal (nombre de sorties) pour la pêche au crochet dans les villages étudiés ; les barres sont les intervalles de confiance à 95%. ME : Mortes Eaux, VE : Vives Eaux.	26
Figure 12 : (A) Effort nominal (nombre de sorties) pour la pêche à la balance ; (B) Effort nominal corrigé (nombre de balances déployés pendant les périodes étudiées pour les deux villages d'Ambohibe et Ankotapike ; les barres d'erreurs représentent les intervalles de confiance à 95%. ME : Mortes Eaux, VE : Vives Eaux.....	27
Figure 13: (A) Effort nominal (nombre de sorties) pour la pêche à la ligne ; (B) Effort nominal corrigé (nombre de lignes déployés pendant les périodes étudiées pour le village d'Ankotapike entre avril et août 2021 ; les barres d'erreurs sont les intervalles de confiance à 95%. ME : Mortes Eaux, VE : Vives Eaux.	28
Figure 14: Représentation de la durée moyenne des sorties selon les 3 trois engins considérés, les lignes sur les boxplot représentent la médiane et les points rouges sont les moyennes. Les barres sont les intervalles de confiance au seuil de 95%.....	29
Figure 15: Distribution des CPUE de la pêche au crochet dans les 6 villages suivis d'avril à août 2021, zone de Morombe. Les barres représentent les intervalles de confiance à 95%, les traits horizontaux sont les lignes médianes et les points rouges sont les moyennes.....	30

Figure 16: Variation périodique de la CPUE moyenne de la pêche au crochet dans la zone de Morombe entre avril et août 2021, les barres représentent les intervalles de confiance à 95%.	31
Figure 17: CPUE moyenne de la pêche à la balance pour les villages d'Ambohibe et Ankotapike entre avril et août 2021 ; les traits et les points rouges sont respectivement la médiane et la moyenne ; les traits représentent les incertitudes.	32
Figure 18: Variation des CPUE moyennes au cours du temps entre avril et août pour la pêche à la balance à Ambohibe et Ankotapike entre avril et août 2021 ; les barres signifient les incertitudes de ces valeurs moyennes de CPUE au seuil de 95%.	32
Figure 19: Variation mensuelle de la CPUE moyenne de la pêche à la ligne à dans le village d'Ankotapike durant la période d'avril à août 2021. Les barres représentent les intervalles de confiance à 0,05.	33
Figure 20: (A) Courbe de droite de Henry pour tester la normalité de la distribution des résidus ; (B) Distribution des résidus en fonction des valeurs prédites, les valeurs prédites sont transformées en $\ln(\text{CPUE})$, ce qui explique les valeurs négatives; (C) Histogramme des résidus.	34
Figure 21: Evolution mensuelle des CPUE standardisée des 3 engins pour la pêche au crabe dans la zone de Morombe selon le modèle GLMM durant le suivi d'avril à août 2021. Les zones grisées sont les incertitudes autour de ces estimations au seuil de 5%.	35
Figure 22 : variation mensuelle de la production estimée des crabes de mangrove dans la zone de Morombe suivant l'effort nominal cumulé pendant la période d'avril à août 2021.	36
Figure 23: Captures totales estimées pour la pêche au crochet dans les villages de suivi d'avril à août 2021, les barres sont les intervalles de confiance à 95%.	37
Figure 24: Production estimée pour la pêche à la balance dans les villages d'Ambohibe et Ankotapike entre avril à août 2021, les barres sont les incertitudes de cette estimation à 95%. Les vides signifient qu'il n'y avait pas de données parvenues durant ces périodes.	38
Figure 25: Production estimée de la pêche à la ligne à Ankotapike d'avril à août 2021 ; les barres sont les intervalles de confiance à 95%.	38
Figure 26: (A) Distribution de la fréquence en tailles de la capture pour tous les engins pour le village d'Ambohibe exprimé en pourcentage entre juin et août 2021; traits violets : taille minimale et maximale ; trait rouge : taille règlementaire) ; (B) Courbe de densité de la distribution de la fréquence en tailles pour Ambohibe.	39
Figure 27: (A) Distribution de la fréquence en tailles de la capture pour tous les engins pour le village d'Ankotapike exprimé en pourcentage entre mai et août ; (B) Courbe de densité de la	

distribution de la fréquence en tailles pour Ankotapike. Traits violets : taille minimale et maximale ; trait rouge : taille réglementaire.	40
Figure 28: Boxplot de la variation de la fréquence en taille pendant le suivi Ambohibe (A) et Ankotapike (B) durant mai et août 2021 pour tous les engins confondus, les pointillés sont les valeurs extrêmes et la ligne violette marque la taille réglementaire de 110 mm.	40
Figure 29 : Distribution de la fréquence de taille des crabes capturés par engins et par sexe entre mai et août 2021 (A) pour le village d’Ambohibe et (B) pour Ankotapike durant le suivi.	41
Figure 30: Tailles moyennes de crabes standardisées des 3 engins dans la zone de Morombe entre mai et juin 2021 selon le modèle GLM ; (A) Ambohibe et (B) Ankotapike. Les zones grisées sont les incertitudes au seuil de 5%.....	43
Figure 31: Répartition globale des classes de tailles des crabes débarqués à Morombe pour l’ensemble de la zone de Morombe entre mai et août 2021.....	44
Figure 32: Répartition globale des classes de tailles des crabes débarqués à Morombe pour l’ensemble de la zone de Morombe entre mai et août 2021 (A pour la zone sud de Morombe et B pour la zone nord de Morombe).	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nombre total de pêcheurs au crabe actifs dans la zone de Morombe selon les engins de pêche utilisés. Les villages ayant fait l'objet d'un suivi de la pêche dans cette étude ont été colorés en vert. L'engin dominant des villages est indiqué en gras.	23
Tableau 2: Statistiques des enquêtes faites auprès des pêcheurs de crabes sur leur activité de pêche dans la zone de Morombe entre avril et août 2021.	24
Tableau 3 : Nombre d'enquêtes sur les captures effectuées par les volontaires et les enquêteurs durant le suivi d'avril à août 2021 dans les villages de la zone de Morombe.....	29
Tableau 4 : Variance expliquée des effets fixes et aléatoires du modèle GLMM appliqué aux CPUE. Les « *** » marquent qu'il y a une différence significative entre les facteurs et « NS » dit la non significativité de la variable.	34
Tableau 5 : Variance expliquée des facteurs explicatifs du modèle GLM appliqué sur les tailles de crabes de la zone de Morombe. Les étoiles signifient que la variable a un effet significatif sur la taille.	42
Tableau 6: Comparaison des CPUE moyennes de la pêche au crochet (kg/sortie) et de la pêche à la balance (kg/balance/sortie) dans les zones d'interventions de CORECRABE (Morondava, Mahajanga et Ambanja) entre avril et août 2021. Source :(CET, 2021).....	47
Tableau 7 : Tailles moyennes de crabe de mangrove capturés dans les zones les zone d'intervention de CORECRABE (Morombe, Morondava, Mahajanga et Ambanja) lors de la période de suivi d'avril à août 2021. Source : (CET, 2021).....	48

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1** : Fiche de suivi des captures de pêche pour les volontaires CORECRABE.
- Annexe 2** : Fiche de suivi des captures de pêche pour les enquêteurs CORECRABE.
- Annexe 3** : Fiche de suivi de la taille des crabes commercialisés.
- Annexe 4** : Nombre de pêcheurs par engin, par mois et par type de marées.
- Annexe 5** : Production mensuelle estimée de crabes par village entre avril et mai 2021 dans la zone de Morombe.
- Annexe 6** : Fiche de recensement des pêcheurs au crabe de Morombe.
- Annexe 7** : Sorties des modèles GLMM pour la CPUE et GLM pour la taille.
- Annexe 8** : Sorties des différents tests statistiques.
- Annexe 9** : Tableau récapitulatif des CPUE par engin par village, par mois et par marée.
- Annexe 10** : Tableau récapitulatif de la taille moyenne des crabes mesurés par mois, par engin et par village.
- Annexe 11** : Tableaux récapitulatifs des CPUE et taille standardisées.
- ANNEXE 12** : Description des activités des villages de pêcheurs au crabe dans la zone de Morombe

LISTE DES ACRONYMES

- COPEFRITO** : Compagnie de pêche Frigorifique de Toliara
- CORECRABE** : COopération de valorisation de la REcherche pour la gestion de la petite pêche de CRABE de mangrove de Madagascar
- CET**: Comité d'Expertise et Technique
- CPUE** : Capture Par Unité d'Effort
- FAO** : Food and Agriculture Organization
- GLM** : Generalized Linear Model
- GLMM** : Generalized Linear Mixed Model
- IH.SM** : Institut Halieutique et des Sciences Marines
- IRD** : Institut de Recherche pour le Développement
- LC** : Longueur Céphalothoracique
- MPEB** : Ministère de la Pêche et de l'Economie Bleue
- RENAFEP-MADAGASCAR** : Réseau National des Femmes de la Pêche de Madagascar

INTRODUCTION

La pêche et l'aquaculture sont des sources vitales de nourriture, de nutriments et d'emplois pour près de 60 millions de personnes (FIDA, 2019). En 2018, la production halieutique et aquacole était de l'ordre de 179 millions de tonnes, dont 8,5% de crustacés composés essentiellement de crevettes, homards et crabes (FAO, 2020). Ils sont exportés vers les marchés des pays développés en particulier, l'Europe, les Etats-Unis et les pays d'Asie.

Les pêcheries côtières et les écosystèmes associés sont sujets à des fortes exploitations et des modifications causées directement par la pêche (FAO, 2001). Afin de s'assurer de leur durabilité, les gestionnaires doivent avoir des informations clés sur le niveau d'exploitation des ressources et adopter une nouvelle perspective axée sur des résultats à long terme (Juan-Jorda et Murua, 2016). Dans les pays tropicaux, la gestion des pêcheries a été longtemps basée sur des modèles globaux élaborés pour la pêche industrielle à l'exemple des thons (Fonteneau, 1991) et des crevettes (Chaboud, 2008). Ces modèles sont rarement applicables aux petites pêcheries multi-engins du fait que les résultats des analyses sont affectés par la qualité et la rareté des données disponibles (Thiao, 2009; Lockerbie *et al.*, 2018). Dans ce contexte, le recours aux méthodes basées sur des indicateurs, dont l'application est reconnue depuis une vingtaine d'années, s'avère une alternative intéressante pour les gérer (FAO, 1999; Rice et Rochet, 2005).

Les indicateurs sont des variables qualitatives ou quantitatives décrivant d'une manière simple l'état des ressources ou d'autres compartiments du système halieutique et sont directement reliées aux objectifs de gouvernance ou aux questions scientifiques (FAO, 2001). Ils peuvent, en particulier, être obtenus à partir des données récoltées sur le terrain par le biais d'une approche collaborative et participative avec divers acteurs du système (Beibou *et al.*, 2014). Cette approche est simple, moins coûteuse, efficace et est adaptée pour les petites pêcheries pauvres en données. Les indicateurs communément utilisés en halieutique sont multiples (Hornborg *et al.*, 2019) et peuvent être classés en indicateurs de pression, d'état, d'impacts et de réponse (Caddy, 2004; Dong et Hauschild, 2017; Heslouin *et al.*, 2017). Toutefois, il faut identifier ceux qui sont les plus faciles à mettre en œuvre, à comprendre et à utiliser (McDonald *et al.*, 2018). Il existe deux indicateurs particuliers qui remplissent ces critères: la capture par unité d'effort (CPUE) (Harley *et al.*, 2001) et la structure en taille (Shin *et al.*, 2005).

D'une part, la CPUE est une variable qui se prête bien au suivi à long terme de la pêche et employée comme indice d'abondance dans de nombreuses pêcheries pauvres en données (Edwards *et al.*, 2012) ; en particulier pour le crabe de mangrove (Bonine *et al.*, 2008; Hay, 2009; Frotté, 2009) dont la pêche est importante dans les zones côtières tropicales et subtropicales de l'Indo-Pacifique (Suman *et al.*, 2018). À l'équilibre, les CPUE sont en théorie proportionnelles à l'abondance (Laurec et Le Gueun, 1981) : une modification de la CPUE représente alors la même modification proportionnelle de l'abondance des ressources, laquelle est inconnue. Pour que la relation entre ces deux variables soit valide, un domaine temporel et spatial doit être défini et le coefficient de proportionnalité (appelé la capturabilité) devrait être constante. Cependant, plusieurs facteurs peuvent faire varier la capturabilité et donc biaiser la relation. Parmi eux, il y a les changements de l'efficacité des engins, de l'effort de pêche ou de la sélectivité des engins (Dumas et Léopold, 2009; Alam *et al.*, 2018). La CPUE peut aussi être trompeuse dans des cas où les pêcheurs peuvent fournir des CPUE élevées alors que le stock décline rapidement (Alam *et al.*, 2018). Afin de limiter ces biais, les CPUE doivent être calibrées par des données indépendantes de la pêche ou a minima standardisées au moyen de modèles statistiques (Gascuel, 1993; Kleiber et Maunder, 2008).

D'autre part, l'étude de la structure en taille des individus capturés est aussi utilisée pour déterminer l'état des ressources (Shin *et al.*, 2005; Alonso-Fernández *et al.*, 2021). En effet, les engins de pêche sont conçus préférentiellement pour capturer les individus d'une certaine taille et ce phénomène modifie la distribution en taille des ressources. Plusieurs variables peuvent être considérées dans l'étude de cet indicateur pour les crabes (Shin *et al.*, 2010) : la taille moyenne basée sur la longueur céphalothoracique (LC), la médiane dans une fréquence de taille et les longueurs maximale et minimale. Ces variables sont très intéressantes en matière de gestion car elles diminuent sous les effets de la pêche et varient en fonction des engins de pêche et type d'habitats (Dumas et Léopold, 2009; Shephard *et al.*, 2020).

A Madagascar, la pêche de crabe de mangrove représente actuellement une filière d'une importance économique majeure (Randriamiarisoa, 2015). La façade occidentale de l'île telle que les régions d'Ambanja, Mahajanga, Morondava et Morombe sont les principales zones productrices de crabe (Bautil et Ardill, 1991; Kasprzyk, 2012). Ceci est dû à la présence d'immenses forêts de mangroves de différents types estimée à 2 364 km² à l'échelle du pays (Shapiro *et al.*, 2019), et des grands chenaux et estuaires. Selon les chiffres officiels du Ministère de la Pêche et de l'Economie Bleue (MPEB), la production et l'exportation ont évolué entre 2013 et 2019 (captures et chiffres d'exportations multipliés par un facteur de 5 à 10 par

rapport à la décennie précédente) à partir de l'ouverture des nouveaux débouchés vers la Chine pour les crabes vivants. Des grands changements ont, alors, affecté la filière et les pressions se sont accrues sur la ressource (Long *et al.*, 2017). La gestion règlementaire de cette pêcherie a également évolué durant ces années. Actuellement, elle est régie par un arrêté ministériel de 2014 (N°32101/2014) pour sa gestion globale et des arrêtés 14274/2019 et N°22.529/2020 pour les fermetures. L'efficacité de ces mesures, voire la durabilité de la pêcherie, reste à évaluer faute d'un suivi halieutique fiable et représentatif de l'état de ressources en crabes. Ce travail propose de contribuer à cette lacune.

La présente étude porte sur *l'évaluation participative d'indicateurs d'état des ressources de crabe de mangrove dans le sud-ouest de Madagascar (zone de Morombe)* où la pêche au crabe est l'activité principale dans de nombreux villages côtiers. Elle s'inscrit dans le cadre du projet COopération de valorisation de la REcherche pour la gestion de la petite pêche de CRABE de mangrove de Madagascar (CORECRABE) qui privilégie une approche collaborative et participative en valorisant les compétences locales (<http://corecrabe.ird.fr/>) pour une gestion durable de la filière. De ce fait, l'objectif de ce travail est double : 1) définir et mettre en œuvre un protocole de suivi participatif et collaboratif de la pêcherie basé sur les captures dans les villages et le circuit commercial, et 2) estimer des indicateurs de l'état actuel de la ressource en crabes de mangrove dans la zone: (i) l'indice d'abondance basé sur la CPUE et (ii) la structure en taille des crabes capturés.

Deux hypothèses seront à vérifier à travers ce travail:

H1: l'effort de pêche et la capture (niveau et distribution des fréquences de tailles) varient spatio-temporellement et suivant les engins de pêche utilisés ;

H2: les estimations de CPUE et de la taille des crabes représentent des indices d'abondance pertinents de l'état d'abondance de crabe dans la zone de Morombe.

Ainsi, ce manuscrit contiendra une première partie qui sera consacrée aux matériels et méthodes ; la seconde développera les principaux résultats ; et enfin une partie sur la discussion. La conclusion résume les apports de ce manuscrit à la recherche scientifique et la synthèse de ce travail tout en donnant des recommandations.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Présentation de la zone d'étude et techniques de pêche

Cette étude s'est déroulée dans les principales zones d'exploitation de crabe de mangrove dans le sud-ouest de Madagascar, le nord et le sud de Morombe, soit environ 140 km de linéaire côtier (Fig. 1).

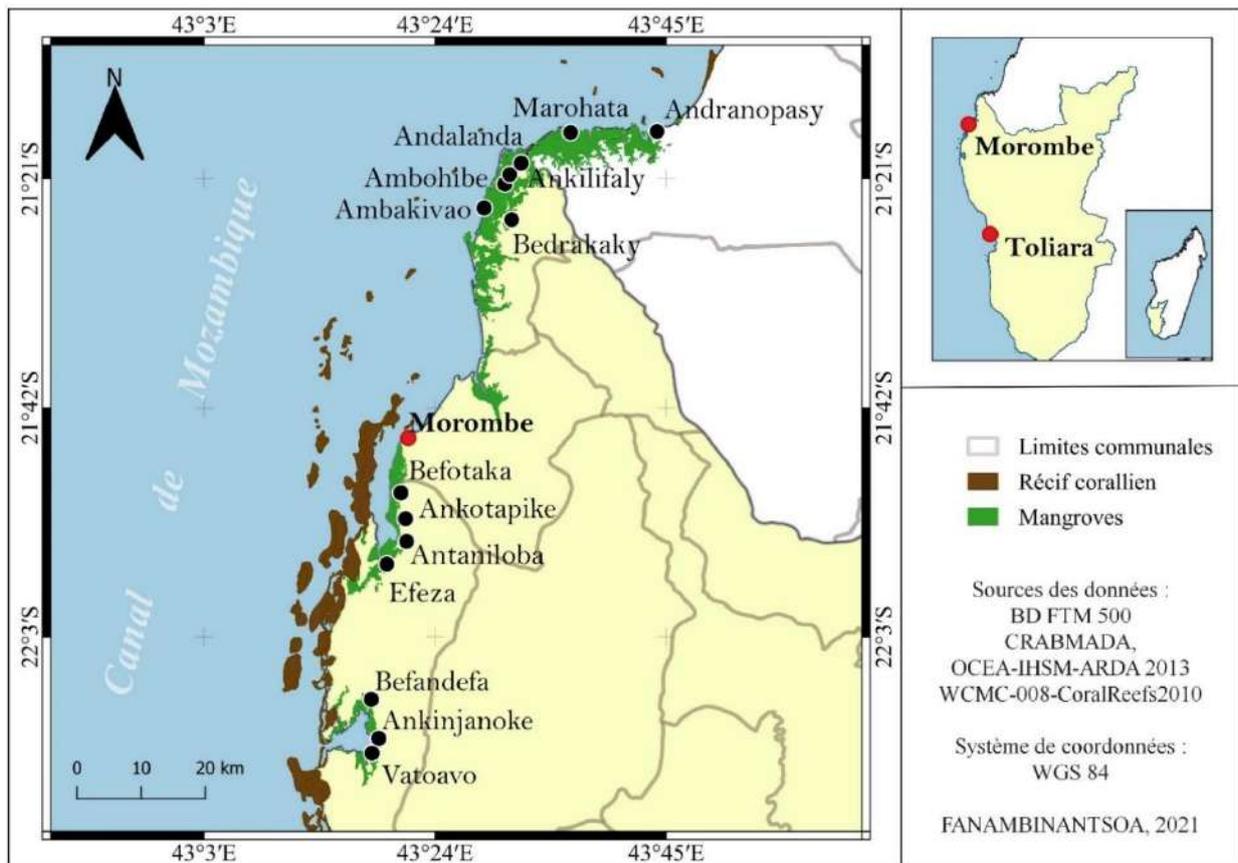


Figure 1: Localisation de la zone d'étude.

Dans la zone nord, le delta du Mangoky possède une mangrove de type estuarien d'une superficie de 118 km² (Rakotomavo et Fromard, 2010). L'accessibilité dans cette zone se fait par voie maritime principalement depuis Morombe ou Morondava. La zone comprend plusieurs villages où la pêche au crabe constitue une activité principale, dans la commune d'Andranopasy (district de Manja, région Menabe) pour les villages d'Andranopasy, Aloabao et Marohata et la commune d'Antongo-Vaovao (district de Morombe, région Atsimo-Andrefana) pour les villages d'Ankilifaly, Ambohibe, Andalanda, Ambakivao et Antsatsabo (fig. 1).

Dans la zone sud de Morombe, la pêche au crabe s'est développée dans la baie de Befotaka et la baie des Assassins. Ce secteur présente une mangrove côtière d'environ 30 km² qui longe sept principaux villages appartenant à la commune de Befandefa (district de

Morombe, région Atsimo-Andrefana). Ces villages sont accessibles par voie maritime et par une piste côtière: Befotaka, Ankotapike, Antaniloba, Efeza, Befandefa, Ankinjanoke et Vatoavo du nord au sud (fig. 1).

La plupart des villageois de cette zone vit de la petite pêche et principalement ou secondairement de la pêche au crabe. Les habitants du delta du Mangoky et du sud de Morombe associent cette activité à la pêche piroguière au large et l'agriculture (culture de canne à sucre ou de manioc,...), respectivement. Quatre principales techniques de pêche au crabe ont été ainsi identifiées dans cette zone selon les engins utilisés : la pêche diurne utilisant le crochet, la balance, la ligne et la pêche nocturne utilisant la raquette. La pêche à la ligne et à la balance sont aussi qualifiées de pêche piroguière. La pêche en pirogue est pratiquée avec des lignes et balances appâtées (avec de la murène séchée généralement) et accompagnées d'une raquette qui sert à attraper les crabes. Les pirogues utilisées sont de type monoxyle sans balancier qui se déplace au moyen d'une pagaie.

- **Le crochet (« *fingavitse* » ou « *fangavitse* »)**

Pour la pêche à pied, principalement la pêche au crochet, elle se pratique durant les marées basses à l'intérieur des mangroves ou à bord des chenaux dans les endroits peu profonds. Les crabes sont souvent trouvés cachés dans des terriers où ils sont extraits à l'aide d'un crochet. Il faut noter que la pêche au crochet est la technique la plus répandue dans tous les villages de la zone de Morombe. L'engin est une simple perche (fig.2), faite en bois (bois de d'arbre de mangrove) mais aussi parfois en fer (diamètre de 6 mm). Ce crochet en fer est plus utilisé dans la zone sud de Morombe. Selon les pêcheurs, il est plus efficace et pratique pour les terriers puisqu'il est possible de le courber pour faire sortir le crabe du terrier. Un pêcheur peut utiliser plusieurs crochets de différentes longueurs de (60 cm, 80 cm, 100 cm et 120 cm) pour s'adapter à la profondeur du terrier où se réfugient les crabes.



Figure 2: Crochet (photo à gauche, longueur : 100 cm) et pêcheur au crochet (à droite).

- **La raquette (« kipao »)**

Lorsque les crabes se déplacent dans les eaux peu profondes (0,5 m à 2,5 m) et claires où ils sont visibles, ou lorsqu'ils sont à même le sol, ils sont capturables à l'aide d'une raquette. Cet engin est constitué d'un morceau de filet tendu entre des branches d'arbres de mangrove recourbées (fig.3). La raquette est utilisée principalement la nuit avec une lampe torche à bord des chenaux tout près de la rive. Cette technique de pêche est opportuniste et peu de pêcheurs s'adonnent à cette pratique.



Figure 3: Raquette (photo à gauche) et pêche de nuit à la raquette (photo à droite).

- **La ligne (« vinta »)**

La ligne (fig.4) est pratiquée à bord d'une pirogue dans les chenaux et les estuaires à faible profondeur (1 à 2,5 m). Le matériel utilisé est simple : il s'agit d'une ligne en cordelette appâtée et reliée à un flotteur en bouteille, en plastique ou par des matériaux de récupération. Un pêcheur se munit de plusieurs dizaines de lignes qui sont constamment vérifiées pendant l'activité de pêche si un crabe s'est saisi de l'appât. Une fois le crabe capturé, la ligne est remontée tout doucement à la surface en utilisant la raquette pour l'attraper.



Figure 4: Lignes utilisées pour la pêche à la ligne.

- **La balance (« *gamela* » ou « *kiriry* »)**

La balance (fig.5) est également utilisée dans les chenaux et les estuaires peu profonds (1 à 3 m). Sa forme, est cylindrique d'environ 25 à 50 cm de diamètre. Elle est constituée d'un filet avec un cerceau en bois lesté par des pierres ou des coquillages. Le dispositif est le même que celui de la ligne : il consiste à attirer les crabes à partir d'un appât en disposant la balance sur le fond à l'aide d'une petite corde reliée à un flotteur. Un tirage de la corde permet ensuite de redresser la paroi de la balance afin de serrer le ou les crabes capturés à l'intérieur et de le remonter en surface. Une fois remontée, une raquette, comme pour la pêche à la ligne, est utilisée pour vider la balance de ses captures. Un pêcheur pose environ 10 à 40 balances espacées de quelques mètres lors d'une sortie.



Figure 5: La balance (photo à gauche) et un pêcheur à la balance (photo à droite).

1.2. Aperçu global de l'organisation de la filière dans la zone

Arrivés de la pêche, les pêcheurs ficellent les crabes à leur domicile à l'aide de fibres de baobab. Ils mettent de la boue pour conserver les crabes et éviter leur dessiccation pendant le transport ; et écartent généralement les petits crabes pour leur autoconsommation et la vente dans les marchés locaux. Les pêcheurs viennent ensuite chez les sous-collecteurs pour vendre leurs crabes vivants pleins de boue ; ces derniers font le triage afin d'éliminer les crabes morts, les hors calibres et les faibles. Puis, ils enlèvent une partie de la boue et procèdent au reconditionnement des crabes dans un local avec des bacs en plastique recouvert de sac ou en sac (*gony*) en les arrosant avec de l'eau de mer deux fois par jour. Cette technique permet d'empêcher l'exposition à la lumière directe du soleil ou à l'effet desséchant des vents.

Trois sociétés - Compagnie de pêche Frigorifique de Toliara (COPEFRITO), Murex et Blue Ocean (à partir de 2019) - ont le permis de collecte au crabe dans le district de Morombe en 2021. COPEFRITO est la principale société de collecte de la région depuis 2004 opérant sur

les principaux villages ci-dessus (fig. 1, page 4). Les sous-collecteurs des villages dans la zone de Morombe travaillent principalement pour cette société du fait de son ancienneté et sa régularité. La collecte dans la partie nord est assurée par bateau (appelé localement « *tefotefo* ») par des collecteurs exclusifs de la société. Pour la partie sud de Morombe, elle se fait par voie routière, en camion de la société.

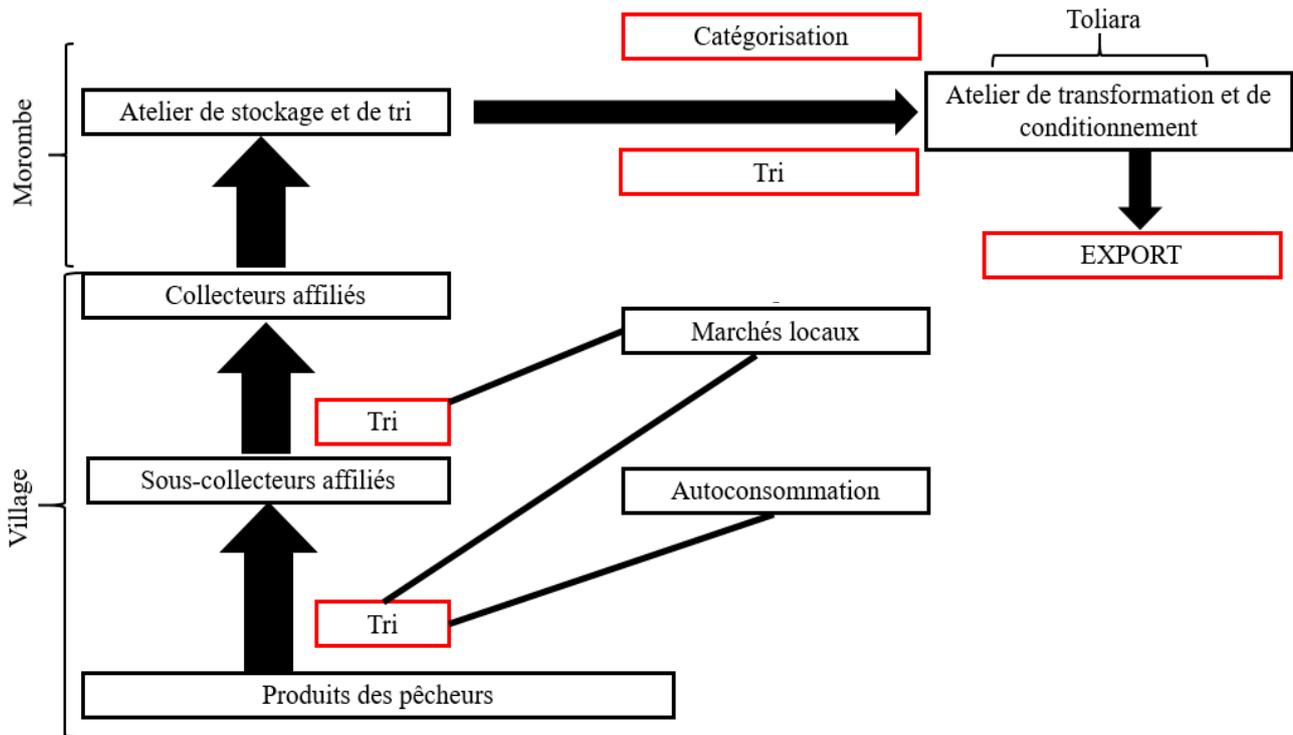


Figure 6: Circuit de collecte et de commercialisation de la principale société de collecte crabes dans la zone de Morombe.

Source: (Zafimamatrapehy et al., 2021)

Les collecteurs achètent une ou deux fois par semaine les produits stockés par les sous-collecteurs dans les villages, ensuite les crabes collectés sont regroupés par camion dans le village d'Ambahikily (pour deux autres sociétés de collecte) ou vers Morombe par bateau ou par camion (pour la principale société de collecte). Dans cette ville est basée un atelier pour le tri, le reconditionnement et l'expédition des crabes vivants collectés dans la zone nord et sud de Morombe. A l'atelier, les crabes sont triés (morts ou vivants et hors calibre), catégorisés (grands, petits et moyens) et transportés en camion dans des bacs vers Toliara où un nouveau tri est fait avant leur exportation après transformation et congélation. Au cours de ce long processus de transport, un taux de mortalité de l'ordre de 30% a été constaté (Kasprzyk, 2012), pertes dues non seulement au stockage au niveau du pêcheur mais aussi au transport.

1.3. Bio-écologie du crabe de mangrove

Les crabes de mangrove ou *Scylla serrata* vivent généralement dans des estuaires, les chenaux de mangroves et des habitats côtiers abrités associés des mangroves bien établies. Les crabes juvéniles résident généralement dans la zone intertidale. Les adultes ont tendance à se déplacer vers les régions subtidales. Ceux qui restent dans les zones intertidales se cachent dans des terriers permanents ou se camouflent dans la boue au fur et à mesure du flux de la marée.

Le crabe de mangrove est omnivore à tendance carnivore. Cependant, les habitudes alimentaires changent avec l'âge. Les juvéniles ayant une taille inférieure à 9 cm se nourrissent essentiellement des crustacés et poissons alors que les subadultes se nourrissent des bivalves et des gastropodes et rarement de poissons (Le Reste, 1976; Alberts-Hubatsch *et al.*, 2016). Les activités alimentaires dépendent des facteurs environnementaux (température, salinité) et des facteurs physiologiques comme la mue et la ponte (Meynecke et Richards, 2014).

Scylla serrata est une espèce dont le cycle de vie est biphasique (dans la zone de mangrove et au large). La reproduction à Madagascar ait lieu pendant la saison chaude (Le Reste, 1976) et les seules études faites sur cette thématique datent plus de plus de 50 ans. L'accouplement ne peut avoir lieu que lorsque la femelle est en état de carapace «molle». Pendant l'accouplement, le mâle dépose les spermatophores sur la face ventrale de la femelle. Cet acte se passe dans les terriers et durant la nuit pendant 5 à 12 heures. Deux à trois mois plus tard, la femelle pond un à cinq millions d'œufs (Meynecke et Richards, 2014) qui sont fécondés par le sperme qu'elle a stocké. Alors dite « grainée ou ovée », elle porte les œufs pendant une douzaine de jours. Au cours de cette période, les œufs sont d'abord d'une couleur orange vif qui évolue vers le noir. La femelle migre vers le large (c'est pour cela qu'on rencontre rarement des femelles ovées dans les captures des pêcheurs) pour libérer ses œufs qui, après éclosion, donnent naissance à des larves flottantes dont le développement dure une vingtaine de jours et qui dérivent avec les courants. Les larves se déplacent ensuite vers les habitats benthiques où elles se fixent et muent en crabes juvéniles qui se déplacent vers le littoral (Alberts-Hubatsch *et al.*, 2016). Plusieurs pontes successives ont été observées en captivité pour les femelles, donc elles ne mourraient pas systématiquement après la ponte en milieu naturel, bien que leur retour des zones de ponte au large soit très difficile à observer.

La croissance du crabe de mangrove se fait par mues successives, au cours desquelles il perd leur carapace, se gonflent d'eau récréent une autre pendant les périodes de quartiers lune.

La métamorphose dure environ 3 à 6h (Le Reste, 1976). Cette croissance est rapide dans les 12 à 15 premiers mois après l'éclosion. Au-delà de 8 cm, ils s'accroissent de 2 cm entre deux mues. Ils atteignent généralement la maturité après 12 mois suivant le sexe et les conditions environnementales (Meynecke et Richards, 2014). La taille des crabes à maturité sexuelle aussi varie en fonction des régions et des habitats, par exemple, elle est de 120 à 130 mm au Sri Lanka (Jayamanna et Jinadasa, 1993) et 100 à 120 mm à Madagascar (Le Reste, 1976). Cependant, la taille maximale observée à Madagascar (longueur de la carapace) pour les deux sexes est de 180 mm (Le Reste, 1976) mais dans certains régions, ce crabe de mangrove peut atteindre jusqu'à 240 mm et vivent jusqu'à trois à quatre ans (Williams, 2002).

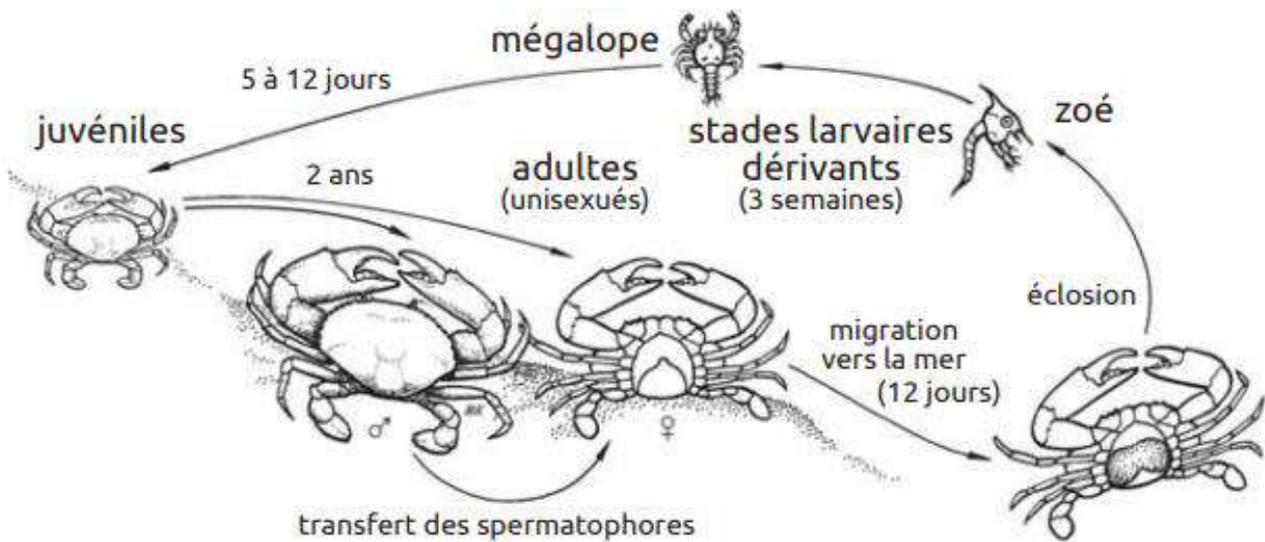


Figure 7: Cycle biologique du crabe de mangrove

Source : (Nathalie et Christian, 2002)

1.4. Collecte des données

1.4.1. Prospection des sites et recensement

La prospection des sites a été faite au début de ce travail dans chaque village concerné par la collecte commerciale des crabes par des interviews des collecteurs travaillant dans la zone et par des participations à des campagnes de collecte.

Comme il n'y a pas de statistique sur le nombre de pêcheurs dans la zone, il a été primordial de collecter ces informations. Dans chaque village, les pêcheurs de crabe ont été dénombrés selon leurs engins de pêche au début de cette étude, en avril 2021. Les informations sur le recensement ont été collectées auprès de divers acteurs connaissant le village : adjoints maires, chefs du *fokontany*, notables du village, les sous-collecteurs affiliés et quelques vieux

pêcheurs volontaires au cours d'une réunion. L'inventaire des engins axés sur leurs caractéristiques (dimensions et matériels de fabrication) et techniques de pêche utilisés a été fait en insistant sur la spécificité de ces pratiques pour quantifier l'effort de pêche.

1.4.2. Suivi participatif et communautaire des activités de pêche

- **Participation des communautés locales**

Le suivi participatif répond au défi technique du suivi écosystémique des pêches en intégrant les utilisateurs de la ressource dans un système d'observation et, éventuellement de gestion (Brenier *et al.*, 2013; Andrew *et al.*, 2020). Cette approche s'inscrit dans le processus d'engagement des pêcheurs à la base, en faveur de la gestion communautaire des pêches. La collecte des données était ainsi faite par :

-des sous-collecteurs volontaires : des personnes affiliées aux sociétés de collecte qui achètent les crabes. Cette méthode a été adoptée du fait que les pêcheurs viennent directement chez les sous-collecteurs pour vendre leurs produits, juste après leur sortie de pêche.

-des enquêteurs locaux : des personnes recrutés au niveau des villages, ayant un niveau assez élevée d'éducation scolaire, qui sont capables de remplir des fiches et mesurés des crabes.

Les huit villages ayant fait l'objet du suivi des captures et de vente sont ceux où l'activité de pêche au crabe est la plus développée en termes de nombres de pêcheurs, d'engins de pêche et de production annuelle déclarée par les collecteurs : Ambohibe, Ankilifaly, Marohata et Andranopasy pour le nord de Morombe et Ankotapike, Efeza, Ankinjanoke et Vatoavo pour la partie sud (fig. 1, page 4). Le choix de ces villages résultait de plusieurs missions effectuées dans la zone et des accords faits avec les opérateurs privés qui y travaillent. 13 sous-collecteurs volontaires, un à deux personnes par village selon son étendue, et deux enquêteurs ont contribué à la bonne marche du suivi participatif et communautaire adopté lors de cette étude.

- **Echantillonnage des pêcheurs**

Le suivi participatif s'est fait les deux premiers jours de chaque semaine avec cinq pêcheurs par jour pendant la période de suivi. Les premiers à venir vendre ont été directement enregistrés afin d'éviter les biais de sélection des pêcheurs. Les volontaires et les enquêteurs, ils ont enregistrés respectivement dix et 16 débarquements par semaine. Ce suivi s'inscrit dans une durée plus longue (jusqu'à fin 2022) mais les données traitées dans le cadre de cette étude sont d'avril à août 2021.

Un test de remplissage des fiches a été fait lors de la première mission dans la zone en fin janvier 2021 et a été évalué. Une petite incitation financière est attribuée aux participants pour les motiver, à hauteur de 20 000 Ar par mois pour les volontaires et 190 000 Ar pour les enquêteurs, soit 640 000 Ar de dépenses nettes par mois. Ces petites rémunérations ont été payées par Réseau National des Femmes de la Pêche à Madagascar (RENAFEP-MADAGASCAR). Ce réseau assurait la collecte des données sur la filière dans les villages d'étude et le développement des capacités locales qui ont été mobilisées pendant le projet.

- **Nature des données collectées**

Les volontaires collectaient deux types d'informations (Annexe 1) :

- L'effort de pêche : la date de vente, le nom du pêcheur, le nom du village et du *fokontany*, des renseignements sur l'activité du pêcheur le jour de l'enquête et les trois jours précédents suivis des engins utilisés et leurs nombres respectifs. Ces derniers sont utiles pour estimer le taux d'activité des pêcheurs dans la zone pendant une période déterminée (FAO, 1999, 2001; cf. plus bas).
- Les captures : les captures achetées par le sous-collecteur en kg avec le nombre de sorties correspondantes, leur prix, la quantité des crabes invendus et consommés le jour (en kg/en nombre) ont été enregistrés.

Pour des raisons de difficultés pratiques et de fiabilité des données, le suivi participatif par les collecteurs affiliés n'a pas inclus les mesures de tailles de crabes. Néanmoins, deux enquêteurs basés à Ankotapike pour la zone sud et à Ambohibe pour la zone nord de Morombe ont collectés ces informations sur la taille des crabes capturés, à l'aide d'une fiche spécifique (Annexe 2). Mis à part le remplissage de fréquence d'activité des pêcheurs et les captures, la taille des crabes capturés par les pêcheurs a été enregistrée par les enquêteurs. Si le nombre de

crabes capturés dépassait 30, l'enquêteur ne mesurait que 30 crabes; sinon il prenait la mensuration de tous les crabes pêchés. La mesure de la LC des crabes a été effectuée au mm entre les épines latéro-postérieures de tous les crabes échantillonnés (fig. 8). Le sexe des crabes a été identifié au cours de ce processus par la forme du telson. Pour la femelle, il est large et ovale tandis qu'il est nettement triangulaire chez le mâle.

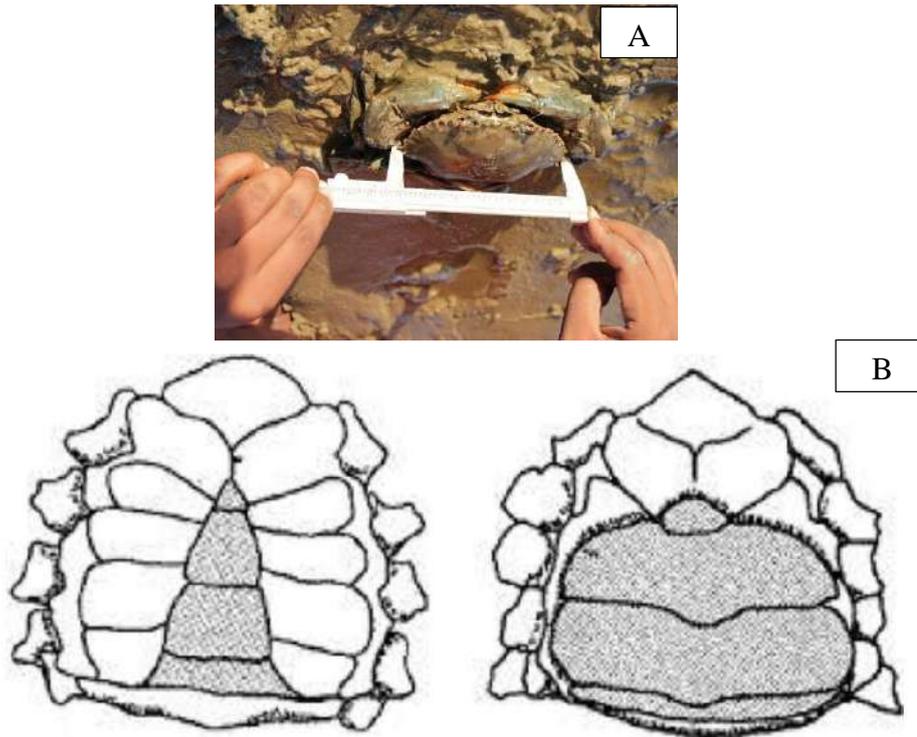


Figure 8:(A) Prise de la taille la longueur céphalothoracique d'un crabe au moyen d'un pied à coulisse ; (B) Abdomen des crabes selon le sexe (crabe male de forme triangulaire à gauche, femelle de forme ovale à droite).

- **Circuit général des données**

Le protocole de suivi participatif a commencé par l'identification et repérage des acteurs au sein des villages pour effectuer le suivi qui étaient des sous-collecteurs volontaires et des enquêteurs (fig.9). Ensuite, les volontaires et enquêteurs ont reçu une fiche de suivi (Annexe 1 et 2) des formations et essais des volontaires et enquêteurs sur le remplissage des fiches ont eu lieu. Les fiches ont été remplies au niveau des villages chaque semaine selon le type de suivi et ont été remis aux intermédiaires qui sont des collecteurs passant dans les villages pour la collecte des crabes. Par la suite, les fiches ont été données à un intermédiaire du RENAFEP-MADAGASCAR dont le suivi continu de l'effort de collecte des informations à travers le

nombre d'enquêtes réalisées et la numérisation des fiches ont été faite avec son aide. Arrivées à Toliara, avec l'appui du chargé d'études du projet CORECRABE, les fiches ont été visualisées et vérifiées pour validation avant qu'elles soient saisies par l'équipe de RENAFEP-MADAGASCAR. Finalement, les données saisies prêtes à être traitées ont été vérifiées.

1.4.3. Suivi participatif des déplacements de pêcheurs par GPS

La durée d'une sortie n'était pas collectée par les collaborateurs par fiabilité des données du fait que les collaborateurs n'ont pas la notion de l'heure exacte de départ et d'arrivée des pêcheurs lors d'une sortie. L'objectif est d'évaluer la durée approximative d'une sortie de pêche. Des suivis de sorties de pêche ont été faits pour déterminer cet effort nominal pour les techniques de pêche pratiquées. Ainsi, pendant sa sortie, le pêcheur a été équipé d'un traceur GPS qui a été fixé sur sa pirogue ou porté par lui-même. Pour suivre les détails de son activité, les traceurs GPS ont été paramétrés pour enregistrer la position du pêcheur à une fréquence d'une minute. Chaque point enregistré comprend la date, l'heure et les coordonnées géographiques des positions. Ces données ont été ensuite extraites des GPS en considérant l'heure totale de pêche.

1.4.4. Suivi participatif des crabes commercialisés

Le suivi de la taille des crabes a été fait également au lieu de tri et de reconditionnement des crabes à Morombe (Annexe 3). La différence par rapport au suivi communautaire est que cette méthode se renseignait uniquement sur les crabes de plus de 11 cm (taille légale). Au niveau des données, ce suivi est plus représentatif que le suivi communautaire parce que tous les villages ont été échantillonnés, il est également moins coûteux. La collecte des données s'est fait une fois toutes les deux semaines (à une marée de vives eaux et à une marée de mortes eaux) pour chaque zone pour la part des calibres de crabes destinées à l'exportation.

L'échantillonnage des crabes a été proportionnel aux débarquements dans chaque zone nord et sud en fonction du nombre des bacs débarqués. Au niveau de débarquement à Morombe, les crabes venant de la zone nord (delta du Mangoky) acheminés par bateau ont été classés par village. Le suivi a été donc effectué par village. Pour répondre aux contraintes de temps, un sous-échantillon de 7 crabes a été prélevé au hasard, sur un axe vertical, dans chacun des bacs (poids moyen : 21 kg) d'un village et groupés dans des bacs vides. Les crabes ont alors été sexés et mesurés un à un au moyen d'un pied à coulisse en prenant la longueur céphalothoracique (LC) du crabe (entre les pointes) au mm. L'échantillon du village a été pesé après la mensuration. Ce procédé a été adopté pour chaque village de la zone nord. Les données ont été

ensuite agrégées pour toute la zone. Pour la zone sud, la production a été groupée pour tous les villages dès la collecte. Le protocole d'échantillonnage proportionnel est le même que celui de la zone nord mais sans distinction de l'origine des crabes.

En résumé, les étapes d'acquisition des données lors de cette étude est ci-après (fig. 9). Elle a commencée par une descente sur terrain et prospection des sites et a abouti aux traitements des données.

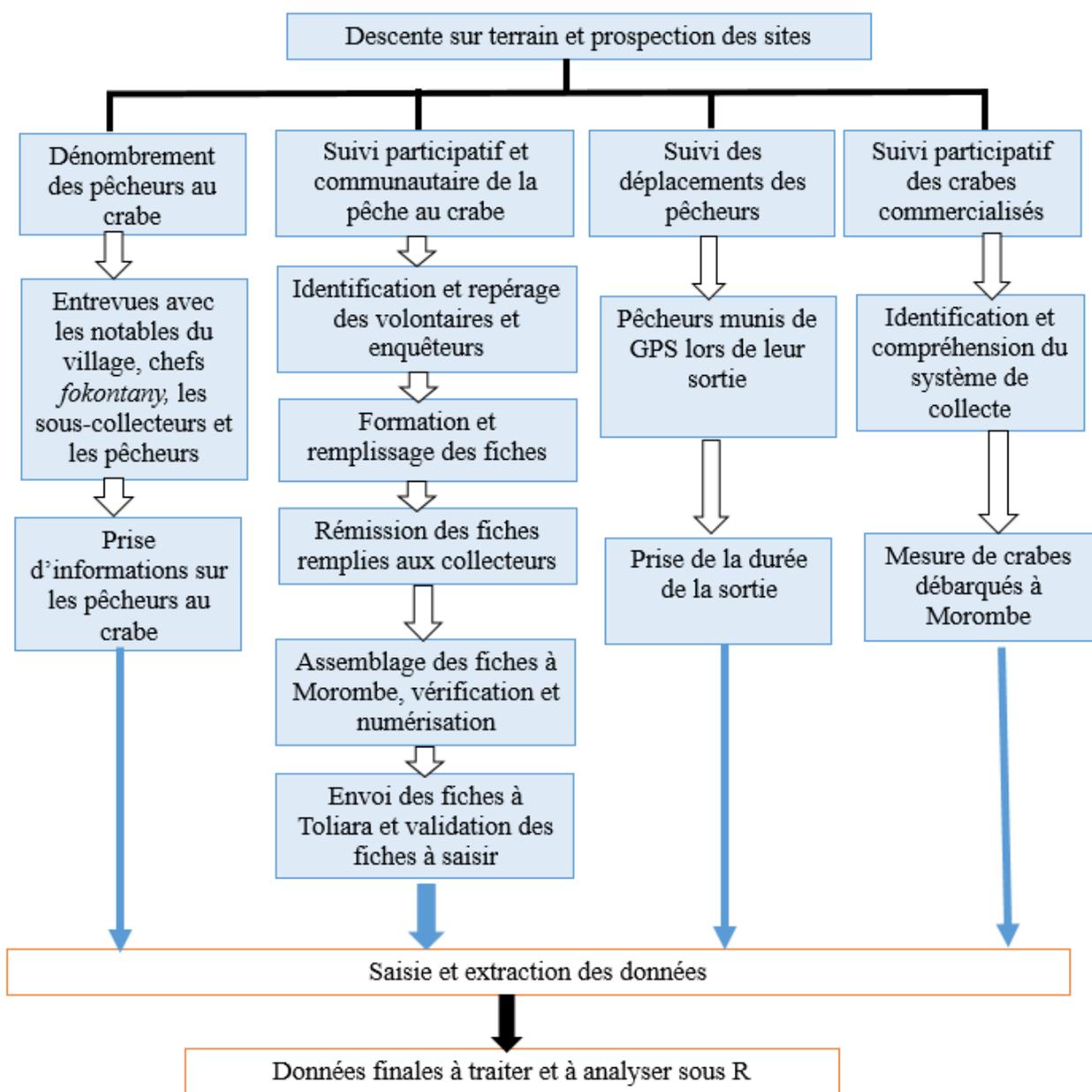


Figure 9: Schéma récapitulatif des étapes pour la production des données utilisées.

1.5. Analyse des données

1.5.1. Estimation de l'effort de pêche

L'effort de pêche correspond à la mesure de l'ensemble des moyens de capture mis en œuvre par les pêcheurs sur le stock, dans un laps de temps donné (Laurec et Le Gueun, 1981; Gascuel, 1993).

- **Effort nominal**

Dans cette étude, l'effort de pêche nominal a été estimé par le nombre de sorties de pêche effectuées pendant une période par un engin donné.

L'effort de pêche nominal est obtenu pour chaque engin par la relation suivante (Gascuel, 1993; FAO, 2016):

$$\widehat{\text{Effort nominal}} = \overline{AC} \times F \times D$$

L'intervalle de confiance de l'effort nominal est égal à :

$$IC_{\text{effort}} = IC_{AC} \times F \times D$$

Où :

- *Effort nominal* est une estimation totale du nombre de sorties sur la période D.
- \overline{AC} est le coefficient moyen d'activité ou le taux d'activité moyen, qui indique combien de sorties le pêcheur fait en moyenne par jour pour chaque engin. Pour notre cas, l'activité d'un pêcheur était suivie pour 4 jours de pêche consécutifs. \overline{AC} est alors estimé en moyennant les nombres de sorties de l'ensemble des pêcheurs pendant la période considérée (agrégation des deux marées dans un mois). L'intervalle de confiance à 95% de cette variable a été calculé également.

$$IC_{AC} = t \text{ student} * \text{Erreur_type}$$

Avec : *t student par défaut* = 1,96 et $\text{erreur} - \text{type} = \frac{\text{ecart-type}}{\sqrt{n}}$ n = nombre d'observations.

- *F* est le nombre de pêcheurs obtenus lors du recensement dont le nombre des pêcheurs actifs par marée et par engin dans les villages ont été dénombrés (Annexe 4).

- D est le nombre de jours potentiels de pêche. Il a été fixé par le nombre de jours correspondant à une marée haute ou marée basse dans le mois en question.

Pour estimer l'effort nominal corrigé, le nombre d'engins déployés (de lignes ou balances), a été pris en compte :

$$\mathbf{Effort\ nominal\ corrigé} = \overline{AC} \times F \times D \times \mathbf{nombre\ moyen\ d'engins\ utilisés}$$

Ces efforts nominal et nominal corrigé ont été estimés pour les trois principaux engins (crochet, balance et ligne) par mois et par agrégation des deux périodes mensuelles de marée - des mortes eaux et des vives eaux- pour les villages d'Ambohibe-Ankilifaly, Andranopasy, Marohata, Ankotapike, Efeza et Ankinjanoke-Vatoavo. Ambohibe-Ankilifaly et Ankinjanoke-Vatoavo ont été regroupés lors des traitements des données dans cette étude du fait de leur similarité et leur appartenance à un même *fokontany* (proximité). Le nom Ambohibe a été gardé pour désigner les villages combinés « Ambohibe-Ankilifaly » et Ankinjanoke pour l'autre.

- **Durée des sorties (en h)**

Pour les sorties suivies par GPS, la durée moyenne des sorties et consacrée spécifiquement à la pêche (en heure) a été calculée pour tous les engins par la formule suivante :

$$\overline{\mathbf{Durée\ de\ sortie}} = \frac{\sum_{sorties} \mathbf{durée}}{n} \quad \text{avec } n = \text{nombre d'échantillons}$$

1.5.2. Détermination des captures par unité d'effort de pêche (CPUE)

La CPUE est une expression du rapport des captures à une unité d'effort de pêche. Comme cette étude consiste à évaluer l'indice d'abondance des crabes, la CPUE par sortie par unité d'engin a pris en compte le nombre d'engins déployés pendant la sortie.

$$\overline{\mathbf{CPUE}}_{\mathbf{corrigée}} = \frac{\sum_{sorties} \mathbf{Captures\ (kg)}}{\sum_{sorties} \mathbf{Nombre\ d'engins}}$$

Le nombre d'engins déployés est égal à 1 pour le crochet (seul 1 crochet capture le crabe dans son terrier même si le pêcheur emporte deux ou trois crochets de longueurs différentes durant une sortie). Par contre, pour les deux autres engins (ligne et balance), il varie selon le nombre exact d'engins mouillés par le pêcheur à chaque sortie.

Cette \overline{CPUE} a été calculée par engin durant la période de suivi ainsi que sa variation par mois et par marée pour tous les villages étudiés avec leurs intervalles de confiance respectifs calculé comme celui de l'effort de pêche.

1.5.3. Estimation et évolution de la production

La capture totale ou production désigne la quantité de crabes pêchés dans un village ou dans une zone bien déterminée et pendant une période de référence donnée. Elle est estimée en se fondant sur la CPUE moyenne dans ce village et période multipliée par l'effort estimé (FAO, 2016).

$$\widehat{Production}_{estimée} = \overline{CPUE} \times \overline{AC} \times F \times D \times \text{nombre moyen d'engins}$$

La capture totale est estimée à l'échelle d'un village, par mois selon les types de marée et par engins.

Comme il s'agit d'un produit de deux variables, l'intervalle de confiance de cette estimation a été calculé par la formule suivante

$$IC_{production}(XY) = t_{student} * Erreur - type(XY) * Production$$

Avec $Erreur - type^2(XY) = Variance(XY)/n$ et $X=CPUE$ et $Y=Taux d'activité$

$$Var(XY) = [Moyenne(Y)^2 * Var(X)] + [Moyenne(X)^2 * Var(Y)] + Var(X) + Var(Y)$$

$$D'où Erreur - type^2(XY) = \left[Moyenne(Y)^2 * \frac{Var(X)}{n} \right] + \left[Moyenne(X)^2 * \frac{Var(Y)}{n} \right] + \frac{Var(X)}{n} + \frac{Var(y)}{n}$$

1.5.4. Caractérisation de la structure en tailles et sexe des crabes

Les données des mesures de la longueur céphalothoracique (LC) des crabes, qui ont été collectées de mai à août 2021, ont été regroupées par intervalle de 1 cm. La distribution de tailles est obtenue pour les échantillons par les enquêtes halieutiques. Les variables basées sur la taille tels que : la taille moyenne, la médiane, la taille minimale, la taille maximale et la part des gros crabes dans une distribution ont été estimés. Les données des débarquements à Morombe ont été utilisées pour évaluer la part des calibres de crabes qui sont destinées dans les marchés locaux et à l'exportation. Les données de taille publiées à partir du suivi au lieu de tri et de reconditionnement ont été tronquées à partir de la taille minimale réglementaire (≤ 11 cm). Les variables basées sur la taille ont été étudiés selon ces différents facteurs : village, engin, sexe et mois.

1.5.5. Standardisation de la CPUE et de la taille des crabes par les modèles statistiques (GLMM et GLM)

L'objectif de cette modélisation statistique est de réaliser une prédiction de la CPUE et de la taille, considérée comme une mesure de l'abondance du stock, en fonction de plusieurs variables explicatives et de suivre son évolution dans le temps. Pour obtenir un indice d'abondance reflétant réellement les variations d'abondance de crabe, il est nécessaire de prendre en compte les conditions de proportionnalité entre la CPUE et abondance et l'influence des facteurs les uns par rapport aux autres et leurs interactions sur la CPUE ; et même réflexion pour la taille.

➤ Standardisation de l'indice d'abondance

D'après Bolker et al., (2009), les modèles mixtes «Generalized Linear Mixed Model (GLMM)» sont les meilleurs outils statistiques pour analyser des observations non indépendantes et non normalement distribuées. Ce type de modèle permet d'introduire deux niveaux de lecture de l'abondance estimée pour chaque pas de temps : un niveau global traduit par les effets « fixes » et un niveau individuel traduit par les effets « aléatoires ».

La CPUE est prédite comme une combinaison linéaire des variables explicatives qui sont des variables fixes et aléatoires. Comme les observations ne suivent pas une loi normale, elles ont été transformées par un lien logarithmique. Plusieurs études ont adopté cette transformation pour les données de CPUE à standardiser (Mourato *et al.*, 2017; Forselledo *et al.*, 2018; Brandão et Butterworth, 2019).

$$y = \beta_0 + \beta_{ijklmno} + u_p + \varepsilon_{ijklmno}$$

Où : y est la réponse de l'individu i , β_0 l'interception globale du modèle et $\beta_{ijklmno}$ les valeurs prises par les variables explicatives ; u_p est l'effet aléatoire et $\varepsilon_{ijklmno}$ les résidus. Pour notre étude, $y_{ij} = \ln(\text{CPUE_sortie_engin})$ suit une fonction de lien logarithmique.

Dans le cas du modèle dans cette étude, l'effet aléatoire est la variable « village ». En effet, cette variable est introduite en variable aléatoire pour deux raisons précises : i) prendre en compte la corrélation des valeurs de CPUE à l'intérieur d'un même village (les observations dans un village ne peuvent pas strictement être considérées comme indépendantes car les pêcheurs du village exploitent généralement les mêmes zones de mangrove) et ii) pouvoir généraliser la valeur prédite de CPUE à l'ensemble des villages de la zone (et pas seulement

aux villages suivis). Les effets fixes (ou variables explicatives) sont les variables périodiques, techniques et leurs interactions.

Les effets de plusieurs variables ont été testés en vue d'interpréter la variabilité des CPUE dans toutes les combinaisons possibles.

$$\ln(CPUE) = i_{mois} + j_{marée} + k_{engin} + l_{mois \times marée} + m_{mois \times engin} + n_{engin \times période} + o_{zone} + u_{village} + \varepsilon_{résidus}$$

- i : effet du «mois» qui intègre la variation d'abondance mensuelle (e.g., certains mois sont caractérisés par des captures plus importantes que d'autres).

-j : effet de la « marée » intégrant la variation de la CPUE par marée (e.g : si la marée des vives eaux est mieux en termes d'abondance que celle des mortes eaux).

- k : effet « engin » qui intègre la différence d'efficacité des engins sur les périodes et les villages.

- l : un effet interaction entre les mois et les marées.

-m : un effet interaction de l'engin et les mois.

-n : un effet interactions entre les combinaisons du mois-marée (période) et l'engin.

-o : un effet zone pour intégrer la variation de l'abondance entre la zone nord et la zone sud caractérisée par la différence de la typologie de mangrove.

- u : un effet aléatoire « village ».

- $\varepsilon_{résidus}$: un terme d'erreur résiduelle.

Le modèle a été réitéré jusqu'à ne conserver que les variables significatives.

➤ Standardisation de la structure en tailles

La taille également a été standardisée. Mais on a utilisé le Generalized Linear Model (GLM) du fait que les observations ont été collectées seulement dans deux villages. Les facteurs explicatifs dans ce modèle sont donc les variables mois, engins, leurs interactions et le village.

Le modèle retenue pour la standardisation de la taille suit une loi de poisson :

$$taille = i_{mois} + j_{engin} + k_{mois \times engin} + u_{village} + \varepsilon_{résidus}$$

- i : effet du « mois » qui intègre la variation mensuelle de la taille;
- j : effet « engin » qui intègre la différence de la sélectivité des engins ;
- u : un effet « village » pour mettre en exergue la différence entre les deux villages étudiés.
- $\mathcal{E}_{résidus}$: un terme d'erreur résiduelle.

➤ **Validation, estimation de la qualité de prédiction des modèles et analyse statistique**

La validation d'un GLMM ou d'un GLM est basée sur la normalité et l'indépendance des résidus, ainsi que sur l'homogénéité de la variance (Bolker *et al.*, 2009; Zuur *et al.*, 2009).

Pour vérifier la normalité des résidus, le graphique du quantile-quantile (ou QQ plot) a été analysé. Cette technique graphique permet de comparer la distribution des résidus issus des modèles avec la distribution normale d'un échantillon de référence. Graphiquement, les données de cet échantillon de référence forment une droite, appelé *droite de Henry*, alignés sur la diagonale principale. Sur le même graphique, les résidus des modèles forment un nuage de points, plus ou moins alignés sur la droite de Henry. Si on n'observe pas d'écart entre les points et cette diagonale principale, on peut dire que les résidus du modèle sont normalement distribués.

Pour vérifier l'homogénéité de la variance des résidus, le graphique représentant les résidus normalisés du modèle en fonction des valeurs d'abondances prédites par le modèle, a été tracé. Si les points représentés sont répartis de façon homogène autour de la valeur de 0 (droite de régression horizontale en 0), alors l'hypothèse que les résidus et les valeurs prédites sont issus d'un même échantillon est valide. On peut dire alors que la variance résiduelle est homogène.

Enfin, pour estimer la qualité des modèles, des auteurs (Nakagawa et Schielzeth, 2013; Nakagawa *et al.*, 2017) ont défini une méthode de calcul du coefficient de détermination R^2 , spécifique aux modèles linéaires généralisés ou mixtes. Ce coefficient de détermination se calcule suivant la formule suivante :

$$R^2 = \frac{\check{\sigma}^2 \text{ fixes ou } \check{\sigma}^2 \text{ aléatoire}}{\check{\sigma}^2 \text{ fixes} + \check{\sigma}^2 \text{ aléatoire} + \check{\sigma}^2 \text{ résiduelle}}$$

Avec σ^2 fixes : la variance propres aux effets fixes du modèle ; σ^2 aléatoire : la variance propre à l'effet aléatoire du modèle, σ^2 résiduelle : la variance propre aux résidus du modèle.

Le logiciel R (R Core Team, 2016) a été utilisé pour les traitements des données sur l'effort de pêche, l'indice d'abondance de crabes, la production estimée et les indicateurs liés à la taille. Les packages *dplyr*, *tidyr*, *car*, *readxl*, *FSA*, *stats*, *ggplot2* et *lattice* (Wickham, 2016 ; Wickham et Henry, 2019 ; Fox et Weisberg, 2019; Ogle et al., 2019) ont été utilisés pour manipuler les données, sortir les différentes statistiques et faire produire les représentations graphiques.

Pour ré-estimer les CPUE et les tailles standardisées, les coefficients des effets explicatifs des modèles donnés par le logiciel R par l'utilisation des fonctions *lmer* et *lmerTest* du package *lme4* (Bates, 2016) pour la CPUE et la fonction *glm* pour la taille ont été pris en compte. Comme la CPUE a été normalisée par lien logarithmique et la taille par une loi de poisson, les résultats du modèle ont été converties en exponentiel $[(\exp(Y_i))]$. Des représentations graphiques ont été produites pour connaître l'indice d'abondance des trois principaux engins pour suivre son évolution dans le temps dans la zone de Morombe et la structure en tailles moyenne standardisée des crabes capturés suivant les deux villages étudiés, les engins et la période considérée.

Des tests paramétriques de comparaisons sur les mesures répétées de CPUE et de structure en tailles suivant les variables étudiées ont été faits à l'aide de modèle linéaire mixte généralisé et ils ont été testés à l'aide de t-test et d'ANOVA pour pouvoir les comparer. Des tests de comparaisons deux à deux d'échantillons appariés (Test de Tukey) ont été ensuite opérés à l'aide du package *lsmeans* pour déterminer la source de la différence observée. Un test de proportion de chi-carré a été également utilisé pour comparer les pourcentages des classes de taille des crabes commercialisés.

2. RESULTATS

2.1. Indicateur de pression : recensement et effort nominal corrigé

- **Recensement des pêcheurs au crabe dans la zone de Morombe**

Suite au recensement, un total de 699 pêcheurs au crabe a été dénombré dans la zone (tab. 1); 366 pêcheurs dans la zone nord (soit 3,1 pêcheur/km² de mangrove) et 333 pêcheurs dans la zone sud (soit 11,1 pêcheurs/km²). Le nombre de pêcheurs de crabe variait de 12 à 78 pêcheurs (hommes et femmes) entre les villages pour tous les engins confondus. La moyenne du nombre des pêcheurs dans les localités du nord variait autour de 52±10 pêcheurs ; et celle de la zone sud est de 41±7 pêcheurs. Les plus grands nombres de pêcheurs (plus de 70 pêcheurs) ont été rencontrés dans les villages de Marohata, d'Ambohibe, de Befandefa et d'Ankotapike. Les hameaux ou campements difficiles d'accès et comptant moins de 10 pêcheurs (Antsatsabo, Ankilimare, Alaobao, Tsimahavezo et Anosintsolike) n'ont pas été recensés dans cette étude.

Tableau 1 : Nombre total de pêcheurs au crabe actifs dans la zone de Morombe selon les engins de pêche utilisés. Les villages ayant fait l'objet d'un suivi de la pêche dans cette étude ont été colorés en vert. L'engin dominant des villages est indiqué en gras.

	Nombre de pêcheurs par techniques de pêche				
	Total	Crochet	Ligne	Balance	Raquette*
Ambohibe	72	48	1	31	10
Ankilifaly	69	20	–	41	40
Andranopasy	61	42	–	8	22
Marohata	78	57	–	6	15
Andalanda	59	30	–	27	13
Ambakivao	12	5	–	7	–
Bedrakaky	15	–	–	15	–
Ankinjanoke	50	38	4	1	19
Vatoavo	54	24	5	–	20
Ankotapike	63	20	46	6	12
Efeza	30	28	2	–	10
Befotaky	26	11	15	–	11
Antaniloba	24	24	–	–	11
Ankilikira	15	15	–	–	5
Befandefa	71	50	20	–	22
	699	407 (68%)	93 (12%)	142 (20%)	215

(*) Technique de pêche opportuniste.

Les engins utilisés variaient également entre les villages: le crochet était l'engin dominant globalement (68% des pêcheurs de la zone) et dans presque 80% des villages recensés. La balance est l'engin spécifique dans la zone nord (delta de Mangoky), plus précisément dans les villages d'Ambohibe et d'Ankilifaly alors qu'elle est quasi-absente dans le sud, sauf dans le village d'Ankotapike. Au contraire, la ligne qui est absente dans la zone nord est bien utilisée dans le sud, dans les villages d'Ankotapike, Befotaky et Befandefa. Il n'y pas de pêcheurs qui sont s'adonnent spécifiquement à la pêche à la raquette. Il n'y pas ou peu de pêcheurs qui se sont adonnés spécifiquement à la pêche à la raquette. Comme on a précédemment dit, cette technique est opportuniste, de ce fait, de temps à autre les pêcheurs au crochet, à la balance ou à la ligne la pratiquaient.

- **Effort de pêche**

Au total, 7 624 enquêtes de pêcheurs ont été faites concernant leur activité de pêche, soit en moyenne 1 525 par mois environ (tab. 2). Le taux de sorties échantillonnées varie selon le village.

Tableau 2: Statistiques des enquêtes faites auprès des pêcheurs de crabes sur leur activité de pêche dans la zone de Morombe entre avril et août 2021.

	Nombres d'enquêtes réalisées					
	total	avril	mai	juin	juillet	août
Ambohibe	2675	175	291	657	672	880
Andranopasy	728	40	147	165	191	185
Marohata	680	112	194	86	144	144
Ankinjanoke	882	148	249	160	253	72
Ankotapike	2173	252	617	611	253	440
Efeza	486	154	135	97		100
total	7624	881	1633	1776	1513	1821

Le taux d'activité moyenne des pêcheurs dans l'ensemble de la zone était de $0,63 \pm 0,011$, soit 6 sorties tous les 10 jours. L'effort de pêche cumulé à l'échelle de la zone d'étude pendant les 5 mois de la période de suivi était de 27 733 sorties pour tous les engins confondus, soit en moyenne 5 547 sorties par mois (environ 130 sorties/mois/km² de mangrove pour la zone nord et 413 sorties/mois/km² de mangrove pour le sud). Le crochet enregistre plus de 19 938 sorties (71,8%) contre 4 255 (15,4%) et 3 538 (12,8%) pour la balance et la ligne. L'effort de pêche cumulé pour les trois engins et par village variait entre 301 à 1 940 sorties par mois (fig.10). Le village d'Ambohibe a enregistré le plus grand nombre d'effort en août. Ambohibe, Marohata

pour le nord, Ankinjanoke et Ankotapike ont été les villages qui subissaient plus de pressions de pêche en termes de sorties par mois (800 à 1 900 sorties par mois). Néanmoins, l'allure des courbes de l'effort de pêche est différente selon chaque village. La variation de cet effort de pêche traduit la différence des caractéristiques de chaque village.

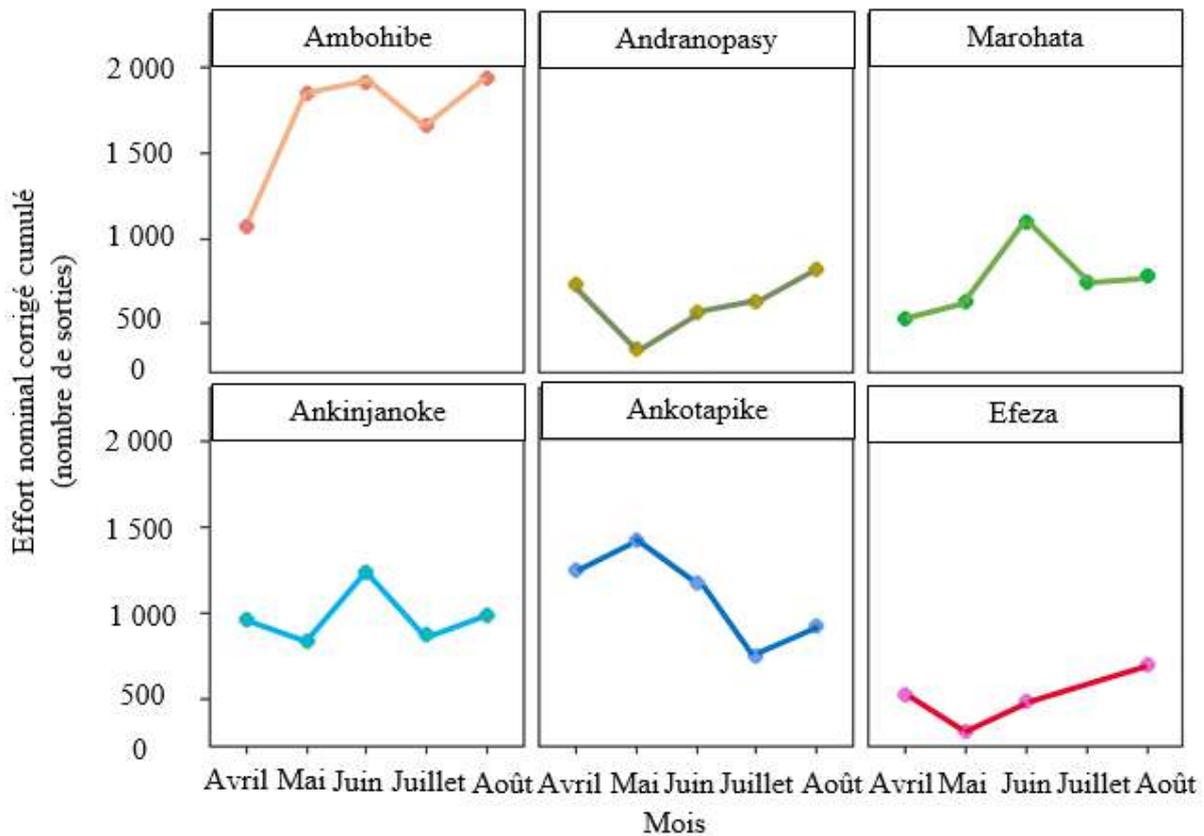


Figure 10: Variations mensuelles de l'effort de pêche cumulé entre les trois engins dans les villages de la zone de Morombe d'avril à août 2021.

➤ Pêche au crochet

Le nombre de sorties au crochet était nettement supérieur en marée de mortes eaux (164 à 912 sorties/mois) qu'en période de vives eaux (86 à 476 sorties/mois) (fig. 11). Cette tendance a été aperçue tous les mois et dans tous les villages faisant l'objet de l'étude, bien que de manière peu marquée dans deux villages au sud (Ankinjanoke et Ankotapike). Pour les villages de la zone nord le nombre total de sorties est élevé atteignant 809 ± 45 sorties à Ambohibe et 912 ± 12 sorties à Marohata en juin des mortes eaux. On a constaté également que l'effort de pêche s'est accru progressivement sur la période, parfois après une légère diminution en avril-mai. L'effort de pêche le plus stable a été estimé dans le village d'Ankotapike dont le nombre total des sorties ne dépassaient pas les 210 sorties au crochet pour chaque période.

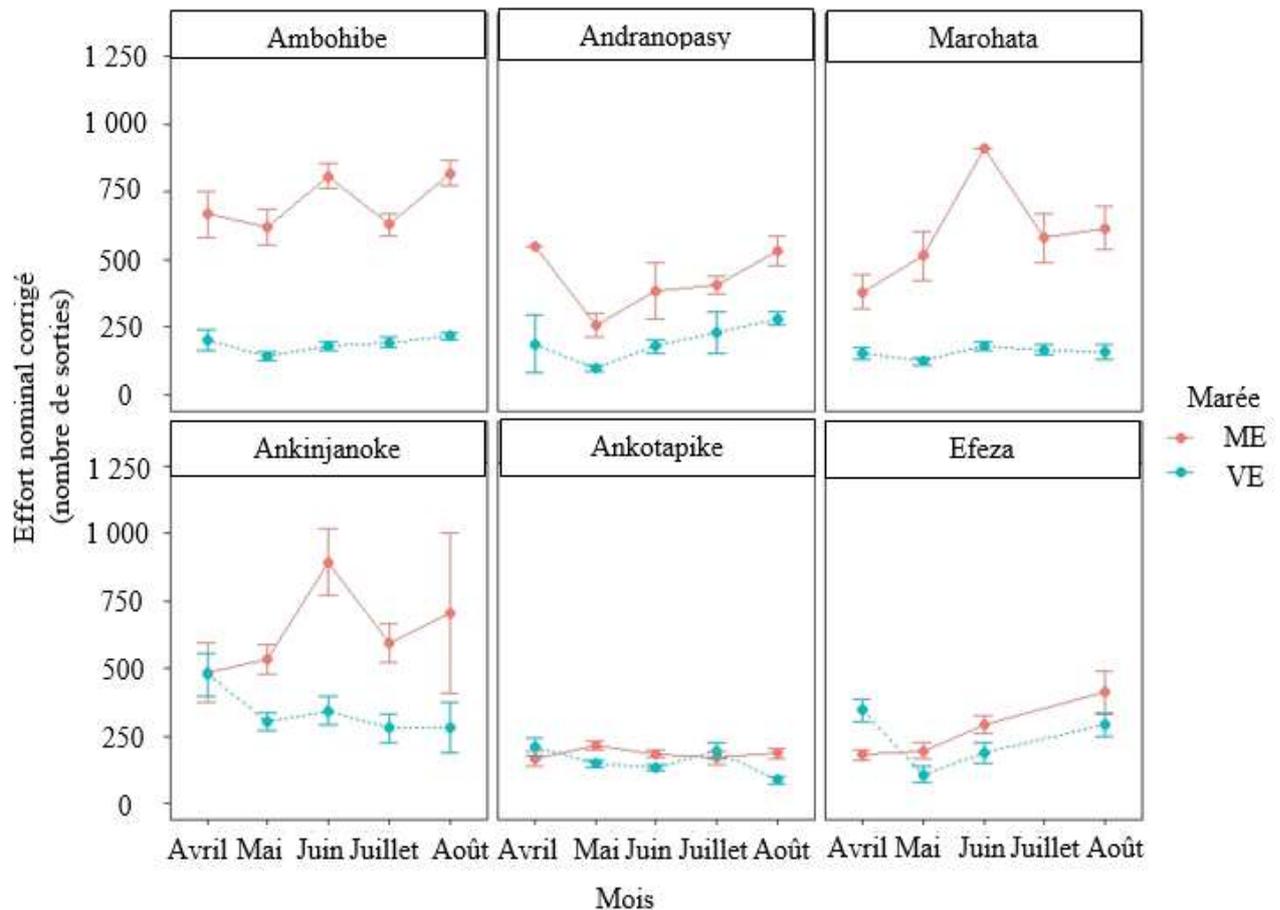


Figure 11: Effort nominal (nombre de sorties) pour la pêche au crochet dans les villages étudiés ; les barres sont les intervalles de confiance à 95%. ME : Mortes Eaux, VE : Vives Eaux.

➤ Pêche à la balance

Seuls deux villages (Ambohibe au nord et Ankotapike au sud) ont été retenus pour l'estimation de l'effort de pêche à la balance. Les autres villages ont été écartés du fait du faible nombre de pêcheurs utilisant cette technique de pêche (tab. 1). Le nombre de lignes et de balances utilisées par le pêcheur au cours de son activité de pêche a été souvent influencé par la disponibilité d'appât dans les villages et le coût de ce dernier. Principalement, c'est le pêcheur lui-même qui cherche les poissons qui vont servir d'appât pour son matériel de pêche et occasionnellement dans certains villages l'appât est vendu à un prix d'environ 2 000 à 3 000 Ar par pièce de poisson. Un appât peut servir au maximum pour trois sorties consécutives. La perte de ces engins durant la pêche est un facteur limitant également l'effort de pêche mais cela reste occasionnel.

Pour Ambohibe, le nombre de sorties et de balances mouillées ont été nettement supérieurs en marée de vives eaux, qui est une période très propice à cette technique (952±105 sorties en mai des vives eaux à 693±38 sorties en août des vives eaux, soit 20 048±1 660 à 14 234 ±589 balances mouillées), par rapport à la marée de mortes eaux (fig. 12).

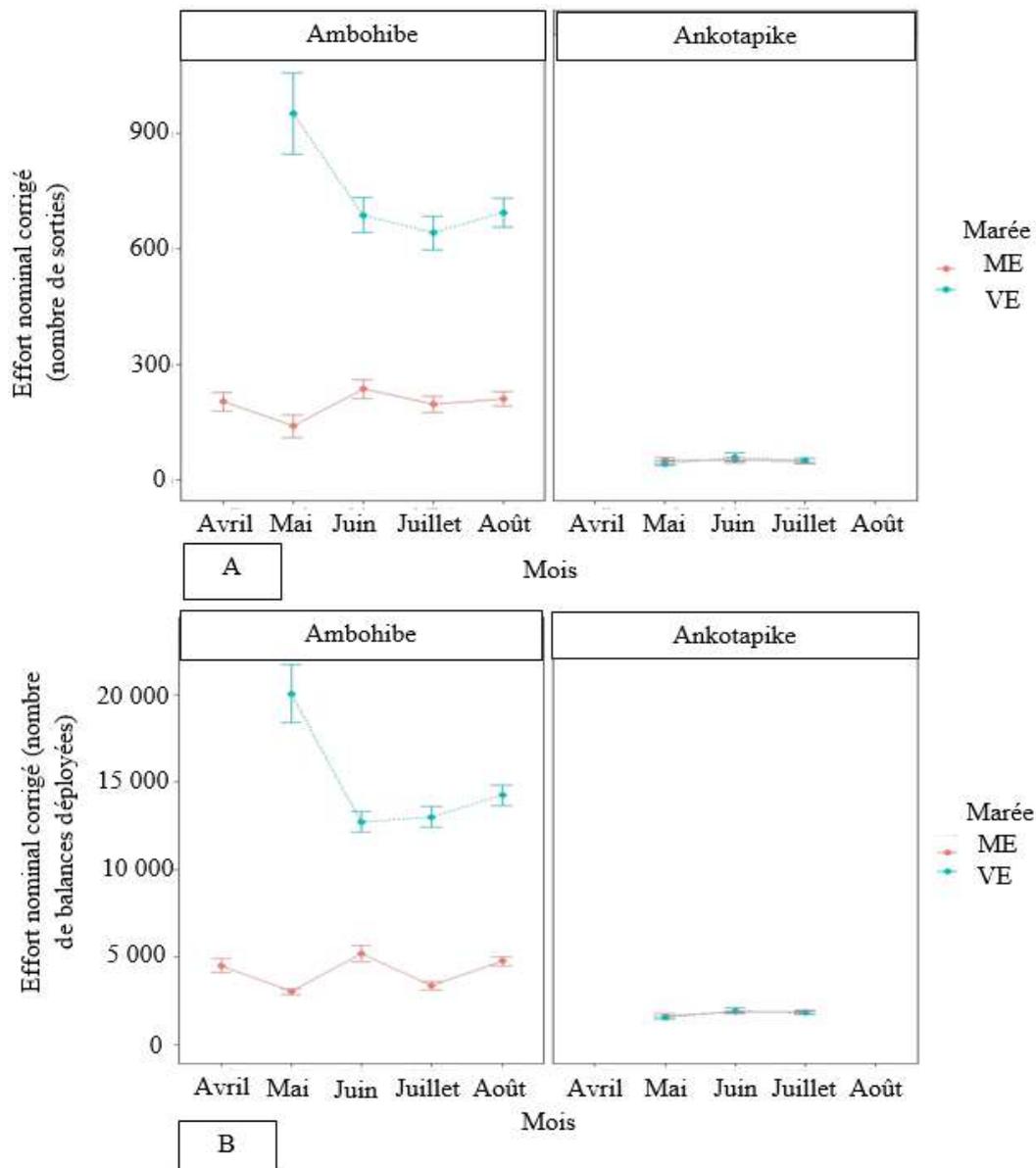


Figure 12 : (A) Effort nominal (nombre de sorties) pour la pêche à la balance ; (B) Effort nominal corrigé (nombre de balances déployées pendant les périodes étudiées pour les deux villages d'Ambohibe et Ankotapike ; les barres d'erreurs représentent les intervalles de confiance à 95%. ME : Mortes Eaux, VE : Vives Eaux.

En revanche, pour le village d'Ankotapike, les efforts et le nombre de balances utilisées étaient beaucoup plus faibles et ne différaient pas pour les deux types de marées. Elles se stabilisaient aux alentours de 50 sorties et de 1 800 balances utilisées par marée de mai à juillet 2021.

➤ Pêche à la ligne

Pour la pêche à la ligne, Ankotapike a été le seul village étudié où cette pratique est dominante. Le nombre de sorties en vives eaux diminuait d'avril (484 ± 73 sorties) à août 2021 à (250 ± 25 sorties. En marée des mortes eaux, la courbe a une même tendance à la baisse mais plus irrégulière (avec un effort atteignant 531 ± 49 sorties en mai par exemple) et une grande

baisse en juillet (290 ± 36 sorties) avant de reprendre en août. L'effort nominal corrigé ou le nombre total de lignes déployées durant cette étude suivait cette même tendance avec un nombre de 36 lignes utilisées en moyenne pour chaque sortie (fig. 13).

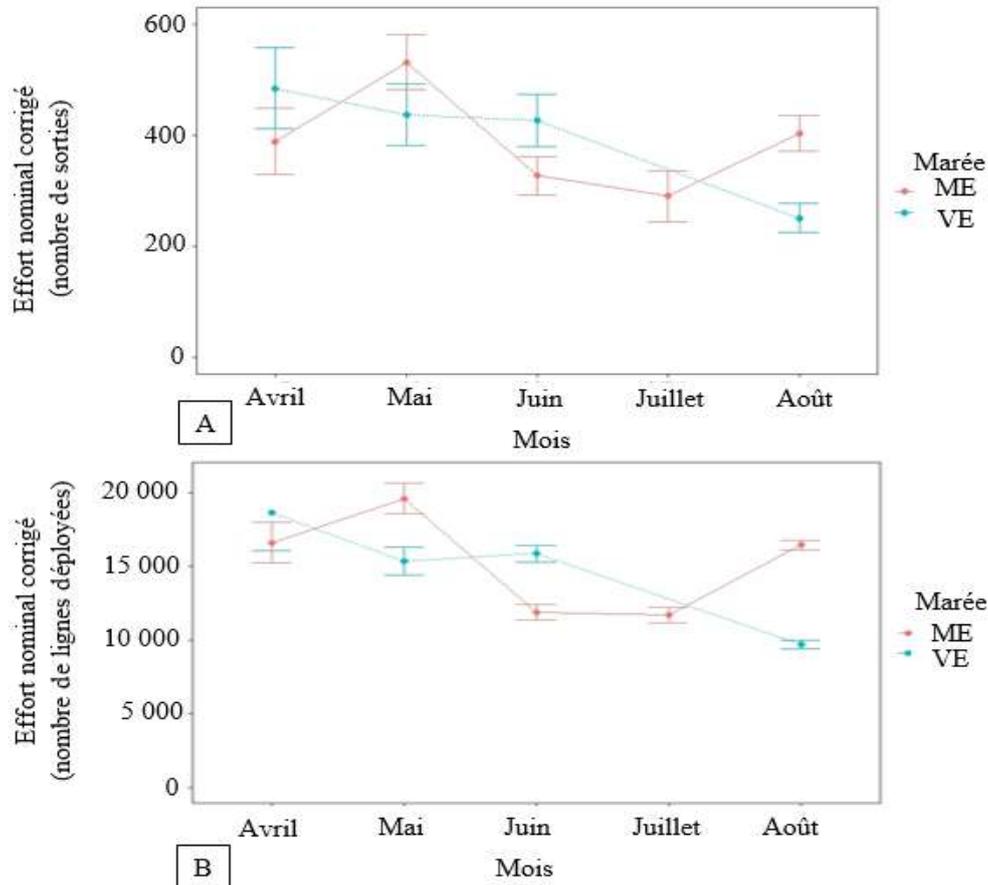


Figure 13: (A) Effort nominal (nombre de sorties) pour la pêche à la ligne ; (B) Effort nominal corrigé (nombre de lignes déployés pendant les périodes étudiées pour le village d'Ankotapike entre avril et août 2021 ; les barres d'erreurs sont les intervalles de confiance à 95%. ME : Mortes Eaux, VE : Vives Eaux.

➤ Durée de pêche des sorties des pêcheurs

Au total 57 trajectoires de pêche ont été enregistrés lors du suivi participatif des sorties. La durée de pêche variait selon le pêcheur et selon la technique (fig. 14). En effet, la durée moyenne de pêche à la balance ($3h13min \pm 40min$) a été significativement inférieure à celle des deux autres engins (test de tukey, $p=0,031$; respectivement de $4h25min \pm 58min$ et $5h20min \pm 1h30min$ pour le crochet et la ligne). Ceci s'explique du fait que cette technique est utilisée en période de vives eaux durant laquelle la durée du marnage est faible.

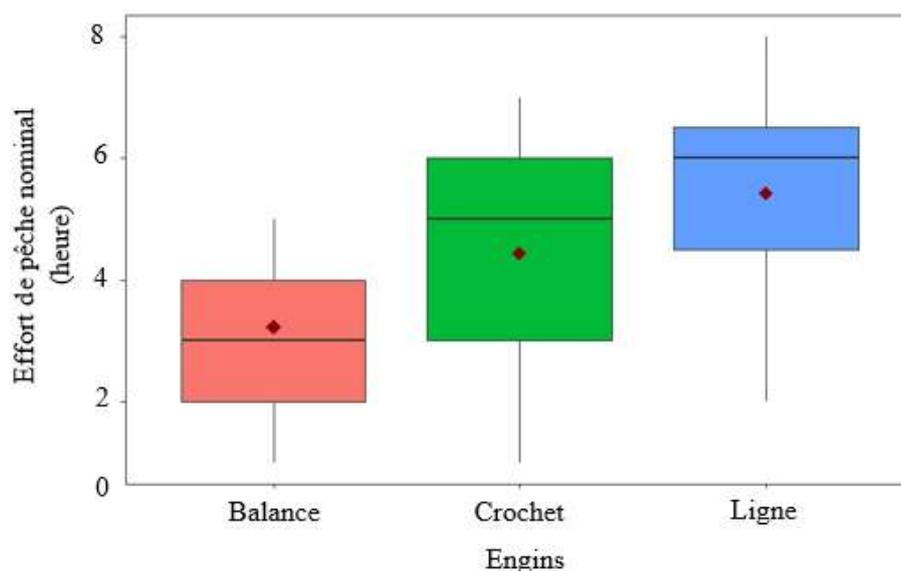


Figure 14: Représentation de la durée moyenne des sorties selon les 3 engins considérés, les lignes sur les boxplot représentent la médiane et les points rouges sont les moyennes. Les barres sont les intervalles de confiance au seuil de 95%.

2.2. Estimation de l'indice d'abondance : CPUE

Durant le suivi, 1 101 observations ont été collectées par les volontaires et 419 par les enquêteurs. Au total, 1 520 enquêtes sorties ont été enregistrés avec leurs captures (tab. 3). Selon les engins, 863 enquêtes ont été réalisées sur la pêche au crochet, 407 sur la balance, 201 sur la ligne et le reste était des enquêtes sur la pêche à la raquette de nuit. Le nombre de jours de suivis total étaient de 65 jours durant ces 5 mois.

Tableau 3 : Nombre d'enquêtes sur les captures effectuées par les volontaires et les enquêteurs durant le suivi d'avril à août 2021 dans les villages de la zone de Morombe.

		Nombres d'enquêtes sur les captures					total
		avril	mai	juin	juillet	août	
Volontaires	Ambohibe	45	24	41	54	68	232
	Andranopasy	10	28	45	43	46	172
	Marohata	28	30	21	31	31	141
	Ankinjanoke	36	53	42	59	18	208
	Efeza	36	26	32	–	25	119
	Ankotapike	61	58	37	35	38	229
Enquêteurs	Ambohibe	–	–	68	62	85	215
	Ankotapike	–	31	60	61	52	204
total							1520

La CPUE moyenne durant le suivi était de $5 \pm 0,2$ kg/sortie pour le crochet et respectivement $0,2 \pm 0,01$ et $0,1 \pm 0,01$ kg/sortie/engin pour la balance et la ligne dans toute la zone. Les moyennes des CPUE entre la ligne et la balance n'avaient pas de différence significative (test de Tukey, $p=0,55$). Par contre, la CPUE moyenne du crochet était significativement supérieure aux deux autres (test de Tukey, $p < 2 \cdot 10^{-16}$). Quel que soit l'engin considéré, on a observé une baisse des CPUE moyennes dans tous les villages étudiés au cours de la période.

➤ Pêche au crochet

Les CPUE moyennes étaient plus élevées dans le village de Marohata ($6,9 \pm 0,9$ kg/sortie) et Efeza par rapport aux autres villages, en particulier à Ambohibe ($4,8 \pm 0,3$ kg/sortie) et Ankinjanoke ($4,29 \pm 0,53$ kg/sortie) (fig. 14). Les tests statistiques révélèrent qu'il existe au moins une moyenne des CPUE significativement différentes entre les villages (anova, $p < 0,000004$). Ainsi, la comparaison par paire a montré que les CPUE moyennes étaient significativement supérieures à Marohata et Efeza par rapport aux autres villages (test de Tukey, $p < 0,05$). Les CPUE moyennes au crochet de Marohata et d'Efeza n'étaient pas différentes (test de tukey, $p=1$).

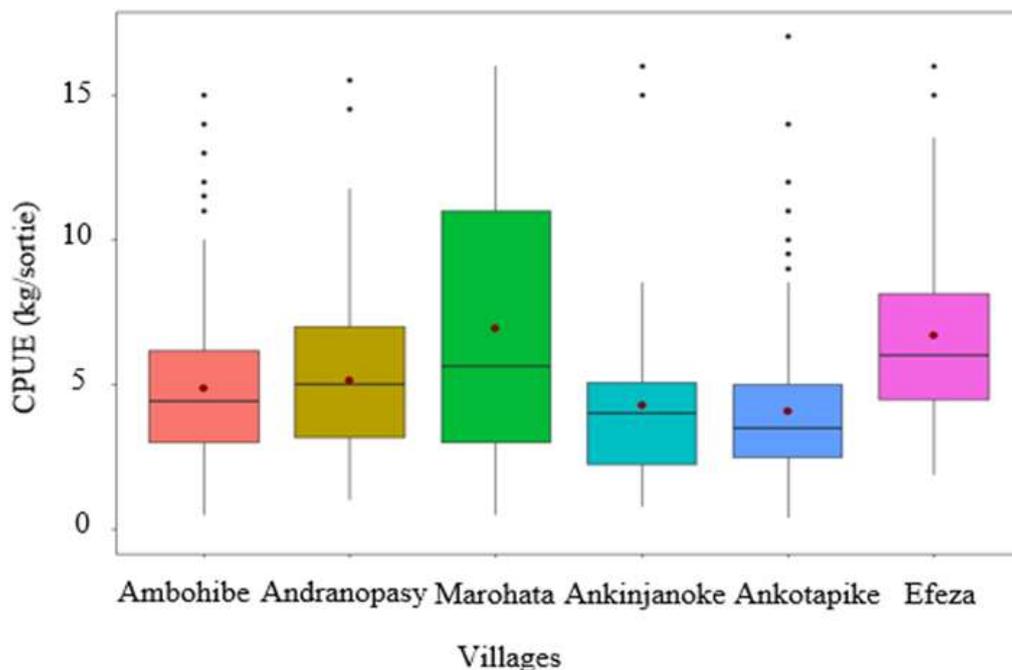


Figure 15: Distribution des CPUE de la pêche au crochet dans les 6 villages suivis d'avril à août 2021, zone de Morombe. Les barres représentent les intervalles de confiance à 95%, les traits horizontaux sont les lignes médianes et les points rouges sont les moyennes.

Les CPUE diminuaient de -53% à -70% au cours de la période dans les villages du nord de Morombe (Ambohibe, Andranopasy et Marohata) (Fig 16). Les CPUE moyennes étaient élevés au mois d'avril pour les deux marées et diminuaient par la suite durant le mois de mai avant de prendre une petite augmentation pour se stabiliser autour de 5 kg/sortie/crochet pour le reste de la période. Cependant, dans la zone sud, cette baisse est intervenue avec un décalage de deux semaines à un mois. La diminution était moins prononcée pour les villages où les CPUE moyennes étaient les plus faibles (-45% à -50% à Ankinjanoke et Ankotapike respectivement).

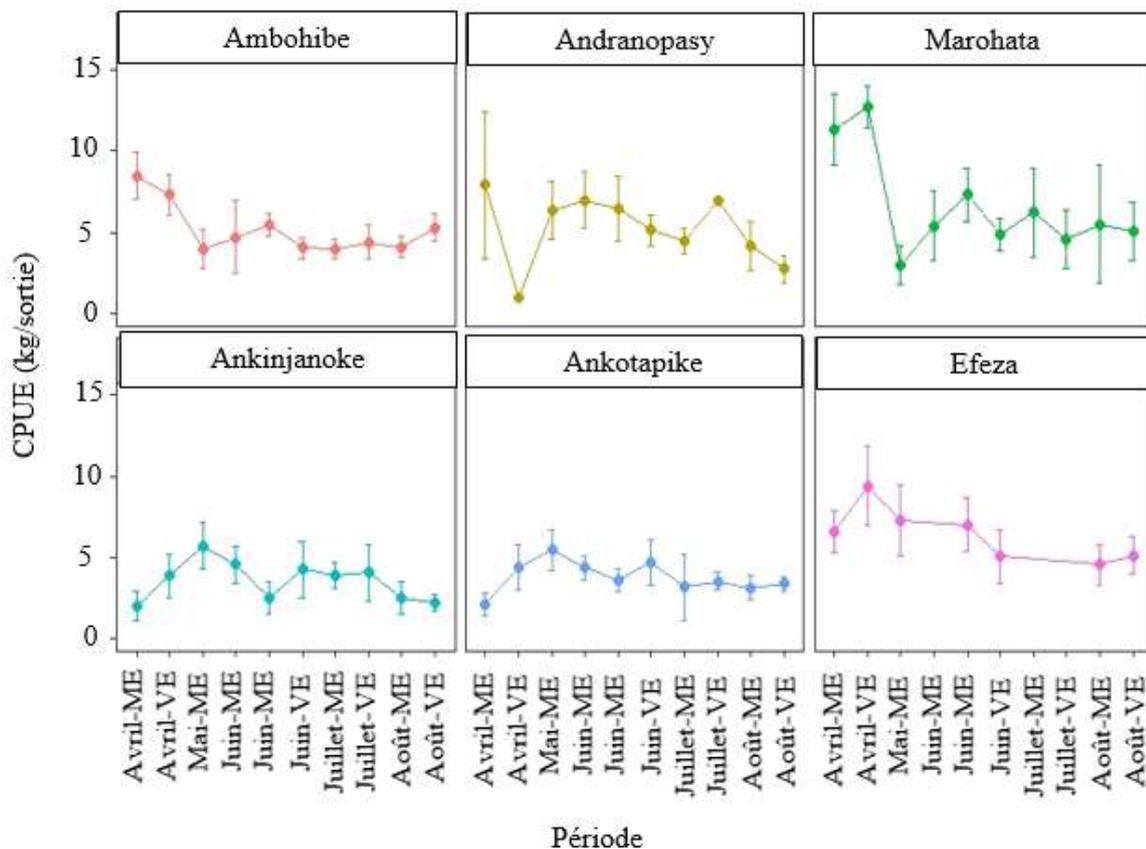


Figure 16: Variation périodique de la CPUE moyenne de la pêche au crochet dans la zone de Morombe entre avril et août 2021, les barres représentent les intervalles de confiance à 95%.

➤ Pêche à la balance

Les CPUE moyennes des balances à crabes étaient plus de deux fois supérieures à Ambohibe ($0,3 \pm 0,02$ kg/balance/sortie) qu'à Ankotapike ($0,12 \pm 0,01$ kg/balance/sortie), où cet engin était d'ailleurs peu répandu. Une différence significative a été révélée par t-test ($p < 0,001$).

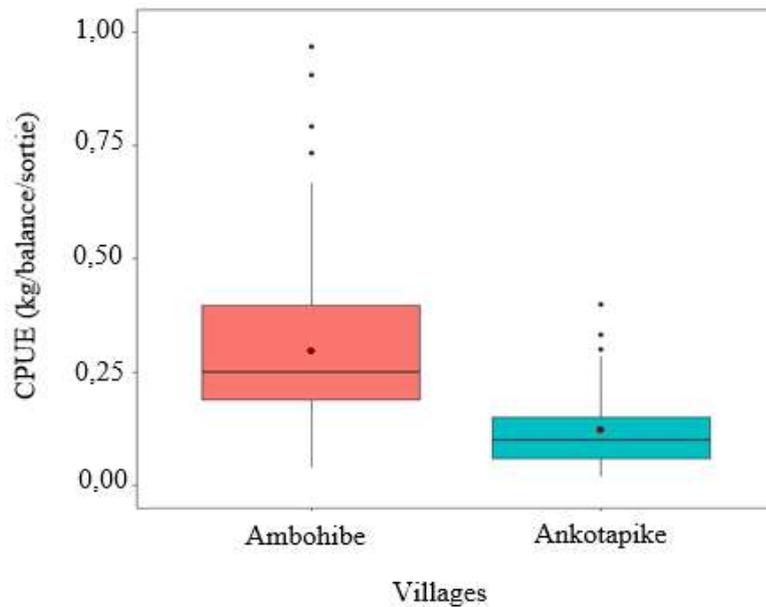


Figure 17: CPUE moyenne de la pêche à la balance pour les villages d'Ambohife et Ankotapike entre avril et août 2021 ; les traits et les points rouges sont respectivement la médiane et la moyenne ; les traits représentent les incertitudes.

Comme pour le crochet, les CPUE des balances montraient une baisse sur la période de suivi, de -60% à Ambohife (de $0,51 \pm 0,23$ à $0,23 \pm 0,12$ kg/balance/sortie) et -65% (de $0,23 \pm 0,06$ à $0,1 \pm 0,08$ kg/balance/sortie) à Ankotapike (fig. 18).

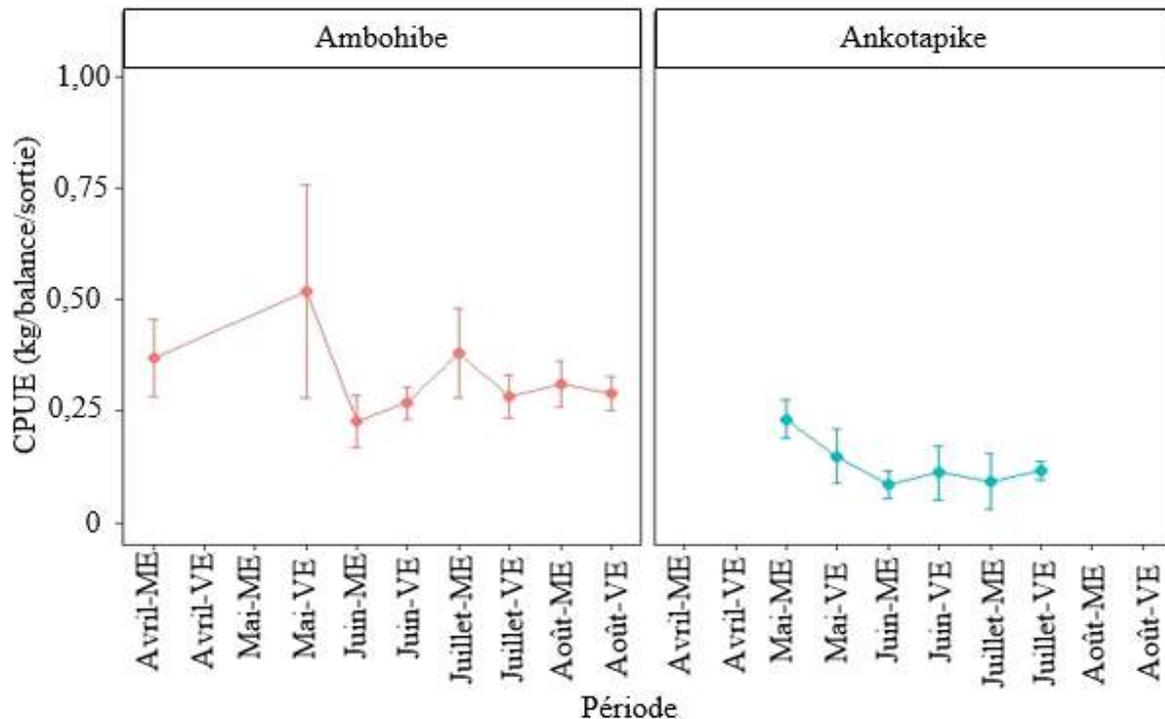


Figure 18: Variation des CPUE moyennes au cours du temps entre avril et août pour la pêche à la balance à Ambohife et Ankotapike entre avril et août 2021 ; les barres signifient les incertitudes de ces valeurs moyennes de CPUE au seuil de 95%.

➤ Pêche à la ligne

La pêche à la ligne montrait une CPUE moyenne faible par rapport aux autres méthodes de pêche avec une moyenne de $0,1 \pm 0,01$ kg/ligne/sortie à Ankotapike, le seul village où la ligne est abondamment utilisée. Une diminution de -50% a été constatée au cours de la période de suivi avec des valeurs $0,16 \pm 0,02$ à $0,08$ kg/ligne/sortie respectivement en avril des mortes eaux et août des vives eaux. (fig. 19).

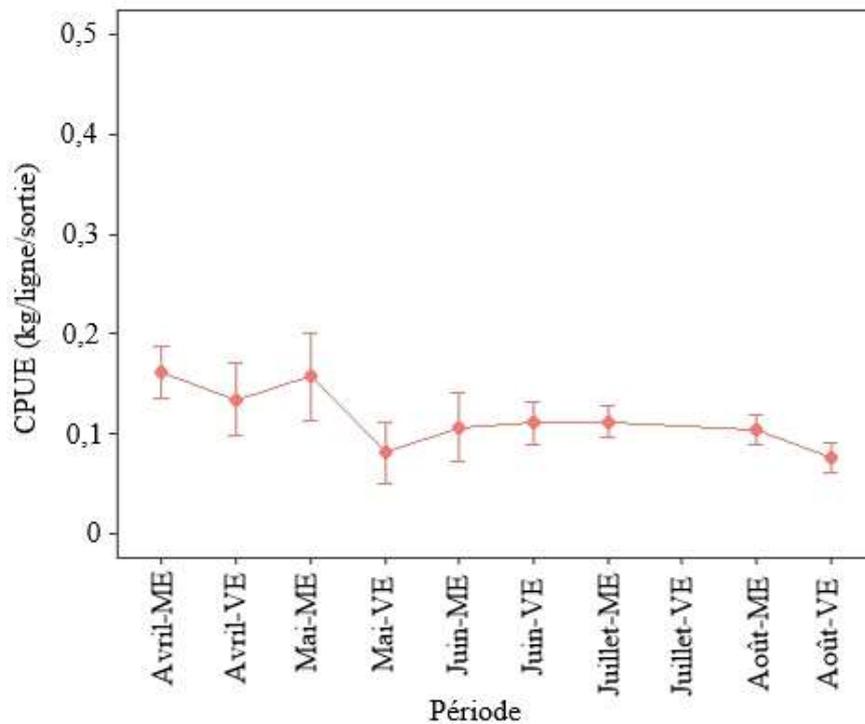


Figure 19: Variation mensuelle de la CPUE moyenne de la pêche à la ligne à dans le village d’Ankotapike durant la période d’avril à août 2021. Les barres représentent les intervalles de confiance à 0,05.

2.3. Standardisation de la CPUE à partir du modèle GLMM

➤ Effets des facteurs explicatifs

Le modèle adopté expliquait environ 78,03% de la variance de la CPUE. Les variables mois, l’engin, et leur interaction avaient un effet significatif sur les CPUE (Tab. 4). La variable marée n’avait pas un effet sur l’abondance des crabes; cependant, l’interaction de la marée avec le facteur mois avait un effet significatif sur certains mois. La CPUE était conditionnée par les engins utilisés à hauteur de 44,5% (variation due à la différence de capturabilité des engins) et elle variait selon les mois (8,3% de la variance expliquée). Les mois significatifs par rapport à

la référence (mois d'août) étaient : avril, mai et juin. Le facteur village qui est une variable aléatoire avait une influence de 21,32% sur l'abondance des crabes.

Tableau 4 : Variance expliquée des effets fixes et aléatoires du modèle GLMM appliqué aux CPUE. Les « *** » marquent qu'il y a une différence significative entre les facteurs et « NS » dit la non significativité de la variable.

Facteurs explicatifs	Densité	
	Variance expliquée (%)	p-value
Engin	44,5	***
Mois	8,3	***
Marée	0,07	NS
Zone	0,004	NS
Mois*Marée	0,8	***
Mois*Engin	3	***
Engin*Marée	0,008	NS
Engin*Marée*Mois	0,03	NS
Village (effet aléatoire)	21,32	
Modèle total	78,032	

➤ **Distribution des résidus**

En général les résidus des modèles n'étaient pas distribués selon une loi normale, comme la démontrent les valeurs des quantiles extrêmes éloignées de la droite d'Henry (fig. 20A). Néanmoins, l'histogramme des résidus (fig. 20C) ne montrait pas une rupture importante de non-normalité. Les résidus (fig. 20B) sont distribués de façon homogène autour de zéro en fonction des valeurs prédites pour le modèle, ce qui attestait d'une homogénéité acceptable des résidus.

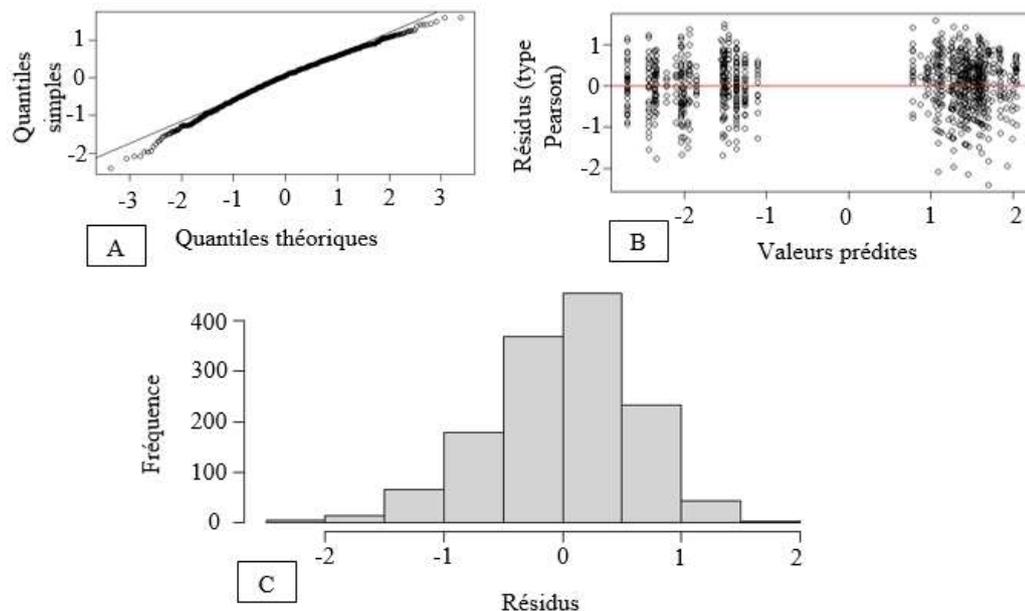


Figure 20: (A) Courbe de droite de Henry pour tester la normalité de la distribution des résidus ; (B) Distribution des résidus en fonction des valeurs prédites, les valeurs prédites sont transformées en $\ln(\text{CPUE})$, ce qui explique les valeurs négatives; (C) Histogramme des résidus.

➤ Variations des CPUE standardisées

Les CPUE standardisées montraient une tendance à la baisse à partir du mois de mai, quel que soit l'engin considéré (baisses de l'ordre -47%, -46%, -48 % respectivement pour le crochet, la balance et la ligne) traduisant une diminution de l'abondance des ressources (fig. 21). Pour le crochet, elle variait de $6,0 \pm 1,1$ à $3,2 \pm 1,0$ kg au cours de la période ; de $0,4 \pm 0,1$ à $0,2 \pm 0,1$ kg pour la balance ; et de $0,2 \pm 0,1$ à $0,13 \pm 0,1$ kg pour la ligne.

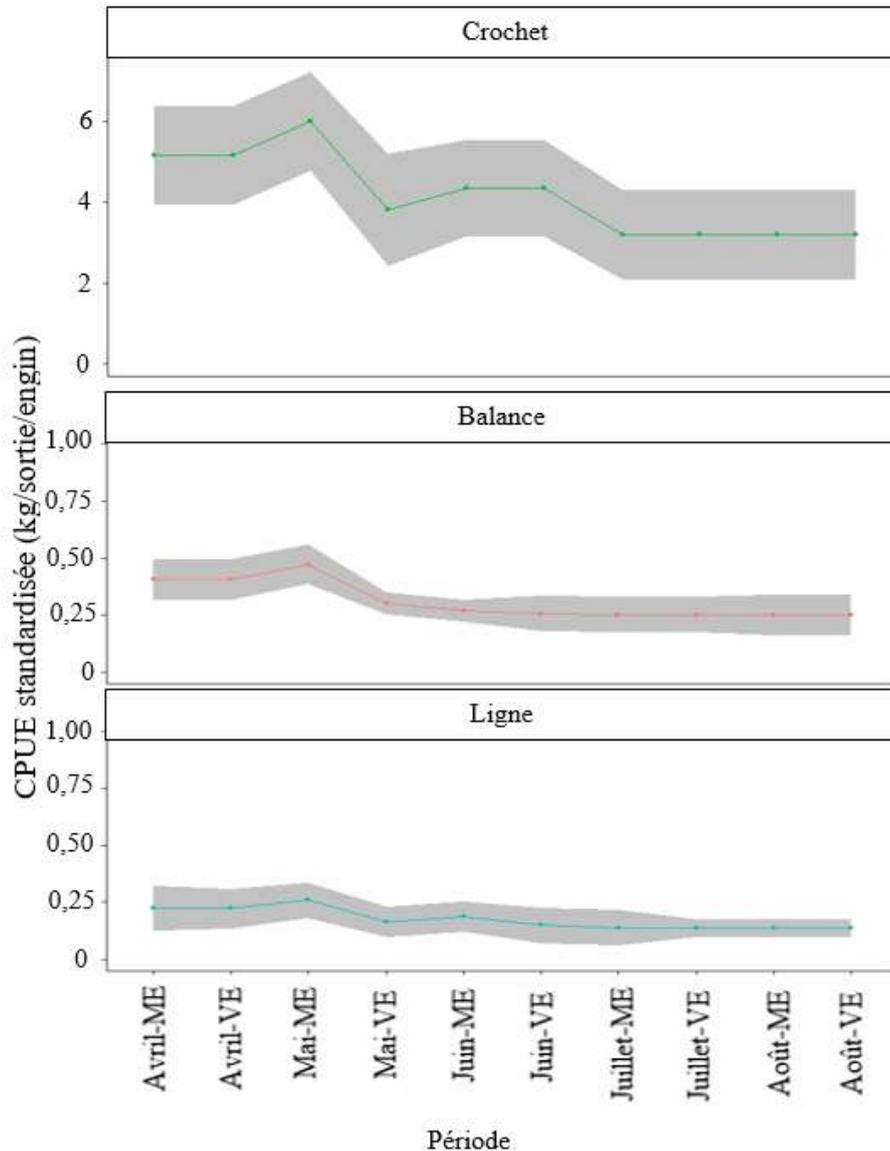


Figure 21: Evolution mensuelle des CPUE standardisée des 3 engins pour la pêche au crabe dans la zone de Morombe selon le modèle GLMM durant le suivi d'avril à août 2021. Les zones grisées sont les incertitudes autour de ces estimations au seuil de 5%.

2.4. Estimation de la production

La production mensuelle estimée variait de 1,4 tonne à 13,5 tonnes par village sur la période d'avril à août 2021 (annexe 5). La production estimée extrapolée pour tous les pêcheurs à l'échelle de la zone était de 212,5 tonnes durant ces 5 mois de suivi ou 1,43 tonnes/km² de mangrove, soit 60,8 kg par pêcheur par mois ou environ 2 kg/pêcheur/jour. La production dans la zone de Morombe montrait une variation. Elle était plus de 30 tonnes pendant les mois d'avril-mai et juin avant de diminuer à 22 tonnes le mois de juillet (fig. 22).

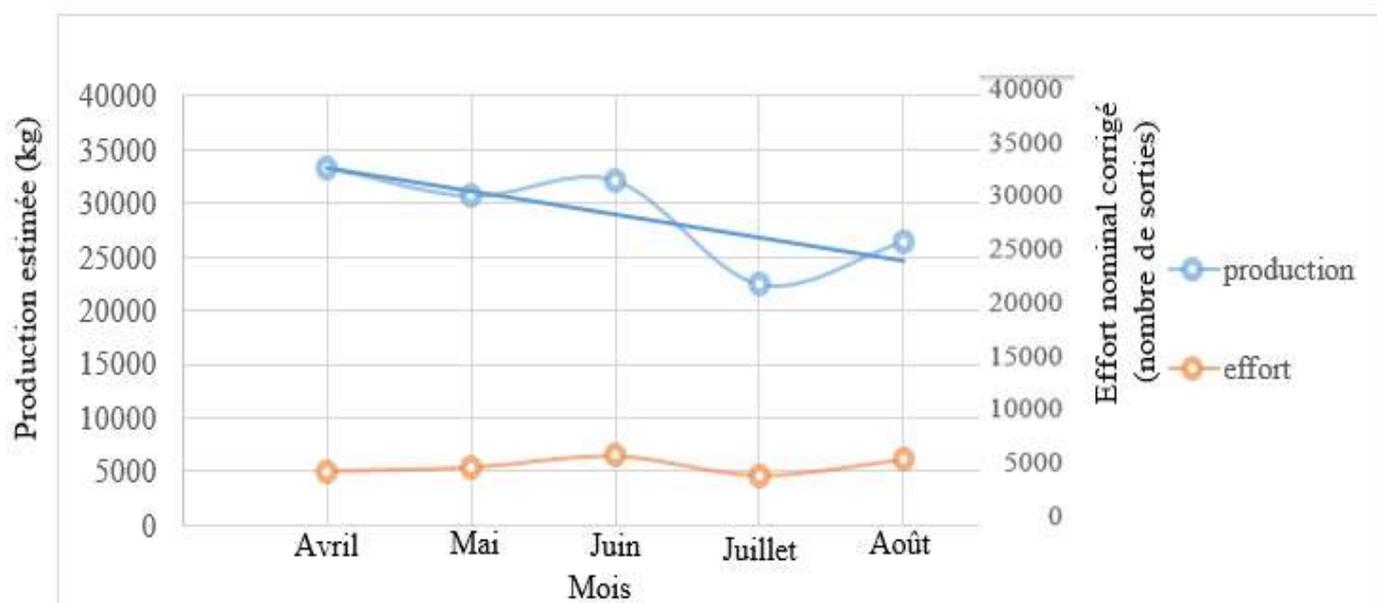


Figure 22 : variation mensuelle de la production estimée des crabes de mangrove dans la zone de Morombe suivant l'effort nominal cumulé pendant la période d'avril à août 2021.

De façon générale, les captures totales estimées pour le crochet (fig. 23) étaient supérieures en mortes eaux par rapport en vives eaux alors qu'il n'y avait pas presque de tendance dans la zone sud. La plus forte capture totale au crochet durant l'étude a été observée à Ambohibe au mois d'avril des mortes eaux ($5,7 \pm 0,3$ tonnes) et à Marohata au moins de juin des mortes eaux ($6,7 \pm 0,6$ tonnes). La production estimée d'Ankotapike était la plus basse mais restait la plus stable toute au long de la période considérée, elle variait de 0,3 à 0,7 tonnes.

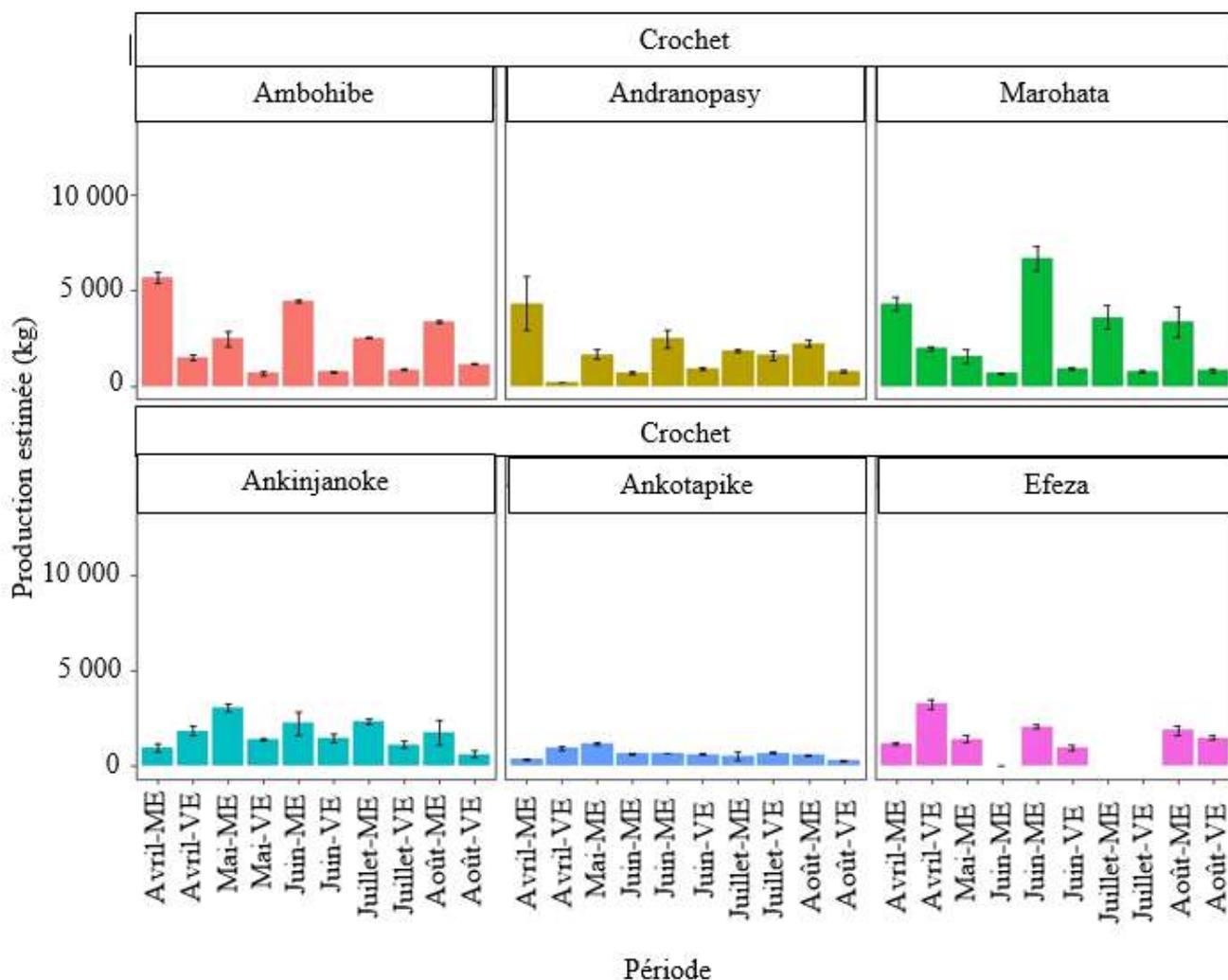


Figure 23: Captures totales estimées pour la pêche au crochet dans les villages de suivi d'avril à août 2021, les barres sont les intervalles de confiance à 95%.

Pour la balance, la production estimée était plus élevée pendant les périodes de vives eaux à Ambohibe par rapport à la période des mortes eaux. La production la plus élevée était observée au mois de mai pendant la quinzaine des vives eaux atteignant $10,4 \pm 3,4$ tonnes. Par contre pour Ankotapike, les estimations de captures totales étaient moins élevées durant toute la période variant entre $0,15 \pm 0,01$ à $0,4 \pm 0,03$ tonnes.

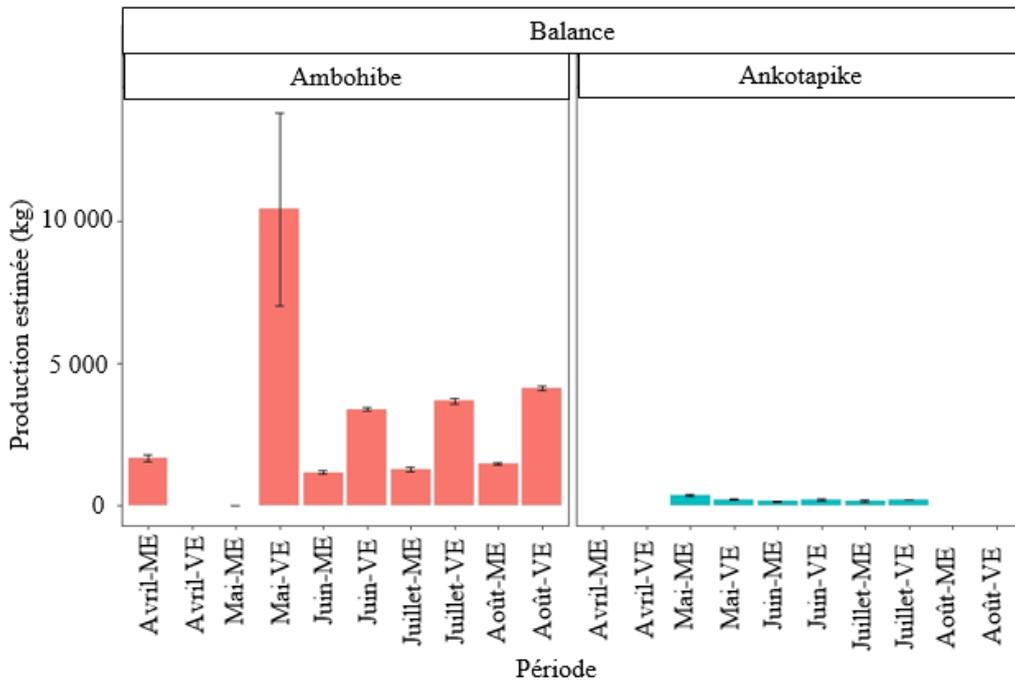


Figure 24: Production estimée pour la pêche à la balance dans les villages d’Ambohibe et Ankotapike entre avril à août 2021, les barres sont les incertitudes de cette estimation à 95%. Les vides signifient qu’il n’y avait pas de données parvenues durant ces périodes.

La ligne (village d’Ankotapike) enregistrait des productions estimées assez élevées (plus de 2,5 tonnes par quinzaine) durant les premières périodes de l’étude (avril et mai des mortes eaux), puis diminuaient à moins de 1,7 tonnes (fig. 25).

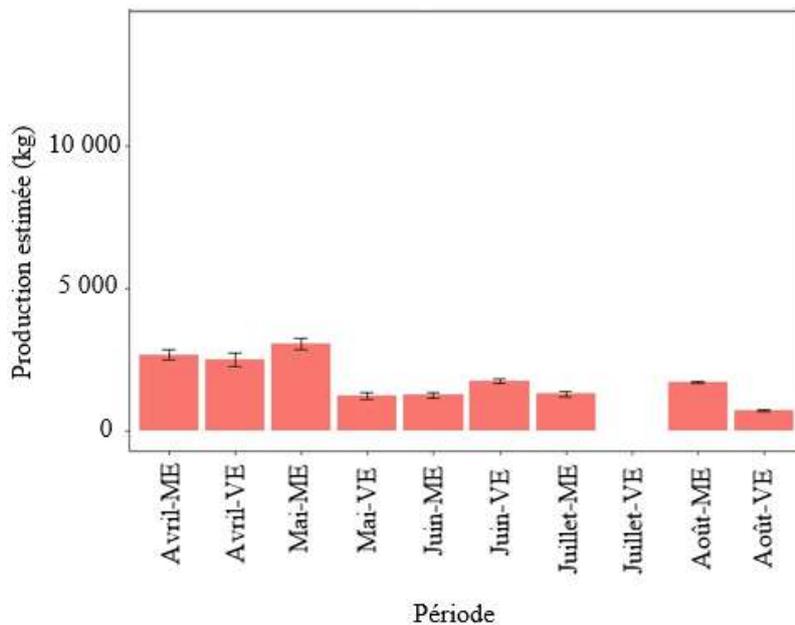


Figure 25: Production estimée de la pêche à la ligne à Ankotapike d’avril à août 2021 ; les barres sont les intervalles de confiance à 95%.

2.5. Indicateurs liés à la taille des crabes

L'analyse des distributions de tailles (LC) s'appuie sur l'interprétation des tailles minimales, maximales, médianes et moyennes des crabes pour la durée de l'étude dans deux villages de la zone de Morombe. Sur les 419 enquêtes effectuées par les enquêteurs entre mai et août 2021, 6 772 crabes ont été mesurés et sexés dans les deux villages, soit 3 845 et 2 927 crabes respectivement pour Ambohibe et Ankotapike.

2.5.1. Distribution de tailles des crabes au niveau des pêcheurs

Les individus pêchés dans le village d'Ambohibe variaient entre 50,0 à 150,0 mm du mois de juin à août 2021. La taille médiane et la moyenne se trouvaient respectivement à 100 mm et 100 ± 3 mm (fig. 26). La part des crabes de moins de 110 mm (taille minimale réglementaire) représentait plus de 70 % des prises des pêcheurs à Ambohibe.

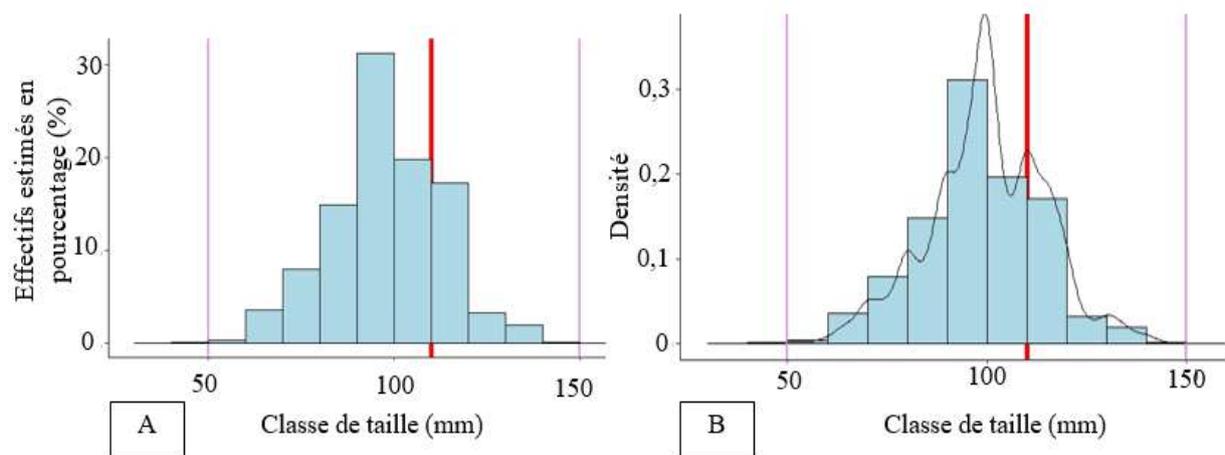


Figure 26: (A) Distribution de la fréquence en tailles de la capture pour tous les engins pour le village d'Ambohibe exprimé en pourcentage entre juin et août 2021; traits violets : taille minimale et maximale ; trait rouge : taille réglementaire) ; (B) Courbe de densité de la distribution de la fréquence en tailles pour Ambohibe.

Cette situation était aussi constatée dans le village d'Ankotapike (fig. 27), au sud de Morombe, où les tailles minimale et maximale de crabe pêché étaient de 330 mm et 156 mm. La médiane et la moyenne sont toutes deux de 93 mm et 93 ± 7 mm. Les crabes inférieurs à 110 mm capturés représentaient de l'ordre de 62% des captures. En somme, la capture d'individus de 110 mm et plus était ainsi très minoritaire à Ambohibe et Ankotapike. Les tailles moyennes des crabes capturés entre ces deux villages étaient significativement différentes ($p < 2,2 \cdot 10^{-6}$).

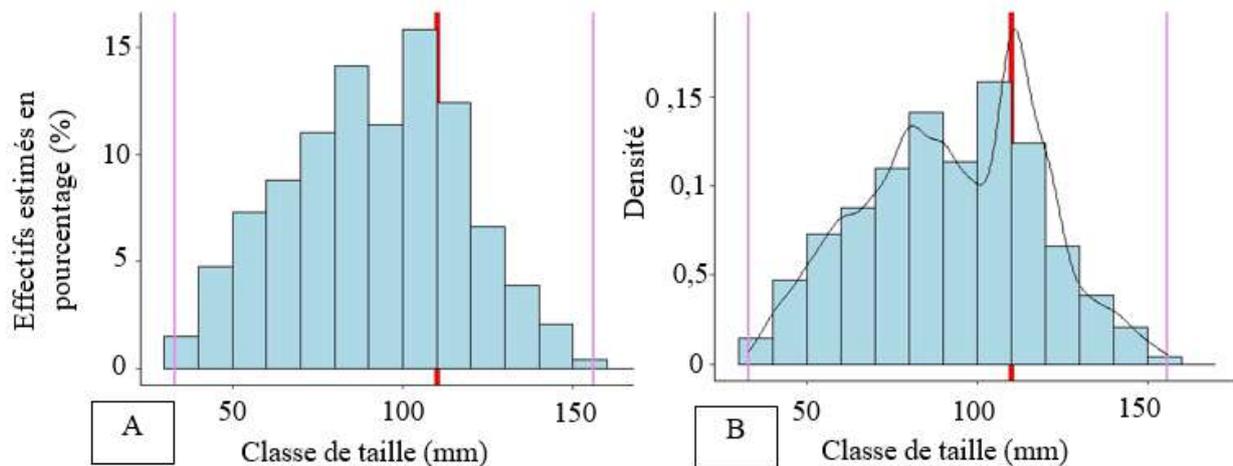


Figure 27:(A) Distribution de la fréquence en tailles de la capture pour tous les engins pour le village d’Ankotapike exprimé en pourcentage entre mai et août ; (B) Courbe de densité de la distribution de la fréquence en tailles pour Ankotapike. Traits violets : taille minimale et maximale ; trait rouge : taille réglementaire.

La variation de tailles des prises au cours des mois étudiées montrait une baisse pour le village d’Ambohife pour tous les engins confondus, passant en moyenne de 102 ± 7 mm en mai 2021 à 96 ± 7 mm en août 2021 (fig. 28). Ces différences étaient significatives entre elles (test de Tukey, $p < 0,000002$). Dans le village d’Ankotapike, les tailles moyennes observées variaient de 88 ± 1 mm à 100 ± 2 mm au cours du suivi. La taille moyenne au mois de juin était significativement supérieure aux autres mois. La tendance de variation temporelle de la taille était la même pour les deux villages.

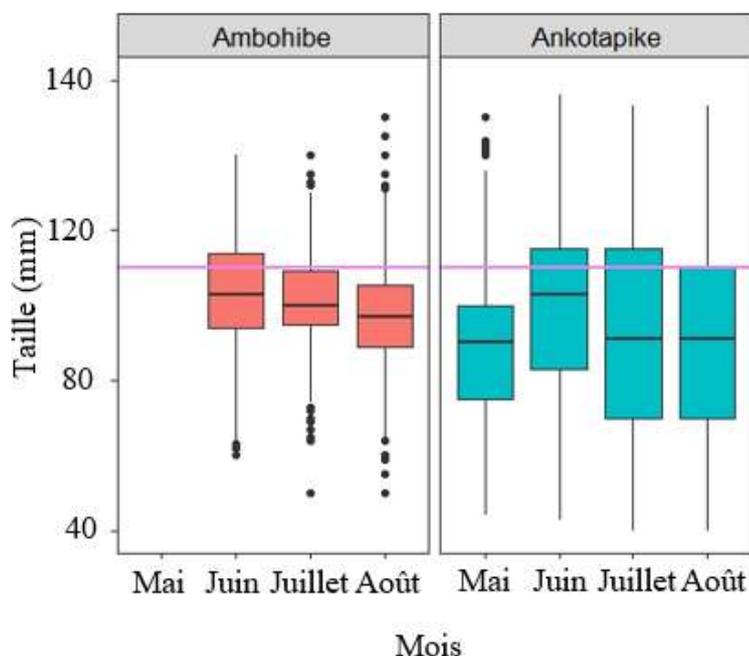


Figure 28:Boxplot de la variation de la fréquence en taille pendant le suivi Ambohife (A) et Ankotapike (B) durant mai et août 2021 pour tous les engins confondus, les pointillés sont les valeurs extrêmes et la ligne violette marque la taille réglementaire de 110 mm.

Pour pouvoir mieux comprendre la différence de distribution entre village, il a été jugé utile d'étudier les distributions de taille en considérant les engins de pêche et le sexe des crabes capturés. Le pourcentage des crabes femelles attrapés était nettement supérieur par rapport aux crabes mâles pour les deux principaux engins (crochet et balance) (fig 29). Les tailles minimales entre les mâles et les femelles capturés n'étaient pas différentes pour les deux villages étudiés.

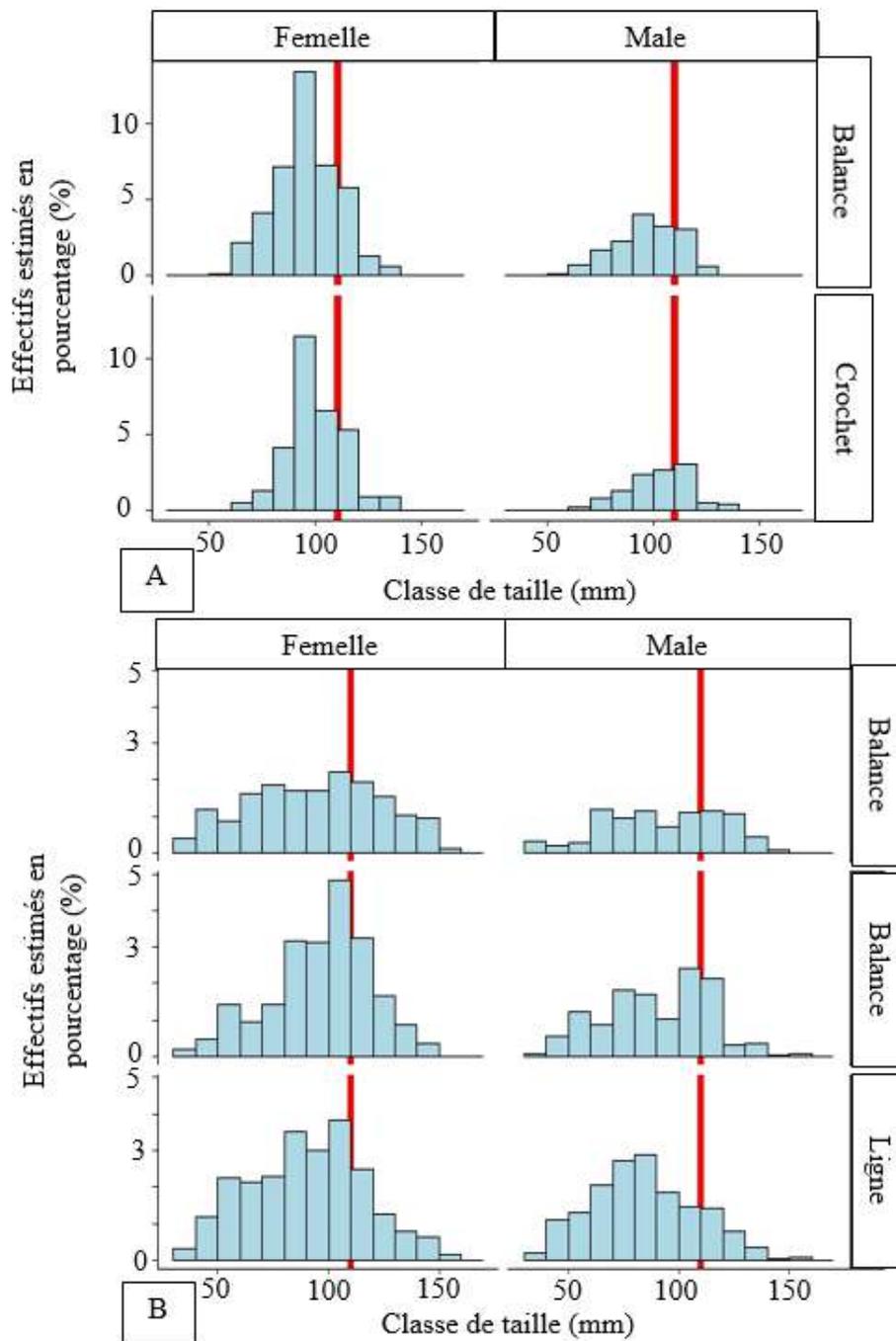


Figure 29 : Distribution de la fréquence de taille des crabes capturés par engins et par sexe entre mai et août 2021 (A) pour le village d'Ambohibe et (B) pour Ankotapike durant le suivi.

Les moyennes des crabes pêchés variaient également suivant les engins, celle de la pêche au crochet à Ambohibe (103 ± 5 mm) était significativement (bien que légèrement) supérieure à celle de la moyenne à la pêche à la balance (98 ± 3 mm) (Anova, $p < 0,001$). Pour le village du sud, les moyennes de tailles de captures pour la balance et le crochet étaient la même au cours de la période avec une valeur de 95 ± 1 mm. Mais celle de la ligne leur était significativement légèrement inférieure (89 ± 1 mm) (test de Tukey, $p < 0,0005$).

2.5.2. Standardisation de la taille par le modèle GLM

➤ Effets des variables explicatives

Le modèle GLM montrait que les mois, l'engin, et leur interaction avaient un effet significatif sur les gammes de tailles (Tab. 5) malgré les très faibles valeurs de leur influence (0,8 à 2%). L'effet « village » expliquait moins de 1% de la variation des tailles. Par contre, le modèle en entier n'expliquait que moins de 5% de la variation observée.

Tableau 5 : Variance expliquée des facteurs explicatifs du modèle GLM appliqué sur les tailles de crabes de la zone de Morombe. Les étoiles signifient que la variable a un effet significatif sur la taille.

Variables explicatives	Densité	
	Variance expliquée (%)	p-value
Mois	2	***
Engin	1	***
Mois*Engin	1	***
Village	0,8	***
Modèle total	4,8	

➤ Variation de la gamme de taille standardisée

Les gammes de taille standardisées montraient une tendance à la baisse à partir du mois de juin, quel que soit l'engin considéré (fig. 30). Ces diminutions étaient de l'ordre de 6 à 18 mm environ pour les trois engins dans les deux villages (107 ± 2 à 94 ± 2 mm pour la balance et 109 ± 2 à 91 ± 1 mm pour le crochet d'Ambohibe ; $10,2\pm 0,2$ à 96 ± 2 mm pour la balance, $10,2\pm 0,2$ à 90 ± 2 mm pour le crochet et 98 ± 2 à $88\pm 0,2$ mm pour la ligne d'Ankotapike). Bien que les écarts entre les tailles moyennes standardisées fussent extrêmement faibles, des différences significatives ont été révélées entre les mois (tab 5).

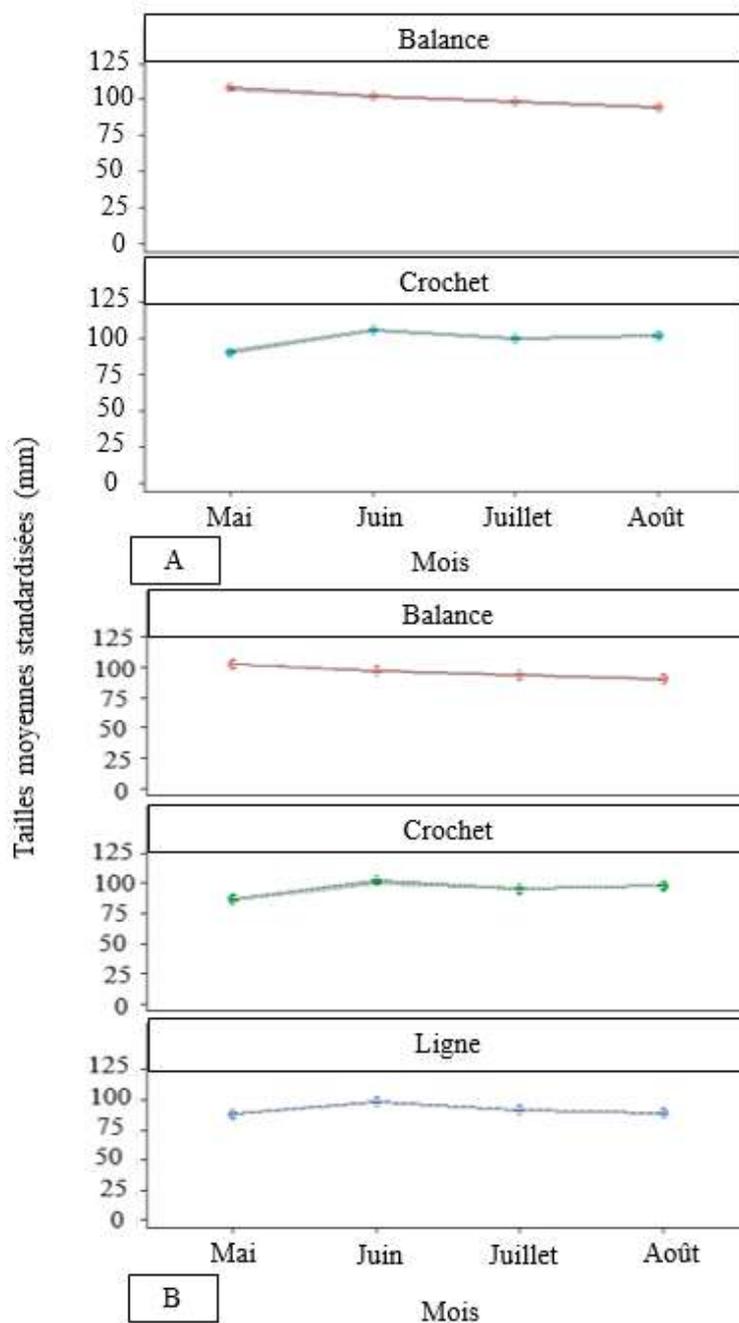


Figure 30: Tailles moyennes de crabes standardisées des 3 engins dans la zone de Morombe entre mai et juin 2021 selon le modèle GLM ; (A) Ambohibe et (B) Ankotapike. Les zones grisées sont les incertitudes au seuil de 5%.

2.5.3. Distribution de tailles des crabes commercialisés

Concernant le suivi participatif des crabes commercialisés, 12 débarquements ont été échantillonnés entre mai et août 2021, soit 1,17 tonnes et 1 991 crabes mesurés. La distribution des crabes commercialisés dans le circuit de collecte (>11 cm), issu de l'ensemble de la zone de au nord et au sud de Morombe, montrait que la majorité des crabes (65%) avaient une taille juste supérieure à la taille réglementaire (11-12 cm). Elle était significativement supérieure à la part des autres calibres (test de proportion, $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$) (fig.31). La part des gros crabes de plus

de 130 mm était minime (10,9%). La taille moyenne était environ 119 ± 3 mm; Le plus gros crabe rencontré au débarquement à Morombe entre mai et août 2021 était de 160 mm.

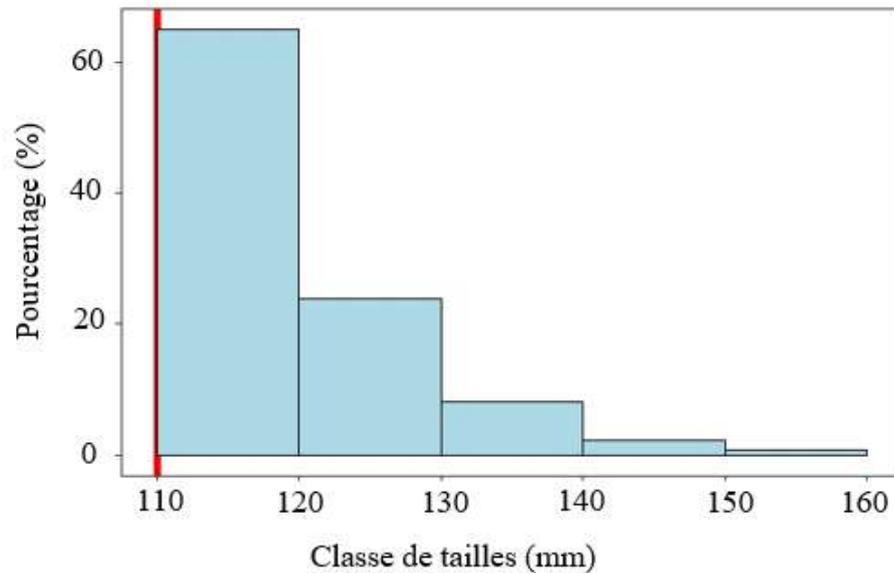


Figure 31: Répartition globale des classes de tailles des crabes débarqués à Morombe pour l'ensemble de la zone de Morombe entre mai et août 2021.

Entre la zone nord et sud de Morombe, la différence entre les crabes commercialisés pendant la durée de suivi a été significative bien qu'elle soit minime ($p=0,0075$). Les moyennes étaient de 119 ± 4 mm et 120 ± 9 mm respectivement pour le delta du Mangoky et le sud de Morombe (fig. 32).

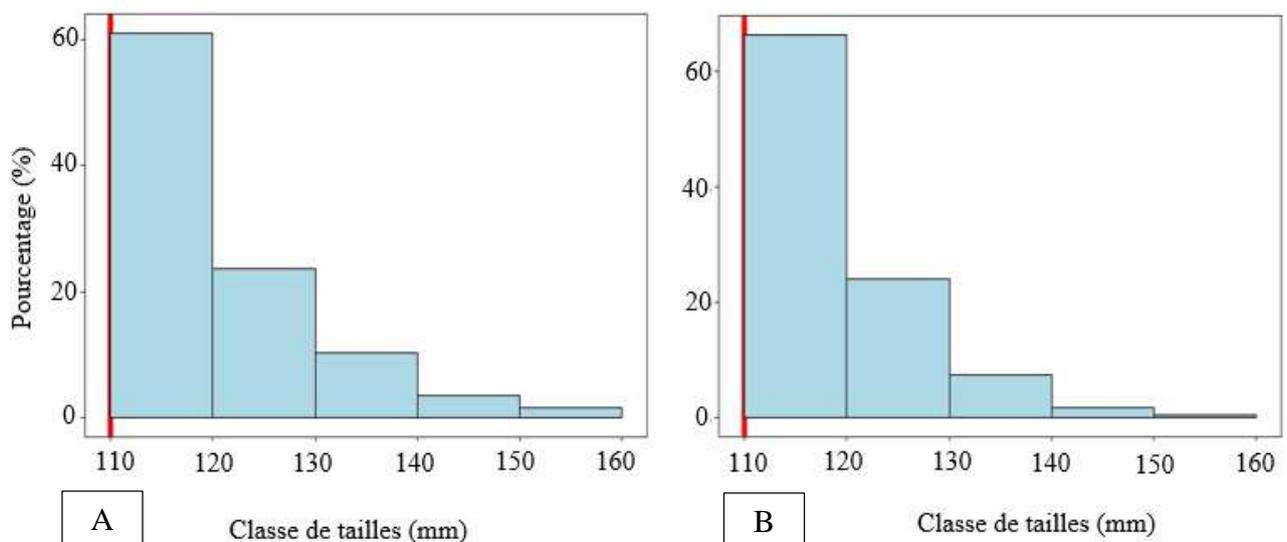


Figure 32: Répartition globale des classes de tailles des crabes débarqués à Morombe pour l'ensemble de la zone de Morombe entre mai et août 2021 (A pour la zone sud de Morombe et B pour la zone nord de Morombe).

3. DISCUSSION

3.1. Indicateurs d'état de la ressource en crabes de mangrove

Un suivi de l'évolution de la pêcherie de crabe de mangrove s'avère nécessaire afin de s'assurer du bon état général de la ressource en question, et de son maintien (Frotté, 2009). Il peut se faire à l'aide des indicateurs halieutiques groupés en indicateurs de pression, d'état, d'impacts et de réponse (Caddy, 2004). Cette catégorisation part du principe que la pêche exerce des pressions sur les crabes, via l'effort de pêche. Ces pressions peuvent induire des modifications d'état de cette ressource, par exemple sur l'abondance et sa distribution spatiale et temporelle, et la taille des individus. Face à ces changements, les décideurs réagissent par des programmes de gestion comme la limitation de l'effort de pêche (par exemple les fermetures temporaires) afin de réduire, accélérer ou maintenir les impacts des pressions (e.g. la surexploitation du stock ou sa stabilité). Diverses pêcheries de crabe de mangrove dans le monde basent l'évaluation de l'état de cette ressource en appliquant les méthodes axées sur les indicateurs, notamment le Pakistan (Alam *et al.*, 2018), l'Australie (Flint *et al.*, 2021), l'Indonésie (Sara, 2010; Cahyadinata *et al.*, 2020), la Nouvelle-Calédonie (Dumas et Léopold, 2009) et dans l'Océan Indien, la Tanzanie et le nord du Mozambique (Barnes *et al.*, 2002; Mirera, 2017).

➤ Techniques et effort de pêche

La pêche au crabe à Morombe a peu évolué en termes de techniques de pêche. Les matériels de pêche et les moyens d'embarcations demeurent rudimentaires. Les matériels utilisés pour cette pratique dans les années 1990 restent sans changement majeur et le crochet reste l'engin dominant (Razafimandimby, 1989; Razafiarivelo, 1994). La ligne est une technique minoritaire dans la zone mais elle est utilisée abondamment dans le sud notamment à Ankotapike et Befandefa. L'abondante utilisation de la balance dans le nord est expliquée par l'impact de l'efficacité de cet engin sur le type de mangrove, le delta du Mangoky possède une mangrove de type estuarien qui est peut être le mieux adapté à la pêche à la balance par rapport à la mangrove côtière de la partie sud. La conception de la balance dans la zone de Morombe est de type ancien. Le cerceau est fait en bois et lestés par des coquillages alors qu'il est en fer à béton dans la plupart des autres régions de Madagascar (Kasprzyk, 2012; CET, 2021). L'utilisation de ces matériaux est due peut être à la faiblesse des coûts investis. Néanmoins, cela en témoigne une pauvreté grandissante des pêcheurs de crabe dans le sud-ouest. La pêche à la nasse n'est pas rencontrée à Morombe alors qu'elle est observée partout dans le monde, en

Polynésie et Vanuatu (Rocklin, 2006; Frotté, 2009) et même à Madagascar dans la partie nord-ouest (Ambilobe et Ambanja) (Kasprzyk, 2012).

Comme il n'y a pas encore eu de publications officielles sur le dénombrement de pêcheurs au crabe de la zone de Morombe, aucune comparaison ne peut se faire par rapport à son évolution dans le temps. Nos résultats sur l'effort de pêche ont montré qu'il est conditionné par le nombre de pêcheurs actifs et les marées ce qui a été confirmé par une étude effectuée dans les années 1970 à Madagascar (Le Reste, 1976). La pression de pêche est supérieure dans la zone sud comparée à la zone nord en termes de surface exploitée, 11,1 pêcheurs/km² pour le sud et 3,1 pêcheurs/km² pour le nord. La pression semble être trois fois supérieure au sud.

Durant les marées des mortes eaux, la pêche au crochet enregistrait un effort de pêche plus conséquent. Les captures de crabes au crochet se limitent à la pratique de la pêche lors des marées basses des mortes rendant les trous accessibles (Bautil et Ardill, 1991). Pour la pêche à la balance et à la ligne, elle est également limitée par les marées puisqu'elles se pratiquent préférentiellement en marées des vives eaux où l'eau est turbide et également à la disponibilité d'appâts pour piéger les crabes (Razafimandimby, 1989). Quelques fois certains pêcheurs de la zone passent d'un engin à l'autre pour pêcher tout le temps le crabe. Certains arrêtent et passent à une autre pêche surtout les pêcheurs du delta de Mangoky (pêche au poisson et pêche aux crevettes). Les pêcheurs du sud, quant à eux, arrêtent la pêche au crabe quand leur engin n'est pas adéquat à la marée et se tournent vers d'autres activités, principalement l'agriculture pour les villages de la baie de Befotaka et l'algoculture pour ceux de la baie des Assassins.

➤ **Indice d'abondance : CPUE**

Les villages de Marohata et d'Efeza ayant des CPUE moyennes au crochet élevé par rapport aux autres villages pourraient être attribués à une abondance plus élevée des ressources en crabe dans ces localités. Le faible rendement de pêche à la balance à Ankotapike pourrait être synonyme de la raréfaction de la ressource ou peut être aussi dû à la plus faible capturabilité de la balance dans le type de mangrove côtière dans le sud (où la balance est rarement utilisée). La faible CPUE de la ligne peut être interprétée comme une faible capturabilité de cet engin. Ces variations d'abondance entre les villages montrent les différentes caractéristiques de chaque site de pêche et du type de mangrove.

Les CPUE sont liées à la méthode de pêche (Sara, 2010). Les CPUE à une unité de crochet étaient beaucoup plus importantes par rapport aux deux autres engins (c'est à dire pour une balance ou une ligne). Les rendements au crochet dépendent de la recolonisation des trous

visités. Elle se fait durant les marées hautes (Hill, 1975). Elles varient aussi fortement selon la pression de pêche (Frotté, 2009). Les CPUE en moyenne de crochet étaient plus faibles dans la plupart des villages de la zone sud où l’effort par km² était élevé comparée à celle de la zone nord bien que le nombre de sortie dans la zone nord était légèrement supérieur qu’à celui de la zone sud. La tendance des CPUE était similaire dans les villages étudiés pour chacun des engins considérés et elle mettait en évidence une variation mensuelle à la baisse. Les prises étaient importantes d’avril à mai et elles commençaient à diminuer au mois de mai des vives eaux jusqu’en août 2021 pour les trois engins. On peut affirmer qu’il y a une baisse saisonnière des ressources qui est plutôt forte puisqu’une diminution de presque 50% est constatée au cours de la période. Nos résultats sont assez similaires aux études faites sur la pêche au crabe de mangrove dans le nord de Madagascar (Le Reste, 1976; Bautil et Ardill, 1991). Cette diminution pourrait être attribuée à la saison froide durant laquelle la pluviométrie est moindre et le stock de crabes dans les terriers n’est pas renouvelé (Razafimandimby, 1989). De plus, il existerait une « haute saison » et une « basse saison » de la pêche au crabe dans la zone de Morombe d’après les perceptions des pêcheurs et collecteurs, et ce constat a été confirmé par les sociétés de collecte.

En comparant avec les données collectées dans les autres zones de Madagascar au cours de la même période (CET, 2021), pour le crochet, on constate qu’une unité de crochet est plus productive au sein de la zone de Mahajanga comparée à celui de de Morondava, Ambanja et celle de notre étude qui est environ 5kg/sortie. Cela traduit d’une différence importante de l’abondance des ressources entre ces zones. Quant au rendement de pêche de la balance, il est supérieur à Morondava et Mahajanga par rapport à celui de Morombe. Par contre une même tendance saisonnière à la baisse est vue dans les différentes zones d’intervention.

Tableau 6: Comparaison des CPUE moyennes de la pêche au crochet (kg/sortie) et de la pêche à la balance (kg/balance/sortie) dans les zones d’interventions de CORECRABE (Morondava, Mahajanga et Ambanja) entre avril et août 2021. *Source* :(CET, 2021)

	Morondava	Mahajanga	Ambanja
Pêche au crochet	6	8	3
Pêche à la balance	1	0,7	–

➤ Structure en tailles des crabes

L'étude de ces indicateurs a révélé des variations selon le village, l'engin de pêche utilisé et les périodes de suivi considérées. Les résultats de cette étude ont montré que la taille moyenne des crabes capturés est environ 10 cm dans l'ensemble des deux villages étudiés alors qu'elle était de 11,1 cm en 2009 (Kasprzyk, 2012) mais il se peut que cette différence puisse provenir de la méthode d'échantillonnage des crabes mesurés. Il faut noter que la taille minimale légale de capture est à 11 cm (entre les pointes) à Madagascar selon l'arrêté de 2014 (n°32101/2014) régissant l'exploitation du crabe de mangrove à Madagascar. Cette mesure correspond à la taille à première maturité de crabe de mangrove à Madagascar qui est de 11 à 12 cm de pointe à pointe (Le Reste, 1976; Kasprzyk, 2012), à laquelle 50% des individus d'une population ont atteint leur maturité sexuelle. La plupart des pêcheurs de crabe à Morombe pêchaient les petits individus pour leur autoconsommation, voire même pour la vente au niveau des marchés locaux. De ce fait, la réglementation fixant la taille minimale réglementaire n'est pas du tout respectée et appliquée à Morombe et presque dans tout Madagascar (Long *et al.*, 2017). Ceci montre l'importance de la pression de pêche dans la zone et une grandissante menace sur la ressource. En ciblant des crabes ,en grande partie, juvéniles, l'exploitation de la ressource conduirait à une diminution progressive des crabes et un risque de surexploitation (Hill, 1975; Shin *et al.*, 2010). Aux dires de certains pêcheurs, la ressource en crabe aurait déjà fortement diminuée depuis quelques années. Ce constat sur la taille et la pêche de juvéniles a une influence sur la baisse saisonnière de l'abondance des ressources en crabes. Vu la croissance des crabes atteigne l'âge adulte à moins d'un an (Hill, 1975; Le Reste, 1976), les pêcheurs capturent en majorité les juvéniles de la même année et peu d'individus d'un an et plus : cela peut être une explication sur la baisse très importante constatée sur les CPUE pendant la période puisqu'il en reste de moins en moins de jeunes crabes à pêcher. Pour confirmer cela, un suivi sur une année complète (y compris la haute saison) serait nécessaire.

En se référant aux études dans les autres zones de production de crabe à Madagascar effectuées durant la même période (tab. 7), la situation est beaucoup plus alarmante dans la zone de Morombe.

Tableau 7 : Tailles moyennes de crabe de mangrove capturés dans les zones les zone d'intervention de CORECRABE (Morombe, Morondava, Mahajanga et Ambanja) lors de la période de suivi d'avril à août 2021. *Source : (CET, 2021)*

	Morombe	Morondava	Mahajanga	Ambanja
taille moyenne de crabe (mm)	100	112	115	103

Les distributions de taille des individus capturés entre les deux villages étudiés ont été différentes. Cette différence peut s'expliquer de la disponibilité des ressources en crabes dans la zone et du type de mangrove qui est distinct entre ces deux villages (mangrove de type estuarien pour Ambohibe et mangrove côtière pour Ankotapike).

Les différences entre les distributions de tailles des individus capturés avec différents engins mettent en évidence l'effet de la sélectivité de ces engins sur les captures et l'habitat. En effet, les juvéniles colonisent les estuaires peu profondes (Meynecke et Richards, 2014; Alberts-Hubatsch *et al.*, 2016) et sont donc majoritairement capturés par la balance et la ligne. Quant aux adultes, ils préfèrent la zone de mangrove où la pêche au crochet peut les attraper sauf pendant leurs déplacements dans les estuaires où ils sont capturés par la ligne et la balance.

3.2. Protocole de suivi participatif : intérêts, limites et améliorations

Le protocole du suivi participatif adopté est essentiel du fait des indicateurs qui y sont renseignés permettant d'estimer l'abondance de crabes de Morombe (Rice et Rochet, 2005). Il voit dans sa démarche une majeure participation des acteurs non-scientifiques. Cet appui des non-scientifiques volontaires dans un suivi d'indicateurs de pêcheries est une méthode très prisée dans le monde ces deux dernières décennies (Kittinger, 2013; Oviedo et Bursztyn, 2016; Andrew *et al.*, 2020). Mais la communauté scientifique s'entend à dire qu'il est nécessaire de mettre en place une bonne structure de coordination afin d'obtenir des informations exploitables et fiables (Brenier *et al.*, 2013; Miller *et al.*, 2020) avec la validation des fiches et la vérification des données saisies par les scientifiques.

Des précautions ont été prises pour maximiser la véracité des informations produites comme le choix et la formation des volontaires, la rémunération et l'encadrement en les visitant régulièrement (Brenier *et al.*, 2013); et également des prudences au moment de la validation des données. Dans les deux villages avec volontaires et enquêteurs, l'abondance relevée par les volontaires suivait la même tendance que celle récoltée par les enquêteurs. Ce qui est interprété comme un signe de fiabilité des données. Cette capacité des personnes non scientifiques à faible niveau d'éducation à collecter des informations fiables a été déjà mis en exergue dans diverses études à travers le monde notamment sur les pêcheries récifales (Harding *et al.*, 1997; Kittinger, 2013). De plus, la région sud-ouest de Madagascar est pionnière et nullement étrangère en ce qui concerne l'approche participative des communautés locales dans les petites pêcheries récifales (Brenier *et al.*, 2013) et celles des poulpes (Ratsimbazafy, 2010) dont les résultats

étaient convaincants. Ces constats sont cruciaux pour la suite du suivi en termes de budget et de durée. Ce type de suivi a des points positifs à l'exemple de l'implication des divers acteurs non scientifiques et scientifiques dans le protocole. En complément de la participation des volontaires sur la partie collecte et envoi des données, la plus-value de leur implication est renforcée par l'assistance et la prise de parole lors des séances de restitution et des groupes de travail afin de renforcer leur connaissance sur la situation globale de gestion de la pêcherie de crabes (Stokes *et al.*, 1990).

Même si ce protocole a montré sa faisabilité, il n'est pas parfait dans son ensemble, quelques points négatifs méritent des améliorations et les points positifs valent des renforcements. Parmi ces contraintes, on peut citer: la non-constance du remplissage des volontaires des fiches au tout début du suivi, leur assiduité qui ne suivait pas le rythme convenu et l'arrivée irrégulière des fiches remplies à Toliara. Ces acteurs ne mesuraient pas assez l'importance de la qualité de ces fiches et leur intérêt. Ces faits se rencontrent dans les suivis participatifs de pêcheries dans leur phase de démarrage mais s'améliorent au fil du temps (Brenier *et al.*, 2013; Miller *et al.*, 2020). Une limite contraignante également dans ce protocole est les difficultés de communication avec les volontaires. Outre la distance assez loin des villages qui font l'objet de suivi par rapport à Morombe et Toliara et leur difficulté d'accès et l'inexistence de réseau téléphonique pour communiquer accentuait ce problème. Néanmoins, une mission sur le terrain au moins tous les deux mois a remédié à cette lacune.

Pour que ce protocole s'inscrive dans la durée, il faut inciter les volontaires à optimiser leur assiduité et des évaluations ponctuelles devraient se faire. Pour remédier à l'arrivée non-périodique des fiches de suivi, le circuit devrait être raccourci en diminuant les intermédiaires entre les volontaires et l'envoi des fiches à Toliara. Sinon, on opterait pour une méthode qui est appliquée récemment dans les petites pêcheries: l'utilisation des smartphones pour collecter les données au niveau des villages (de Graaf *et al.*, 2017; Jeffers *et al.*, 2019) afin de les envoyer directement sur un serveur en ligne. Cette application smartphone est en cours de finalisation actuellement au niveau du projet CORECRABE. Il y a également, le développement d'une base de données commune (e.g, Guillemot, 2011) pour la pêcherie de crabes à Madagascar qui est indispensable afin de permettre la standardisation des données collectées dans toute l'île, produire une analyse fine, répondre en peu de temps aux demandes d'informations sur la pêcherie et initier le développement d'outils d'aide au suivi et à la gestion de cette pêcherie qui est importante pour Madagascar.

CONCLUSION

La pêche de crabe de mangrove a longtemps été considérée comme une activité secondaire mais elle représente actuellement une filière prioritaire selon le MPEB. La présente étude consistait à une évaluation des indicateurs halieutiques d'état de ressources en crabes par la mise en place d'un suivi participatif et communautaire dans la zone de Morombe. Il portait sur plusieurs indicateurs utiles à notre étude : le taux d'activité et l'effort de pêche nominal, l'indice d'abondance des ressources (CPUE) et la structure en taille des crabes capturés par la mesure de la LC. Au total, 13 volontaires et deux enquêteurs ont réalisé le suivi au niveau des huit villages concernés dans la partie nord et sud de Morombe d'avril à août 2021. Leur participation était satisfaisante dans l'ensemble. Des suivis sur les déplacements des pêcheurs et sur les crabes commercialisés ont été également faits durant ce travail.

Au total 1 520 enquêtes ont été faites par les collaborateurs, 6 772 crabes ont été mesurés et sexés au niveau des villages et 1 991 crabes au niveau du site de débarquements de Morombe. Au cours de cette étude, 699 pêcheurs ont été recensés. La zone sud subissait plus de pression soit 11,1 pêcheurs/km² de mangrove contre 3,1 pêcheurs/km² pour la zone nord. La pêche au crochet enregistrait plus de 70% des sorties de pêche et restait l'engin dominant. L'effort de pêche n'était pas similaire dans les différentes localités. Les villages ayant beaucoup plus de nombre de pêcheurs exerçaient plus de sorties de pêche et engins déployés.

La pêche au crochet avait un rendement de pêche plus élevé que les autres unités d'engins, balance et ligne. Selon le modèle GLMM, la variation de la CPUE était expliquée par trois principaux facteurs : engin (crochet, balance et ligne), mois et leur interaction. Une tendance à la baisse de l'ordre d'environ 50% était observée durant la période de suivi pour chaque engin. L'abondance des crabes à Morombe est caractérisée par une abondance saisonnière. La majorité des crabes capturés dans la zone de Morombe était inférieure à la taille légale de 11 cm, des crabes immatures ont été pêchés. Cette situation est préoccupante pour la ressource et menacerait la durabilité des crabes de mangrove de la zone de Morombe. Il a été montré que la distribution en tailles présentait une différence significative entre les villages, les engins de pêche et les mois étudiés également. La taille moyenne standardisée montrait une tendance régressive durant le suivi.

Cette étude montre que l'étude des indicateurs est importante pour fournir des informations utiles à l'évaluation des ressources de crabe de mangrove. La mise en place d'un suivi participatif de la pêche au crabe de mangrove à Morombe semble réalisable pour suivre l'état et l'évolution de cette ressource à partir de l'analyse de la CPUE et de la structure en tailles des crabes afin de la gérer efficacement. Toutefois, il est recommandé:

- d'étendre le suivi sur une durée de cycle annuel, pour suivre et évaluer la variation de l'abondance de crabe dans la zone entre la saison chaude, les périodes juste après la fermeture nationale et la saison froide.
- de maintenir la fréquence et l'effort d'échantillonnage afin d'obtenir la même quantité de données à traiter dans les prochaines évaluations.
- de suivre également l'abondance des crabes suivant les calibres de taille.
- de collaborer avec les organisations non gouvernementales et les sociétés privées d'exportation opérant dans la zone pour améliorer l'efficacité de la collecte des données et réduire les coûts pour la pérennité du suivi halieutique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alam M. R., Siddiqui P. J., Hassan S., Abbas A., Akhtar S., Zafar M. and Somoro M. H., 2018.** Fishery characteristics of portunid crabs (*Scylla serrata*) from two different sites along the Sindh Coast (northern Arabian Sea). *Asian Journal of Biological and Life Sciences Original Research*, vol. 7, No. 1. 9 p.
- Alberts-Hubatsch H., Lee S. Y., Meynecke J.-O., Diele K., Nordhaus I. and Wolff M., 2016.** Life-history, movement, and habitat use of *Scylla serrata* (Decapoda, Portunidae): current knowledge and future challenges, *Hydrobiologia*, vol. 763. n°1, 5-21 pp. doi: 10.1007/s10750-015-2393-z.
- Alonso-Fernández A., Otero J. and Bañón R., 2021.** Indicators of body size variability in a highly developed small-scale fishery: Ecological and management implications, *Ecological Indicators*, vol. 121, 107-141 pp. doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107141.
- Andrew N., Campbell B., Delisle A., Li O., Neihapi P., Nikiari B., Sami A. and Steenbergen D., 2020.** Élaboration d'un suivi participatif des pêches communautaires à Kiribati et à Vanuatu. *Lettre d'information sur les pêches*, n° 162 - Mai-août 2020. 32-38 pp.
- Barnes D. K. A., Dulvy N. K., Priestley S. H., Darwall W. R. T., Choisel V. and Whittington M., 2002.** Fishery characteristics and abundance estimates of the mangrove crab *Scylla serrata* in southern Tanzania and northern Mozambique, *South African Journal of Marine Science*, vol. 24, No. 1, 19–25 pp. doi: 10.2989/025776102784528312.
- Bautil B. R. & Ardill J. D., 1991.** Actes du séminaire sur l'aménagement de la pêcherie de crabes des mangroves (*Scylla serrata*) du Nord-ouest de Madagascar. *Direction de la Pêche et de l'Aquaculture*, 98p.
- Bates D., 2016.** Package 'lme4': Linear Mixed-Effects Models using 'Eigen' and S4. 123p.
- Beibou E., Guitton J. and Libourel T., 2014.** Atlas géomatique collaboratif pour l'environnement et la gestion durable des ressources halieutiques, en Afrique de l'ouest, cas de la Mauritanie. 16 p.
- Bolker B., Brooks M., Clarck C., Geange S., Poulsen J., Stevens H. & White J.-S., 2009.** Generalized linear models: a practical guide for ecology and evolution, *Trends in Ecology & Evolution*, Vol.24 No.3. 128-135 pp.
- Bonine K. M., Bjorkstedt E. P., Ewel K. C. and Palik M., 2008.** Population Characteristics of the Mangrove Crab *Scylla serrata* (Decapoda: Portunidae) in Kosrae, Federated States of Micronesia: Effects of Harvest and Implications for Management. *Pacific Science*, vol. 62, No. 1, 1–19 pp. doi: 10.2984/1534-6188
- Brandão A. and Butterworth D. S., 2019.** Updated GLMM standardised trotline CPUE series for the toothfish resource in the Prince Edward Islands EEZ to include data for the 2018 season. *FISHERIES/2019/OCT/SWG-DEM/24*, 7 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, 293–306 pp. doi: 10.1051/nss/2013109.

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, 1307–1324 pp. doi: 10.1139/f04-132.

Cahyadinata I., Fahrudin A., Sulistiono and Kurnia R., 2020. Evaluation of mud crab utilization in the small outermost island: A case study of Enggano Island, Bengkulu Province, Indonesia, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 420, 1-9 pp. doi: 10.1088/1755-1315/420/1/012008.

Chaboud C., 2008. Modélisation bioéconomique de la pêcherie crevettière malgache, in Caverivière, A., Chaboud, C., & Rafalimanana, T. (eds) *Les crevettes côtières de Madagascar*. IRD Éditions, 261–310 pp. doi: 10.4000/books.irdeditions.10463.

Charles-Dominique E., 1991. Halieutique et pêches artisanales : anciennes méthodes, nouvelles problématiques ? Le cas de la pêche en lagune Aby (Côte d’Ivoire). *Contributions*. 965-972 pp.

CET, 2021. Compte-rendu de la session n°1 du Comité d’Expertise Transdisciplinaire « Caractérisation des pêcheries de crabe de mangrove à Madagascar ». Toliara, Madagascar. *CORECRABE*, 26 p.

Dong Y. and Hauschild M. Z., 2017. Indicators for Environmental Sustainability, *Procedia CIRP*, vol. 61, 697–702 pp. doi: 10.1016/j.procir.2016.11.173.

Dumas P. & Léopold M., 2009. Ecologie et exploitation du crabe de palétuvier en Nouvelle-Calédonie. *IRD – Unité de Recherche 128 " Biocomplexité des écosystèmes coralliens de l’Indo-Pacifique "*. 19 p.

Edwards C. T. T., Hillary R. M., Levontin P., Blanchard J. L. and Lorenzen K., 2012. Fisheries Assessment and Management: A Synthesis of Common Approaches with Special Reference to Deepwater and Data-Poor Stocks, *Reviews in Fisheries Science*, vol. 20, No. 3, 136–153 pp. doi: 10.1080/10641262.2012.683210.

FAO, 1999. Indicators for sustainable development of marine capture fisheries. *FAO Technical guidelines for responsible fisheries*. Rome, 76 p.

FAO, 2001. Indicateurs pour le développement durable des pêcheries marines. *FAO Technical guidelines for responsible fisheries*. Rome, 74 p.

FAO, 2016. Cours de formation internationale en statistiques des pêches et collecte de données. *Circulaire sur les pêches et l’aquaculture*. FIAS/C1091. 154 p.

FAO, 2020. La situation mondiale de la pêche et de l’aquaculture. *Résumé.*, 28 p.

FIDA, 2019. L’avantage de la pêche et de l’aquaculture. Faire progresser la sécurité alimentaire, la nutrition et l’autonomisation. 48 p. ISBN 978-92-9072-992-1.

- Flint N., Anastasi A., De Valck J., Chua E. M., Rose A. K. and Jackson E. L., 2021.** Using mud crabs (*Scylla serrata*) as environmental indicators in a harbour health report card, *Australasian Journal of Environmental Management*, vol. 28, No. 2, 188–212 pp. doi: 10.1080/14486563.2021.1923579.
- Fonteneau A., 1991.** Modélisation des pêcheries thonnières. *ORSTOM*, Sénégal. 91-100 pp.
- Forselledo R., Mas F., Pons M. and Domingo A., 2018.** Standardized cpue of bigeye tuna, thunnus obesus, based on data gathered by the national observer program on board the uruguayan longline fleet (2003-2012), *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 75(7). 1935-1945 pp.
- Fox, J., Weisberg, S., 2019.** An {R} Companion to Applied Regression, Third. ed. Sage, Thousand Oaks CA. 23p.
- Frotté L., 2009.** Utilisation des CPUE pour suivre l'abondance du crabe de palétuvier en Nouvelle-Calédonie. Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du Diplôme d'Agronomie Approfondie Spécialisation Halieutique. AgroCampus Ouest. France, 45 p.
- Gascuel D., 1993.** Efforts et puissances de pêche: redéfinition des concepts et exemples d'application, *Premier Forum Halieumétrique*, Rennes, 29/06 au 01/07/1993, 23 p.
- de Graaf G., Stamatopoulos C. and Jarret T., 2017.** OPEN ARTFISH and the FAO ODK mobile phone application: a toolkit for small-scale fisheries routine data collection, *FAO, Rome.*, 120 p.
- Guillemot N., 2011.** Développement d'une base de données et d'indicateurs de gestion pertinents pour le suivi de la pêche professionnelle, *Lettre d'information sur les pêches de la CPS n°134*. 34-40 pp.
- Harding S., Lowery C. and Oakley S., 1997.** Comparison between complex and simple reef survey techniques using volunteers: is the effort justified? 20 p.
- 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*. 1760-1772 pp.
- Hay T. A., 2009.** Methods for Monitoring the Abundance of the Northern Australian Mud Crab *Scylla serrata*. Master of Science University of Tasmania. University of Tasmania. 80 p.
- Heslouin C., Perrot-Bernardet V., Cornier A. and Perry N., 2017.** A User Oriented Framework to Support Environmental Performance Indicators Selection, *Procedia CIRP*, vol. 61, 709–714 pp. doi: 10.1016/j.procir.2016.11.211.
- Hill B. J., 1975.** Abundance, breeding and growth of the crab *Scylla serrata* in two South African estuaries, *Marine Biology*, vol. 32, No. 2, 119–126 pp. doi: 10.1007/BF00388505.
- Hornborg S., van Putten I., Novaglio C., Fulton E. A., Blanchard J. L., Plagányi É., Bulman C. and Sainsbury K., 2019.** Ecosystem-based fisheries management requires broader performance indicators for the human dimension, *Marine Policy*, vol. 108, 1-8 pp. doi: 10.1016/j.marpol.2019.103639.

- Jayamanna S. C. and Jinadasa J., 1993.** Size at maturity and spawning periodicity of the mud crab *Scylla serrata* in the Negembo estuary. *Natural Science counnt Sri lanka*. 141-152 pp.
- Jeffers V. F., Humber F., Nohasiarivelo T., Botosoamananto R. and Anderson L. G., 2019.** Trialling the use of smartphones as a tool to address gaps in small-scale fisheries catch data in southwest Madagascar, *Marine Policy*, vol. 99, 267–274 pp. doi: 10.1016/j.marpol.2018.10.040.
- Juan-Jorda M. J. and Murua H., 2016.** Un modèle de rapport sur l'écosystème basé sur des indicateurs pour la commission des thons de l'Océan Indien., *IOTC-2016-SC19-12*. 12 p.
- Kasprzyk Z., 2012.** Une analyse globale de la chaîne d'approvisionnement de la pêche de crabe de mangrove à Madagascar. *Smartfish*, SF/2012/24. 81 p.
- Kittinger J. N., 2013.** Participatory Fishing Community Assessments to Support Coral Reef Fisheries Comanagement, *Pacific Science*, vol. 67, No. 3, 361–381 pp. doi: 10.2984/67.3.5.
- Kleiber P. and Maunder M. N., 2008.** Inherent bias in using aggregate CPUE to characterize abundance of fish species assemblages, *Fisheries Research*, vol. 93, No. 1–2, 140–145 pp. doi: 10.1016/j.fishres.2008.03.013.
- Laurec A. & Le Geuen J.-C., 1981.** Dynamique des populations marines exploitées. CNEXO/Centre Océanologique de Bretagne. *Publications du centre pour l'exploitation des océans*. Rapport scientifique et technique N°45, 117 p.
- Le Reste L., 1976.** Etude de nos connaissances sur le crabe de vase *Scylla serrata* à Madagascar. *ORSTOM*, Paris. 32 p.
- Lockerbie E. M., Lynam C. P., Shannon L. J. and Jarre A., 2018.** Applying a decision tree framework in support of an ecosystem approach to fisheries: IndiSeas indicators in the North Sea, *ICES Journal of Marine Science*. Edited by J. Link, vol. 75, No. 3, 1009–1020 pp. doi: 10.1093/icesjms/fsx215.
- Long S., Jones P. J. S., Randriana Z. and Hadj-Hammou J., 2017.** Governance analysis of a community managed small-scale crab fishery in Madagascar: novel use of an empirical framework, *Marine Policy*, 102974 p. doi: 10.1016/j.marpol.2017.11.022.
- McDonald G., Campbell S. J., Karr K., Clemence M., Granados-Dieseldorff P., Jakub R., Kartawijaya T., Mueller J. C., Prihatinningsih P., Siegel K. and Syaifudin Y., 2018.** An adaptive assessment and management toolkit for data-limited fisheries, *Ocean & Coastal Management*, vol. 152, 100–119 pp. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2017.11.015.
- Meynecke J.-O. and Richards R. G., 2014.** A full life cycle and spatially explicit individual-based model for the giant mud crab (*Scylla serrata*): a case study from a marine protected area, *ICES Journal of Marine Science*, vol. 71, No. 3, 484–498 pp. doi: 10.1093/icesjms/fst181.
- Miller A. E., Davenport A., Chen S., Hart C., Gary D., Fitzpatrick B., Muflihati, Kartikawati, Sudaryanti and Sagita N., 2020.** Using a participatory impact assessment framework to evaluate a community-led mangrove and fisheries conservation approach in West

Kalimantan, Indonesia, *People and Nature*. Edited by H. Roy, vol. 2, No. 4, 1061–1074 pp. doi: 10.1002/pan3.10133.

Mirera D., 2017. Intertidal mangrove boundary zones as nursery grounds for the mud crab *Scylla serrata*, *African Journal of Marine Science*, vol. 39, No. 3, 315–325 pp. doi: 10.2989/1814232X.2017.1371640.

Mourato B. L., Hazin H., Carvalho F. and Hazin F., 2017. Standardized catch rates of sailfish caught by the Brazilian longline fleet (1978-2012) using a generalized linear mixed model (GLMM), with a delta log approach, *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 73(5). 1707-1721 pp.

Nakagawa S., Johnson P. C. D. and Schielzeth H., 2017. The coefficient of determination R^2 and intra-class correlation coefficient from generalized linear mixed-effects models revisited and expanded. *Royalty publishing*. 1-11 pp.

Nakagawa S. and Schielzeth H., 2013. A general and simple method for obtaining R^2 from generalized linear mixed-effects models, *Methods in Ecology and Evolution*. Edited by R. B. O'Hara, vol. 4, No. 2, 133–142 pp. doi: 10.1111/j.2041-210x.2012.00261.x.

Ogle, D.H., Wheeler, P. and Dinno, A., 2019. FSA: Fisheries Stock Analysis. R package version 0.8.24. 35p.

Oviedo A. F. P. and Bursztyn M., 2016. The Fortune of the Commons: Participatory Evaluation of Small-Scale Fisheries in the Brazilian Amazon, *Environmental Management*, vol. 57, No. 5, 1009–1023 pp. doi: 10.1007/s00267-016-0660-z.

Pennington M., Burmeister L.-M. & Hjellvik V., 2002. Assessing the precision of frequency distribution estimated from trawl-survey sample, *Fishery Bulletin:100*, 74-80 p.

R Core Team, 2016. A Language and Environment for Statistical Computing, Vienna, Austria. 20 p.

Rakotomavo A. and Fromard F., 2010. Dynamics of mangrove forests in the Mangoky River delta, Madagascar, under the influence of natural and human factors, *Forest Ecology and Management*, vol. 259, No. 6, 1161–1169 pp. doi: 10.1016/j.foreco.2010.01.002.

Randriamiarisoa M., 2015. Analyse socio-économique de la filière crabe dans la région Boeny. Mémoire d'Ingénieur Halieute. IH.SM. Université de Toliara, 66 p.

Ratsimbazafy H., 2010. Approches participatives et étude des effets biologiques des réserves marines temporaires sur la population des poulpes *Octopus cyanea*. Diplôme d'Etudes Approfondies en Océanologie appliquée. IH.SM. Université de Toliara, 52 p.

Razafiarivelo C., 1994. Bioécologie et exploitation du crabe *Scylla serrata* de la région de Toliara (sud-ouest de Madagascar). Diplôme d'Etudes Approfondies en Océanologie appliquée. IH.SM. Université de Toliara, 57 p.

- Razafimandimby J., 1989.** Analyse des activités de la pêche de crabe *Scylla serrata* sur la côte nord-ouest malgache - 1988. Mémoire d'Ingénieur Halieute. IH.SM. Université de Toliara. 50 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*. 516-527pp. doi:10.1016/j.icesjms.2005.01.003
- Rocklin D., 2006.** La pêche au crabe de palétuvier à Voh (Nouvelle Calédonie) : Typologie de la pêche et proposition d'indicateurs. Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du Master Sciences Agronomiques et Agroalimentaires. AgroCampus Ouest. France, 66 p.
- Sara L., 2010.** Study of the size structure and population parameters of mud crab *Scylla serrata* in Lawele bay, southeast Sulawesi, Indonesia., *Journal of Coastal Development*, vol. 13, No. 2. 133-147 pp.
- Shapiro D., Randriamanantena H., Kuechle F. & Razafindramasy, 2019.** Les mangroves de Madagascar; superficies, conditions et evolution (2000-2018). WWF Germany, Berlin, and WWF Madagascar, Antananarivo. 39p.
- Shephard S., Valbo-Jorgensen J., Abadía J., Baigún C., Doria C., Fabré N., Isaac V., Ngor P., Ruffino M. and Funge-Smith S., 2020.** Size-based assessment of data-limited inland fish stocks – Review and applications. *FAO, Fisheries and aquaculture circular*. 76 p. doi: 10.4060/cb1594en.
- Shin Y.-J., Rochet M.-J., Jennings S., Field J. G. and Gislason H., 2005.** Using size-based indicators to evaluate the ecosystem effects of fishing, *ICES Journal of Marine Science*, vol. 62, No. 3, 384–396 pp. doi: 10.1016/j.icesjms.2005.01.004.
- Shin Y.-J., Shannon L. J., Bundy A., Coll M., Aydin K., Bez N., Blanchard J. L., Borges M. de F., Diallo I., Diaz E., Heymans J. J., Hill L., Johannesen E., Jouffre D., Kifani S., Labrosse P., Link J. S., Mackinson S., Masski H., Möllmann C., Neira S., Ojaveer H., Ould Mohammed Abdallahi K., Perry I., Thiao D., Yemane D. and Cury P. M., 2010.** Using indicators for evaluating, comparing, and communicating the ecological status of exploited marine ecosystems. 2. Setting the scene, *ICES Journal of Marine Science*, vol. 67, No. 4, 692–716 pp. doi: 10.1093/icesjms/fsp294.
- Stamatopoulos C., 2009.** Perspectives halieutiques par échantillonnage. Manuel technique. FAO, *document technique sur les pêches* 425. 115 p.
- Stokes P., Havas M. and Brydges T., 1990.** Public participation and volunteer help in monitoring programs: An assessment, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 15, No. 3, 225–229 pp. doi: 10.1007/BF00394889.
- Suman A., Hasanah A., Amri K., Pane A. R. P. and Lestari P., 2018.** Population characteristics of mud crab (*Scylla serrata*) in the waters of Kendary bay and surrounding areas, *Indonesian Fisheries Research Journal*, vol. 24, No. 2, 128-124 pp. doi: 10.15578/ifrj.24.2.2018.117-124.

Thiao D., 2009. Un système d'indicateurs de durabilité des pêcheries côtières comme outil de gestion intégrée des ressources halieutiques sénégalaises. Thèse de Doctorat. Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, 298 p.

Wickham, H., 2016. ggplot2: elegant graphics for data analysis, Second edition. ed, Use R! Springer, Cham. 40p.

Wickham, H., Henry, L., 2019. tidyr: Easily Tidy Data with “spread()” and “gather()” Functions. R package version 0.8.3. 26p.

Williams L. E., 2002. Queensland's fisheries resources : current condition and recent trends 1988-2000; *Departement of Primary Industries*, Queensland, 124-127 pp.

Zuur A. F., Ieno E. N., Walker N., Saveliev A. A. and Smith G. M., 2009. Mixed effects models and extensions in ecology with R. Statistics for Biology and Health Springer New York, New York, NY. 580 p. doi: 10.1007/978-0-387-87458-6.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche de suivi des captures de pêche pour les volontaires CORECRABE.

Fiche n°: _____

Région: _____ /District: _____ /Fokontany: _____ /Village: _____

Code du Mareyeur/Sous-collecteur volontaire: _____

Date vente	Nom du pêcheur	Fokontany	Village	Dernières sorties de pêche	Nombre de sortie de pêche	Nom de l'engin 1/nombre	Nom de l'engin 2/nombre	crabes achetés (kg)	Prix (Ar/kg)	crabes Non achetés/nombre
.../.../2021				Aujourd'hui		/	/			/
				Hier		/	/			
				Avant-hier		/	/			
				Avant-avant-hier		/	/			
.../.../2021				Aujourd'hui		/	/			/
				Hier		/	/			
				Avant-hier		/	/			
				Avant-avant-hier		/	/			
.../.../2021				Aujourd'hui		/	/			/
				Hier		/	/			
				Avant-hier		/	/			
				Avant-avant-hier		/	/			
.../.../2021				Aujourd'hui		/	/			/
				Hier		/	/			
				Avant-hier		/	/			
				Avant-avant-hier		/	/			

Annexe 2 : Fiche de suivi des captures de pêche pour les enquêteurs CORECRABE.

Fiche n°: _____

Région: _____ /District: _____ /Fokontany: _____ /Village: _____

Code du Mareyeur/Sous-collecteur volontaire: _____

Date vente	Nom du pêcheur	Fokontany	Village	Dernières sorties de pêche	Nombre de sortie de pêche	Nom de l'engin 1/nombre	Nom de l'engin 2/nombre	crabes achetés (kg)	Prix (Ar/kg)	crabes Non achetés/ nombre
.../.../2021				Aujourd'hui		/	/			/
				Hier		/	/			
				Avant-hier		/	/			
				Avant-avant-hier		/	/			

Données biométriques (Sexe: M ou F/LC (mm))										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Si captures >30 crabes: Poids des 30 crabes mesurés (kg):

Date vente	Nom du pêcheur	Fokontany	Village	Dernières sorties de pêche	Nombre de sortie de pêche	Nom de l'engin 1/nombre	Nom de l'engin 2/nombre	crabes achetés (kg)	Prix (Ar/kg)	crabes Non achetés/ nombre
.../.../2021				Aujourd'hui		/	/			/
				Hier		/	/			
				Avant-hier		/	/			
				Avant-avant-hier		/	/			

Données biométriques (Sexe: M ou F/LC (mm))										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Si captures >30 crabes: Poids des 30 crabes mesurés (kg):

Annexe 3 : Fiche de suivi de la taille des crabes commercialisés.

Numéro de la fiche :

Poids total de l'échantillon :

Code du

sous/collecteur :

Village/Zone :

Date de

débarquement :

Bac:

Individus	Taille (mm)	Sexe	Individus	Taille (mm)	Sexe	Individus	Taille (mm)	Sexe
1			38			75		
2			39			76		
3			40			77		
4			41			78		
5			42			79		
6			43			80		
7			44			81		
8			45			82		
9			46			83		
10			47			84		
11			48			85		
12			49			86		
13			50			87		
14			51			88		
15			52			89		
16			53			90		
17			54			91		
18			55			92		
19			56			93		
20			57			94		
21			58			95		
22			59			96		
23			60			97		
24			61			98		
25			62			99		
26			63			100		
27			64			101		
28			65			102		
29			66			103		
30			67			104		
31			68			105		
32			69			106		
33			70			107		
34			71			108		
35			72			109		
36			73			110		
37			74			111		

Annexe 4 : Nombre de pêcheurs par engin, par mois et par type de marées.

village	engin	maree	nombre de pêcheurs
N_Andranopasy	Crochet	ME	42
N_Andranopasy	Crochet	VE	22
N_Marohata	Crochet	ME	57
N_Marohata	Crochet	VE	15
N_Ambohibe	Crochet	ME	68
N_Ambohibe	Crochet	VE	20
S_Ankotapike	Crochet	ME	20
S_Ankotapike	Crochet	VE	20
S_Efeza	Crochet	ME	28
S_Efeza	Crochet	VE	28
S_Ankinjanoke	Crochet	ME	62
S_Ankinjanoke	Crochet	VE	40
N_Ambohibe	Balance	VE	72
N_Ambohibe	Balance	ME	20
S_Ankotapike	Balance	VE	6
S_Ankotapike	Balance	ME	6
S_Ankotapike	Ligne	VE	46
S_Ankotapike	Ligne	ME	46

Annexe 5 : Production mensuelle estimée de crabes par village entre avril et mai 2021 dans la zone de Morombe.

Village	Mois	Production estimée
N_Ambohibe	aout	10134,829
N_Ambohibe	avril	8817,096
N_Ambohibe	juillet	8350,192
N_Ambohibe	juin	9742,093
N_Ambohibe	mai	13543,459
N_Andranopasy	aout	3019,543
N_Andranopasy	avril	4509,5
N_Andranopasy	juillet	3434,517
N_Andranopasy	juin	3412,771
N_Andranopasy	mai	2348,662
N_Marohata	aout	4199,475
N_Marohata	avril	6270,878
N_Marohata	juillet	4371,426
N_Marohata	juin	7572,052
N_Marohata	mai	2202,996
S_Ankinjanoke	aout	2386,667
S_Ankinjanoke	avril	2818,311
S_Ankinjanoke	juillet	3467,46
S_Ankinjanoke	juin	3693,89
S_Ankinjanoke	mai	4434,36
S_Ankotapike	aout	3310,49
S_Ankotapike	avril	6453,63
S_Ankotapike	juillet	2899,487
S_Ankotapike	juin	4663,167
S_Ankotapike	mai	6720,382
S_Efeza	aout	3387,72
S_Efeza	avril	4431,763
S_Efeza	juin	3010,885
S_Efeza	mai	1411,773

Annexe 6 : Fiche de recensement des pêcheurs au crabe de Morombe

Date: Fokontany: Zone: Nom de(s) l'enquêté(s):

Commune: Village: N° Fiche: Statut de(s) l'enquêté(s):

Numéro	Nom du pêcheur(#)	Sexe	Engins de pêche				Pêche avec pirogue (Oui/non)	Si oui, général ou occasionnellement	Pêcheur migrant ou résident	Si migrant, quand?		
			Crochet	Ligne	balance	Raquette				Ouverture de pêche	Haute saison	Autres? À préciser
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Annexe 7 : Sorties des modèles GLMM pour la CPUE et GLM pour la taille.

- Pour la CPUE

Standardisation de la taille

```
Linear mixed model fit by REML. t-tests use Satterthwaite's method ['lmerModLmerTest']
Formula: logCPUE ~ Zone +Mois + Engin + Mois * Maree * Engin + (1 |Village)
Data: CPUE_JAKAKY
Random effects:
  Groups   Name                Variance Std.Dev.
Village (Intercept)  1.1204   1.0581
Residual                5.3286   2.3084
Number of obs: 1363, groups: village, 6
```

	Estimate	Std. Error	df	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	1.2809	0.6190	4.9983	7.586	0.000633	***
Zonesud_morombe	-0.0800	0.8239	3.9240	-1.315	0.260129	
Moisavril	0.9162	0.3895	1333.9997	6.418	1.91e-10	***
Moisjuillet	-1.7778	0.3212	1331.8237	0.526	0.598825	
Moisjuin	0.2635	0.3005	1331.4769	4.331	1.60e-05	***
Moismai	0.7585	0.3883	1332.2432	5.499	4.58e-08	***
EnginBalance	-1.3137	0.4871	1331.6761	-7.647	3.92e-14	***
EnginLigne	-1.0647	0.4553	1332.6157	-6.380	2.44e-10	***
MareeVE	0.3912	0.3514	1331.0122	1.113	0.265821	
Moisavril:EnginBalance	-0.8919	0.8598	1331.4376	-2.841	0.004563	**
Moisjuillet:EnginBalance	0.1182	0.6962	1330.7997	0.170	0.865234	
Moisjuin:EnginBalance	-0.9437	0.6443	1331.3027	-1.465	0.143242	
Moismai:EnginBalance	-1.1876	1.0501	1331.3733	-1.131	0.258268	
Moisavril:EnginLigne	-0.8915	0.9062	1331.3026	-2.695	0.007124	**
Moisjuillet:EnginLigne	-0.1611	0.9121	1330.1962	-0.177	0.859854	
Moisjuin:EnginLigne	-0.1823	0.7351	1330.2137	-1.767	0.077447	.
Moismai:EnginLigne	-0.7419	0.7277	1330.6851	-2.861	0.004290	**
Moisavril:MareeVE	0.6016	0.5651	1332.1493	1.065	0.287217	
Moisjuillet:MareeVE	-0.1897	0.5178	1331.3468	-0.366	0.714129	
Moisjuin:MareeVE	-0.0434	0.4725	1331.6634	-2.210	0.027252	*
Moismai:MareeVE	-0.2231	0.5125	1330.9865	-2.448	0.014475	*
EnginBalance:MareeVE	-0.4125	0.6179	1330.2979	-0.668	0.504542	
EnginLigne:MareeVE	-0.4189	0.6764	1330.2382	-0.619	0.535793	
Moisjuillet:EnginBalance:MareeVE	0.1551	0.8926	1330.4353	0.174	0.862094	
Moisjuin:EnginBalance:MareeVE	0.7942	0.8482	1331.0328	0.936	0.349245	
Moismai:EnginBalance:MareeVE	1.1113	1.2711	1330.1949	0.874	0.382125	
Moisavril:EnginLigne:MareeVE	-0.6013	1.3111	1330.4068	-0.459	0.646590	
Moisjuin:EnginLigne:MareeVE	1.0761	1.0499	1330.3191	1.025	0.305568	
Moismai:EnginLigne:MareeVE	1.2066	1.1175	1330.1650	1.080	0.280460	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Voir l'effet des facteurs

```
> Anova(modele)
```

```
Analysis of Deviance Table (Type II wald chisquare tests)
```

```
Response: CPUE_sortie_engin
             chisq df Pr(>Chisq)
Zone          1.7289  1 0.1885532
Mois          82.3949  4 < 2.2e-16 ***
Engin        748.3588  2 < 2.2e-16 ***
Maree         0.4076  1 0.5231762
Mois:Engin   29.3363  8 0.0002768 ***
Mois:Maree   12.5873  4 0.0134788 *
Engin:Maree  0.0151  2 0.9924827
Mois:Engin:Maree 3.5714  6 0.7344432
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Standardisation de la taille

```
Call:
glm(formula = Taille ~ Mois + EnginT + Mois * EnginT + VillageT,
     family = "poisson", data = Taille_morombe)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-6.950  -1.310   0.020   1.311   6.436

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)    4.548343   0.003059 1486.772 < 2e-16 ***
MoisJuil       0.041617   0.004408   9.440 < 2e-16 ***
MoisJuin       0.077149   0.004096  18.834 < 2e-16 ***
MoisMai        0.136346   0.016965   8.037 9.20e-16 ***
EnginTCrochet  0.086394   0.004767  18.124 < 2e-16 ***
EnginTLigne   -0.044846   0.005943  -7.546 4.49e-14 ***
VillageTAnkotapike -0.051308   0.002896 -17.718 < 2e-16 ***
MoisJuil:EnginTCrochet -0.070381   0.006253 -11.255 < 2e-16 ***
MoisJuin:EnginTCrochet -0.050955   0.006169  -8.260 < 2e-16 ***
MoisMai:EnginTCrochet -0.258366   0.018614 -13.880 < 2e-16 ***
MoisJuil:EnginTLigne  0.020904   0.009468   2.208  0.0273 *
MoisJuin:EnginTLigne  0.055731   0.008241   6.762 1.36e-11 ***
MoisMai:EnginTLigne  -0.117414   0.018027  -6.513 7.36e-11 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

    Null deviance: 44564  on 9447  degrees of freedom
Residual deviance: 41464  on 9435  degrees of freedom
AIC: 101817

Number of Fisher Scoring iterations: 4
```

Voir l'influence des facteurs

```
> Anova(glm)
```

```
Analysis of Deviance Table (Type II tests)
```

```
Response: Taille
```

```
          LR Chisq Df Pr(>Chisq)
Mois          813.02  3 < 2.2e-16 ***
EnginT         412.72  2 < 2.2e-16 ***
VillageT       314.71  1 < 2.2e-16 ***
Mois:EnginT    404.88  6 < 2.2e-16 ***
```

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Annexe 8 : Sorties des différents tests statistiques.

Test sur les CPUE

CPUE global par engin

```
> stat_cpue <- aov(CPUE_sortie_engin ~ Engin, data=CPUE_JAKAKY)
> summary(stat_cpue)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Engin          2   7447    3723   590.2 <2e-16 ***
Residuals    1360   8580         6
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> pairwise.t.test(CPUE_JAKAKY$CPUE_sortie_engin, CPUE_JAKAKY$Engin, "holm")

      Pairwise comparisons using t tests with pooled SD
data:  CPUE_JAKAKY$CPUE_sortie_engin and CPUE_JAKAKY$Engin

      Balance Crochet
Crochet <2e-16 -
Ligne  0.55 <2e-16

P value adjustment method: holm
> |
```

CPUE crochet

```
> stat_cpue_crochet <- aov(CPUE_sortie ~ Village, data=Cpue_crochet)
> summary(stat_cpue_crochet)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Village        5    820   163.99   18.13 <2e-16 ***
Residuals     857   7751    9.04
---

> pairwise.t.test(Cpue_crochet$CPUE_sortie, Cpue_crochet$Village, "holm")

      Pairwise comparisons using t tests with pooled SD
data:  Cpue_crochet$CPUE_sortie and Cpue_crochet$Village

      N_Ambohibe N_Andranopasy N_Marohata S_Ankinjanoke S_Ankotapike
N_Andranopasy  1.00000         -           -           -           -
N_Marohata     1.1e-07    0.00057         -           -           -
S_Ankinjanoke  0.49015    0.25246    5.4e-08         -           -
S_Ankotapike   0.02606    0.02509    1.4e-12    1.00000         -
S_Efeza        6.1e-06    0.00504    1.00000    1.4e-06    2.7e-10

P value adjustment method: holm
> |
```

CPUE balance

```
> stat_balance <- aov (CPUE_sortie_engin ~ Village, data=Cpue_balance)
> summary (stat_balance)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Village       1  1.804   1.8035   83.32 <2e-16 ***
Residuals    328  7.100   0.0216
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Test les classes de taille

Entre les deux villages

```
Welch Two Sample t-test

data:  Taille_morombe$Taille by Taille_morombe$VillageT
t = 16.066, df = 6756, p-value < 2.2e-16
```

Village Ambohibe entre les mois

```
> my_aov1 <- aov (Taille ~ Mois, data=HistTaille_Ambohibe)
> summary (my_aov1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Mois          2  36093   18046   87.37 <2e-16 ***
Residuals    5052 1043536    207
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> pairwise.t.test (HistTaille_Ambohibe$Taille, HistTaille_Ambohibe$Mois, "holm")

Pairwise comparisons using t tests with pooled SD

data:  HistTaille_Ambohibe$Taille and HistTaille_Ambohibe$Mois

      Aout      Juil
Juil < 2e-16 -
Juin < 2e-16 3.6e-05
```

Village Ankotapike entre les mois

```
> my_aov3 <- aov (Taille ~ Mois, data=HistTaille_Ankotapike)
> summary (my_aov3)
              Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Mois          3  78549   26183   40.94 <2e-16 ***
Residuals    4389 2806895    640
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> pairwise.t.test (HistTaille_Ankotapike$Taille, HistTaille_Ankotapike$Mois, "holm")

Pairwise comparisons using t tests with pooled SD

data:  HistTaille_Ankotapike$Taille and HistTaille_Ankotapike$Mois

      Aout      Juil      Juin
Juil 0.070 - -
Juin 1.5e-15 3.2e-13 -
Mai  0.063  8.4e-05 < 2e-16

P value adjustment method: holm
```

Engins du village d'Ankotapike

```
> my_aov2 <- aov (Taille ~ EnginT, data=HistTaille_Ankotapike)
> summary (my_aov2)
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
EnginT     2  44145   22072    34.1 2.01e-15 ***
Residuals 4390 2841300     647
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> pairwise.t.test (HistTaille_Ankotapike$Taille, HistTaille_Ankotapike$EnginT, "holm")

Pairwise comparisons using t tests with pooled SD

data:  HistTaille_Ankotapike$Taille and HistTaille_Ankotapike$EnginT

          Balance Crochet
Crochet  0.38          -
Ligne    2.1e-09 9.2e-14
```

Engins du village d'Ambohibe

welch Two Sample t-test

```
data:  HistTaille_Ambohibe$Taille by HistTaille_Ambohibe$EnginT
t = -11.186, df = 4811.1, p-value < 2.2e-16
```

Test de proportion entre les calibres de taille commercialisée

```
> prop.test(c(1296,695),c(1991,1991))

2-sample test for equality of proportions with continuity correction

data:  c(1296, 695) out of c(1991, 1991)
X-squared = 361.63, df = 1, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: two.sided
95 percent confidence interval:
 0.2717452 0.3319715
sample estimates:
 prop 1    prop 2
0.6509292 0.3490708
```

Test entre les distributions de taille de la zone nord et sud de Morombe

```
> t.test (suivi_usine_morombe$taille_crabe ~ suivi_usine_morombe$zone)

welch Two Sample t-test

data:  suivi_usine_morombe$taille_crabe by suivi_usine_morombe$zone
t = -2.6779, df = 706.3, p-value = 0.007582
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -2.3136788 -0.3561981
sample estimates:
mean in group delta_mangoky    mean in group sud_morombe
          119.0778                120.4127
```

Annexe 9 : Tableau récapitulatif des CPUE (en kg) par engin par village, par mois et par marée.

Village	Engin	Periode	n	CPUE moyenne (kg/sortie/engin)	intervalle de confiance
N_Ambohibe	Balance	aout_ME	30	0,312	0,053
N_Ambohibe	Crochet	aout_ME	48	4,12	0,68
N_Ambohibe	Balance	aout_VE	66	0,29	0,038
N_Ambohibe	Crochet	aout_VE	38	5,309	0,837
N_Ambohibe	Balance	avril_ME	13	0,369	0,095
N_Ambohibe	Crochet	avril_ME	12	8,5	1,591
N_Ambohibe	Crochet	avril_VE	6	7,333	1,58
N_Ambohibe	Balance	juillet_ME	19	0,379	0,106
N_Ambohibe	Crochet	juillet_ME	62	4,021	0,584
N_Ambohibe	Balance	juillet_VE	51	0,284	0,049
N_Ambohibe	Crochet	juillet_VE	26	4,433	1,03
N_Ambohibe	Balance	juin_ME	19	0,227	0,062
N_Ambohibe	Crochet	juin_ME	67	5,477	0,732
N_Ambohibe	Balance	juin_VE	51	0,267	0,038
N_Ambohibe	Crochet	juin_VE	22	4,064	0,652
N_Ambohibe	Crochet	mai_ME	3	4	2,484
N_Ambohibe	Balance	mai_VE	2	0,519	1,518
N_Ambohibe	Crochet	mai_VE	14	4,714	2,43
N_Andranopasy	Crochet	aout_ME	16	4,198	1,594
N_Andranopasy	Crochet	aout_VE	10	2,779	0,961
N_Andranopasy	Crochet	avril_ME	3	7,917	9,628
N_Andranopasy	Crochet	avril_VE	1	1	NA
N_Andranopasy	Crochet	juillet_ME	23	4,493	0,83
N_Andranopasy	Crochet	juillet_VE	2	7	0
N_Andranopasy	Crochet	juin_ME	5	6,5	2,776
N_Andranopasy	Crochet	juin_VE	12	5,132	0,989
N_Andranopasy	Crochet	mai_ME	4	6,4	2,87
N_Andranopasy	Crochet	mai_VE	19	6,996	1,832
N_Marohata	Crochet	aout_ME	8	5,5	4,263
N_Marohata	Crochet	aout_VE	10	5,062	2,041
N_Marohata	Crochet	avril_ME	10	11,35	2,457
N_Marohata	Crochet	avril_VE	12	12,708	1,404
N_Marohata	Crochet	juillet_ME	7	6,226	3,341
N_Marohata	Crochet	juillet_VE	9	4,565	2,089
N_Marohata	Crochet	juin_ME	6	7,333	2,142
N_Marohata	Crochet	juin_VE	10	4,883	1,146
N_Marohata	Crochet	mai_ME	3	3	2,484
N_Marohata	Crochet	mai_VE	19	5,404	2,221

S_Ankinjanoke	Crochet	aout_ME	2	2,5	6,353
S_Ankinjanoke	Crochet	aout_VE	2	2,25	3,177
S_Ankinjanoke	Crochet	avril_ME	5	2	1,242
S_Ankinjanoke	Crochet	avril_VE	9	3,889	1,559
S_Ankinjanoke	Crochet	juillet_ME	14	3,929	0,861
S_Ankinjanoke	Crochet	juillet_VE	7	4,071	2,109
S_Ankinjanoke	Crochet	juin_ME	2	2,5	6,353
S_Ankinjanoke	Crochet	juin_VE	8	4,281	2,052
S_Ankinjanoke	Crochet	mai_ME	18	5,741	1,561
S_Ankinjanoke	Crochet	mai_VE	25	4,573	1,201
S_Ankotapike	Crochet	aout_ME	23	3,15	0,799
S_Ankotapike	Ligne	aout_ME	39	0,104	0,015
S_Ankotapike	Crochet	aout_VE	6	3,367	0,581
S_Ankotapike	Ligne	aout_VE	27	0,076	0,015
S_Ankotapike	Crochet	avril_ME	7	2,143	0,832
S_Ankotapike	Ligne	avril_ME	10	0,161	0,03
S_Ankotapike	Crochet	avril_VE	12	4,417	1,495
S_Ankotapike	Ligne	avril_VE	10	0,134	0,041
S_Ankotapike	Balance	juillet_ME	8	0,092	0,073
S_Ankotapike	Crochet	juillet_ME	3	3,175	4,333
S_Ankotapike	Ligne	juillet_ME	9	0,111	0,018
S_Ankotapike	Balance	juillet_VE	22	0,116	0,023
S_Ankotapike	Crochet	juillet_VE	14	3,536	0,6
S_Ankotapike	Balance	juin_ME	19	0,084	0,032
S_Ankotapike	Crochet	juin_ME	45	3,626	0,677
S_Ankotapike	Ligne	juin_ME	17	0,106	0,036
S_Ankotapike	Balance	juin_VE	9	0,112	0,069
S_Ankotapike	Crochet	juin_VE	25	4,696	1,464
S_Ankotapike	Ligne	juin_VE	23	0,11	0,022
S_Ankotapike	Balance	mai_ME	7	0,231	0,052
S_Ankotapike	Crochet	mai_ME	26	5,458	1,313
S_Ankotapike	Ligne	mai_ME	22	0,157	0,045
S_Ankotapike	Balance	mai_VE	14	0,149	0,067
S_Ankotapike	Crochet	mai_VE	35	4,367	0,783
S_Ankotapike	Ligne	mai_VE	13	0,081	0,033
S_Efeza	Crochet	aout_ME	5	4,6	1,723
S_Efeza	Crochet	aout_VE	10	5,15	1,307
S_Efeza	Crochet	avril_ME	23	6,587	1,361
S_Efeza	Crochet	avril_VE	12	9,417	2,699
S_Efeza	Crochet	juin_ME	22	7,03	1,731
S_Efeza	Crochet	juin_VE	10	5,075	1,85
S_Efeza	Crochet	mai_ME	6	7,25	2,791

Annexe 10 : Tableau récapitulatif de la taille moyenne (en mm) des crabes mesurés par mois, par engin et par village.

Engin	Village	Mois	n	Taille moyenne(mm)	intervalle de confiance(mm)
Balance	Ambohibe	Aout	1131	94,476	0,89
Crochet	Ambohibe	Aout	544	100,439	1,062
Balance	Ambohibe	Juil	560	99,725	1,101
Crochet	Ambohibe	Juil	1082	101,285	0,79
Balance	Ambohibe	Juin	1223	100,696	0,826
Crochet	Ambohibe	Juin	515	107,79	1,26
Crochet	Ankotapike	Aout	235	103,779	2,585
Ligne	Ankotapike	Aout	663	85,814	1,889
Balance	Ankotapike	Juil	982	92,86	1,741
Crochet	Ankotapike	Juil	416	91,942	2,738
Ligne	Ankotapike	Juil	208	91,351	4,111
Balance	Ankotapike	Juin	113	111,637	4,939
Crochet	Ankotapike	Juin	638	98,787	1,552
Ligne	Ankotapike	Juin	304	98,01	3,137
Balance	Ankotapike	Mai	36	102,861	8,786
Crochet	Ankotapike	Mai	215	86,609	3,087
Ligne	Ankotapike	Mai	583	87,455	1,653

Annexe 11 : Tableaux récapitulatifs des CPUE et taille standardisées.

CPUE standardisées

periode	engin	CPUE moyenne	intervalle de confiance
avril_ME	crochet	5,155169512	1,2336781
avril_VE	crochet	5,155169512	1,2336781
mai_ME	crochet	5,989452466	1,2336781
mai_VE	crochet	3,819043505	1,4049476
juin_ME	crochet	4,349235141	1,1972174
juin_VE	crochet	4,349235141	1,1972174
juillet_ME	crochet	3,189933276	1,1162781
juillet_VE	crochet	3,189933276	1,1162781
aout_ME	crochet	3,189933276	1,1162781
aout_VE	crochet	3,189933276	1,1162781
avril_ME	balance	0,40656966	0,09
avril_VE	balance	0,40656966	0,09
mai_ME	balance	0,472366553	0,09
mai_VE	balance	0,301194212	0,05
juin_ME	balance	0,270828845	0,05
juin_VE	balance	0,256660777	0,08
juillet_ME	balance	0,251578553	0,08
juillet_VE	balance	0,251578553	0,08
aout_ME	balance	0,251578553	0,09
aout_VE	balance	0,251578553	0,09
avril_ME	ligne	0,22313016	0,1
avril_VE	ligne	0,22313016	0,09
mai_ME	ligne	0,259240261	0,08
mai_VE	ligne	0,165298888	0,07
juin_ME	ligne	0,188247066	0,07
juin_VE	ligne	0,154587595	0,08
juillet_ME	ligne	0,138069237	0,08
juillet_VE	ligne	0,138069237	0,04
aout_ME	ligne	0,138069237	0,04
aout_VE	ligne	0,138069237	0,04

Tailles standardisées

Mois	Engin	Village	Taille moyenne (mm)	intervalle de confiance(m m)
mai	balance	Ambohibe	107,7	1,9992
mai	crochet	Ambohibe	90,92	2,0384
juin	balance	Ambohibe	102,51	1,96
juin	crochet	Ambohibe	105,95	1,9796
juillet	balance	Ambohibe	98,49	1,96
juillet	crochet	Ambohibe	100,18	1,9796
aout	balance	Ambohibe	94,63	1,96
aout	crochet	Ambohibe	102,1	1,96
mai	balance	Ankotapike	102,51	1,96
mai	crochet	Ankotapike	87	2,058
mai	ligne	Ankotapike	87,8	2,0188
juin	balance	Ankotapike	96,54	1,96
juin	crochet	Ankotapike	101,19	3,6652
juin	ligne	Ankotapike	98,19	2,1168
juillet	balance	Ankotapike	93,69	2,0972
juillet	crochet	Ankotapike	95,68	2,0188
juillet	ligne	Ankotapike	91,41	1,96
aout	balance	Ankotapike	90,01	1,96
aout	crochet	Ankotapike	98,49	1,9992
aout	ligne	Ankotapike	88,76	2,0776

ANNEXE 12 : Description des activités des villages de pêcheurs au crabe dans la zone de Morombe

Villages	Description des activités	Nombres de sous-collecteurs de crabe
Vatoavo	pêche au crabe, algoculture, holothuriculture, élevage,....	2
Ankinjanoke	pêche au crabe, algoculture, élevage,.....	2
Befandefa	Agriculture, pêche au crabe, pêche au poisson, pêche aux crevettes,...	2
Antaniloba	Culture de manioc, culture de canne à sucre, pêche au crabe, pêche au poisson	2
Efeza	Agriculture, pêche au crabe, pêche au poisson	1
Ankotapike	Culture de canne à sucre, pêche au crabe et poisson	6
Ankilkira	Culture de canne à sucre, pêche au crabe et poisson	1
Befotaka	pêche au crabe, agriculture,.....	1
Ambakivao	pêche au large, pêche au crabe	1
Nosy-Vao	pêche au crabe, agriculture,.....	
Bedrakaky	pêche au crabe, agriculture,.....	
Tsimahavezo	pêche au crabe, pêche au large,.....	
Besahafa	pêche au crabe	
Belalitse	pêche au crabe, agriculture, élevage	
Ambohibe	pêche au crabe, pêche au crevette, pêche au large,....	4
Andalanda	pêche au crabe, pêche au crevette, pêche au large,....	3
Ankilifaly	pêche au crabe, pêche au crevette, pêche au large,....	2
Marohata	pêche au large, commerce de poissons salés, pêche au crabe	2
Anosintolike	pêche au crabe	1
Ambalahonko	pêche au crabe, pêche au large, élevage	
Aloabao	pêche au crabe, pêche au large	1
Andranopasy	pêche au large, commerce de bois, saliculture, élevage, pêche au crabe,....	2