



HAL
open science

Pêche artisanale maritime au Gabon : caractérisation, spatialisation et aires marines protégées

Floriane Cardiec

► **To cite this version:**

Floriane Cardiec. Pêche artisanale maritime au Gabon : caractérisation, spatialisation et aires marines protégées. Autre. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2021. Français. NNT : 2021BRES0013 . tel-03609141

HAL Id: tel-03609141

<https://theses.hal.science/tel-03609141v1>

Submitted on 15 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE
DE BRETAGNE OCCIDENTALE

ECOLE DOCTORALE N° 598
Sciences de la Mer et du littoral
Spécialité : *Halieutique*

Par

Floriane CARDIEC

Pêche artisanale maritime au Gabon : caractérisation, spatialisation et aires marines protégées

Thèse présentée et soutenue à Brest, le 11 mars 2021

Unité de recherche : UMR LEMAR CNRS/UBO/IRD/IFREMER – IUEM Plouzané, France

Rapporteurs avant soutenance :

Rachid AMARA Professeur, ULCO
Gilbert DAVID Directeur de Recherche, IRD

Composition du Jury :

Rachid AMARA Professeur, ULCO
Gilbert DAVID Directeur de Recherche, IRD
Jean-Daniel MBEGA Chargé de recherche, CENAREST
Katia FRANGOUEDES Ingénieure de Recherche, UBO
Mathieu WOILLEZ Cadre de recherche, IFREMER
Président du Jury
Jean LAROCHE Professeur, UBO
Directeur de thèse
François LE LOC'H Directeur de Recherche, IRD



Université de Bretagne Occidentale

**THESE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR
DE L'UNIVERSITE DE BRETAGNE OCCIDENTALE**

En halieutique

Ecole doctorale Sciences de la Mer et du Littoral

Unité de recherche LEMAR (Laboratoire des sciences de
l'Environnement MARin)

**Pêche artisanale maritime au Gabon : caractérisation,
spatialisation et aires marines protégées**

Présentée par **Floriane CARDIEC**

Le 11/03/2021

Sous la direction de **François LE LOC'H**

Devant le jury composé de :

Rachid AMARA, ULCO, Professeur
Gilbert DAVID, IRD, Directeur de Recherche
Jean LAROCHE, UBO, Professeur
Jean-Daniel MBEGA, CENAREST, Chargé de Recherche
Katia FRANGOUEDES, UBO, Ingénieure de Recherche
Mathieu WOILLEZ, IFREMER, Cadre de Recherche
François LE LOC'H, IRD, Directeur de Recherche

Rapporteur
Rapporteur
Président
Examineur
Examinatrice
Examineur
Directeur de Thèse



Remerciements

Arrivée au terme de ce travail de longue haleine, je me sens remplie de gratitude, celle d'avoir fini, mais aussi celle envers tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Je tiens d'abord à remercier mon directeur de thèse, François Le Loc'h, pour avoir rendu ce projet possible. Depuis ce jour où j'ai débarqué dans ton bureau, tu as su te montrer disponible et patient. Merci pour la confiance et la liberté que tu m'as offerte au cours de ces cinq années. Je retiendrai tes bons conseils, pour la thèse, mais aussi professionnels, que je continuerai d'appliquer. Au plaisir de collaborer à nouveau, au Gabon ou ailleurs...

I would like to thank especially Matt Witt who accepted to co-supervise my work and the other members of the "Exeter team", Brendan Godley and Kristian Metcalfe, who encouraged me at the beginning of this work and continued all along. Thanks for all the good advice.

Ce travail de thèse a pu être réalisé grâce à l'accueil que j'ai reçu au LEMAR. Merci Luis Tito de Morais pour m'avoir accepté dans l'équipe (ainsi que d'avoir participé à mes comités de thèse !) et merci à Sonia Goasguen, et Elisabeth Bondu pour avoir facilité mes démarches administratives dans la bonne humeur.

Je dois beaucoup aux autres membres de mon comité de thèse, Frida Lasram et Sophie Bertrand, qui m'ont recadré quand il le fallait et qui m'ont évité de m'égarer, dans le contexte particulier qui a été le mien, de devoir gérer un projet au Gabon à temps plein en parallèle de cette thèse. Merci Sophie de m'avoir poussé vers les HMM.

Je remercie également le jury d'avoir accepté de juger mon travail. Je suis honorée de leur présence.

Et puis, le Gabon... Ce fabuleux pays qui m'accueille depuis 12 ans ! Je tiens particulièrement à remercier Richard Parnell et Angela Formia, qui m'ont accueilli, encadré et vu évoluer au cours de ma carrière professionnelle. Vous avez été (et êtes toujours !) mes mentors et des exemples pour vos qualités humaines. Ce travail n'aurait pas été possible non plus, sans Mike Fay et son esprit visionnaire pour la conservation. Merci Mike pour ton exigence et les parcs marins !

Ce sont également 12 années passées à WCS Gabon. J'ai une immense gratitude envers l'ONG pour m'avoir formé, pour avoir accepté de financer ce travail et accepté que je réalise cette thèse en parallèle de mes activités professionnelles. Merci à toi Gaspard Abitsi, pour tes bons conseils, ta patience et ta compréhension. Ce travail est aussi le fruit du travail de toute « l'équipe pêche artisanale » de WCS Gabon. Merci à Godefroy De Bruyne, ami et collègue,

qui partage cette passion pour les débarcadères et merci à Rose Tona et Cyrielle Yendze qui ont été là depuis le début et sans qui rien n'aurait été possible ! Un grand merci à John Pedro, Ivan, Berthin et Chardeine qui travaillent sans relâche avec les pêcheurs, dans des conditions parfois difficiles.

Ma gratitude va également aux institutions gabonaises partenaires, l'Agence Nationales des Parcs Nationaux et en particulier à l'équipe Gabon Bleu du début : Koumba Kombila, mon grand frère, Thomas Nkizogho pour les discussions enrichissantes et les conseils, pas que juridiques... et Hubert Ella Ekogha pour le formidable travail accompli. Un grand merci à la Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture, pour son soutien. Merci à Madame la DG, Micheline Schummer, Pulcherie Mengue et Ariane Kingbell pour m'avoir supporté et laissé envahir leurs bureaux ! Merci aussi à l'Institut de Recherches Agronomiques et Forestières, en les personnes de Jean-Daniel Mbega, pour la franche collaboration (et pour avoir accepté de juger mon travail), Jean-Hervé Mvé Beh, pour les échanges fructueux et l'équipe du labo et sur le terrain : Marie-Louise, Blanche, Gervais, Edouard...

Ce travail n'aurait pas été possible non plus sans les pêcheurs ! Merci à eux pour leur collaboration, leur patience, le partage de leur quotidien et de leur expérience. Je pense particulièrement à Papa Rigobert, Stéphane, Shéyi, Honoré, Didier, Papa Célestin, Ali Peter, Ali, Besta qui nous a quittés et tous les autres !

Cette thèse se sera également déroulée dans le contexte particulier du Covid, avec des confinements à répétition. Petit papa et grand papa, les Davids au carré, merci de m'avoir soutenue et supportée dans ces conditions. Merci à toi aussi, mon amie Solange pour m'avoir accueilli en France et écouté parler de pêche et encore de pêche. Mes pensées vont également vers mes amis qui m'ont côtoyé et soutenu au cours de ces années : Heather, Julie, Ségo (même sans l'équation, promesse tenue !), Christopher, Pétronie, Steph, Erwan, Diane, Romain, Cédric, Marjo et à tous ceux que j'ai pu oublier et qui m'ont sûrement épaulée d'une façon ou d'une autre. Merci !

Enfin, un immense merci à ma famille, pour m'avoir toujours soutenue !

Table des matières

Remerciements	4
Liste des figures	8
Liste des tableaux	9
Liste des abréviations	10
Introduction générale	12
1. La pêche et la gestion durable	12
2. L'importance du suivi de la pêche artisanale	13
3. La gestion spatiale et les Aires Marines Protégées (AMP)	14
4. L'exemple du Gabon	15
5. Objectifs généraux et structure de la thèse	16
Chapitre 1 : La pêche artisanale commerciale et maritime au Gabon, sa diversité et son dynamisme	18
1. Introduction	18
2. Contexte	19
2.1. Notions générales	19
2.2. Les enjeux d'une pêche artisanale durable	24
2.3. Le contexte gabonais.....	34
3. La pêche artisanale gabonaise maritime de nos jours	55
3.1. Introduction	55
3.2. Méthodologie.....	57
3.3. Résultats.....	62
3.4. Discussion.....	83
4. Conclusion	90
Chapitre 2 : Modélisation des mouvements des pirogues de pêche artisanale	92
1. Introduction	92
2. Modélisation du mouvement des bateaux de pêche	93
2.1. L'étude du mouvement.....	93
2.2. La modélisation par apprentissage automatique appliquée à la pêche.....	100

3. Test de la faisabilité de l'utilisation de modèles de Markov cachés pour détecter les événements de pêche dans la pêche artisanale gabonaise.....	119
3.1. Introduction	119
3.2. Materials and Methods.....	122
3.3. Results.....	127
3.4. Discussion.....	135
3.5. Conclusion.....	139
Chapitre 3 : La répartition spatiale de l'effort nominal de pêche	140
1. Introduction.....	140
2. L'effort de pêche	141
2.1. Effort nominal et effort effectif de pêche	141
2.2. Méthodes pour calculer l'effort nominal : niveau d'information recherché et/ou disponible...	143
2.3. Quelle méthode pour le Gabon ?	145
3. Représentation spatiale de l'effort de pêche	146
3.1. Objectifs et descripteurs	146
3.2. Méthodes et représentations cartographiques	148
4. Les zones de pêche optimales pour les métiers de pêche artisanale au Gabon et leur chevauchement avec les aires marines protégées récemment créées	153
4.1. Introduction	153
4.2. Material and methods.....	155
4.3. Results.....	161
4.4. Discussion.....	169
Conclusion générale et perspectives	172
1. Résultats principaux	172
2. Perspectives.....	173
2.1. Amélioration des méthodes utilisées.....	173
2.2. Extension spatio-temporelle et possibilités de recherches ouvertes	175
2.3. Le mot de la fin.....	178
Références bibliographiques	181
Annexes.....	207

Liste des figures

<i>Figure 1 : Evolution de la production mondiale des pêches et de l'aquaculture de 1950 à 2018 en millions de tonnes.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 2 : Les différents acteurs dans la gestion de la pêche artisanale</i>	<i>29</i>
<i>Figure 3 : Localisation du Gabon, sa zone économique exclusive et le plateau continental</i>	<i>34</i>
<i>Figure 4 : Les migrations des pêcheurs artisans.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 5 : Evolution des captures en pêche artisanale</i>	<i>38</i>
<i>Figure 6 : Evolution des captures domestiques en pêche industrielle</i>	<i>41</i>
<i>Figure 7 : Estimation des captures totales annuelles de thons majeurs dans la ZEE du Gabon.....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 8 : Reconstruction des captures totales étrangères au Gabon, entre 1950 et 2010</i>	<i>43</i>
<i>Figure 9 : Reconstruction des captures domestiques totales</i>	<i>44</i>
<i>Figure 10 : Découpage de l'espace maritime selon la législation des pêches</i>	<i>49</i>
<i>Figure 11 : Réseaux des parcs nationaux (et leur dénomination pour les parcs côtiers) et des aires marines protégées</i>	<i>52</i>
<i>Figure 12 : Zones où la pêche artisanale est interdite, réglementée ou réservée aux Gabonais</i>	<i>54</i>
<i>Figure 13 : Photo aérienne d'un débarcadère type (Massamboué).....</i>	<i>59</i>
<i>Figure 14 : Débarcadères par province (A) et importance de la flotte par localité (B : Nord, C : centre, D : Sud).</i>	<i>64</i>
<i>Figure 15 : Projection des débarcadères dans les plans factoriels des axes 1/2 et 2/3.....</i>	<i>66</i>
<i>Figure 16 : Débarcadères par province (A) et débarcadères par nationalités (B : Nord, C : centre, D : Sud)</i>	<i>68</i>
<i>Figure 17 : Nombre de pirogues utilisant les principaux engins par localité et sur toute la côte du Gabon</i>	<i>72</i>
<i>Figure 18 : Nombre de pirogues utilisant un seul engin et plusieurs engins par localité et sur toute la côte du Gabon.....</i>	<i>73</i>
<i>Figure 19 : Nombres d'espèces ciblées, accessoires et peu ou pas pêchées par engin</i>	<i>78</i>
<i>Figure 20 : Analyse des correspondances multiples représentant la répartition des différentes espèces</i>	<i>79</i>
<i>Figure 21 : Une trajectoire échantillonnée à des temps de résolution différents.....</i>	<i>94</i>
<i>Figure 22 : Architecture des systèmes de suivi de positionnement des navires de pêche</i>	<i>100</i>
<i>Figure 23 : Les deux grandes classes de modèles pour la classification</i>	<i>101</i>
<i>Figure 24 : Représentation des relations entre les modèles graphiques probabilistes génératifs (en haut) et discriminants (en bas)</i>	<i>108</i>
<i>Figure 25 : Schéma d'un modèle de Markov caché à 2 états et 2 variables d'observation.....</i>	<i>110</i>
<i>Figure 26: Map of the North of Gabon showing the size of the fleet and the number of fishing trips sampled by landing site.....</i>	<i>123</i>
<i>Figure 27: Boxplots of trip duration (A) and distance covered (B) for n trips by gear type.</i>	<i>127</i>
<i>Figure 28: Distribution of vessel speed for each gear type</i>	<i>128</i>
<i>Figure 29: Mapping of 2 different methods used to identify a fishing event on a fishing trip compared to observed data for two different gear type</i>	<i>129</i>

<i>Figure 30: Map of all tracks for surface drifting gillnet gear type and fishing areas identified by visual interpretation and HMM methods</i>	133
<i>Figure 31: Accuracy, sensitivity, specificity, fishing prediction and non-fishing prediction across different time steps for each gear type</i>	134
<i>Figure 32: Stepwise overview of the processes of the two methods</i>	135
<i>Figure 33: Superimposition of zoning regulation in Gabonese EEZ and coastal areas</i>	157
<i>Figure 34: Zoning regulation for artisanal fisheries in Gabonese marine and coastal area in 2015 (A) and since 2017 (B)</i>	158
<i>Figure 35: Métiers annual nominal effort distribution by classes of 10,000 hours (A) and cumulative percentage of total fishing effort (B)</i>	164
<i>Figure 36: Boxplots of fishing grounds characteristics</i>	165
<i>Figure 37: Distribution and density of expected fishing hours.km-2.year-1 (A) and expected number of métiers.km-2 (B)</i>	166
<i>Figure 38: Histogram of fishing grounds areas percentage in prohibited areas for each métier and for 2015 and since 2017</i>	168
<i>Figure 39: Histogram of fishing grounds areas percentage in regulated areas for each métier and for 2015 and since 2017 (A)</i>	168
<i>Figure 40 : Eléments permettant de comprendre l'utilisation d'un espace maritime théorique</i>	178

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Les catégories de pêche et leurs caractéristiques</i>	21
<i>Tableau 2 : Typologie des types de conflits liés à la pêche</i>	26
<i>Tableau 3 : Définitions et objectifs premiers des catégories d'Aires marines protégées</i>	31
<i>Tableau 4 : Evolution chronologique de l'organe étatique chargé de la gestion des pêches au Gabon</i>	45
<i>Tableau 5 : Nombre de questionnaires réalisés par zone et engin de pêche</i>	63
<i>Tableau 6 : Contribution des variables à chaque dimension de l'AFDM</i>	65
<i>Tableau 7 : Résumé des caractéristiques des débarcadères par nationalité</i>	67
<i>Tableau 8 : Nombre de pirogues par localité et par type de fabrication</i>	69
<i>Tableau 9 : Caractéristiques des pirogues selon leur matière</i>	70
<i>Tableau 10 : Familles et espèces principales capturées</i>	77
<i>Tableau 11 : Découpage en métiers de la pêche artisanale gabonaise maritime sur toute la côte</i>	81
<i>Tableau 12 : Caractéristiques des différents moyens de suivi satellitaire des navires de pêche</i>	99
<i>Tableau 13 : Synthèse des variables utilisées selon les modèles utilisés</i>	116
<i>Table 14: Performance measures between on-board observers and visual interpretation for each gear type</i> ..	129
<i>Table 15: Performance measures between on-board observers and HMMs</i>	130
<i>Table 16: Performance measures between visual interpretation and HMMs</i>	131

<i>Table 17: Performance measures of the HMM compared to visual interpreted states for all tracks (n=99) and percentage of trip duration spent fishing.....</i>	<i>132</i>
<i>Tableau 18 : Evolution mensuelle des efforts de pêche par type d'engin en 2014 (nombre de jours)</i>	<i>146</i>
<i>Table 19: Annual effort and number of boats by métiers identified</i>	<i>161</i>
<i>Table 20: Percentage of annual nominal fishing effort and suitable fishing grounds areas in protected or regulated areas in 2015 and since 2017 on a national scale</i>	<i>167</i>

Liste des abréviations

ACM : Analyse des Correspondances Multiples
AFDM : Analyse Factorielle des Données Mixtes
AIS : Automatic Identification System (système d'identification automatique)
AMP : Aire Marine Protégée
ANN : Artificial Neural Network (réseau de neurones artificiels)
ARS : Area-Restricted Search (recherche en zone restreinte)
CDB : Convention sur la Diversité Biologique
CAPAL : Centre d'Appui à la Pêche Artisanale de Libreville
CPAPG : Centre de Pêche Artisanale de Port-Gentil
CICTA : Commission Internationale pour la Conservation des Thonidés de l'Atlantique
COREP : Commission Régionale des Pêches du Golfe de Guinée
CPUE : Captures Par Unités d'Effort
CRF : Conditional Random Field (champ aléatoire conditionnel)
DGPA : Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture
FMEM : Filet Maillant Encerclant le Mulet
FMES : Filet Maillant Encerclant la Sardine
FMS : Filet Maillant de Surface
FMF : Filet Maillant de Fond
GMM : Gaussian Mixture Model (modèle de mélange gaussien)
GPS : Global Positioning System (système mondial de positionnement)
HMM : Hidden Markov Model (modèles de Markov caché)
KD : Kernel Density (densité de noyaux)
LAM : Ligne A Main
MCP : Minimum Convex Polygon (polygone convexe minimum)
MLP : MultiLayer Perceptron (perceptron multicouche)
ONG : Organisation Non Gouvernementale

ORGP : Organisation Régionale de Gestion de la Pêche

PAL : PALangre

RM : Random Forest (forêt d'arbres décisionnels)

STC : Senne Tournante Coulissante

SVM : Support Vector Machine (machine à vecteur support)

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

VMS : Vessel Monitoring System (système de surveillance des navires)

WCS : Wildlife Conservation Society

ZEE : Zone Economique Exclusive

Introduction générale

1. La pêche et la gestion durable

La pêche est l'une des activités les plus anciennes pratiquées par l'homme. S'il est difficile de dater exactement l'apparition de cette pratique, les plus anciennes traces de consommation de poisson datent d'environ 40 000 ans (Parent, 1980 ; Klein, 2002 ; Hu et al., 2009). L'étude de cette activité, l'halieutique, en aborde ses divers aspects, tels que les effets de l'environnement sur la ressource, le comportement des poissons, la dynamique des stocks, l'activité des flottilles et leur distribution et dynamique, et les aspects socio-économiques (Le Fur et al., 1999). Depuis ses débuts, la pêche contribue au bien-être des populations en fournissant une alimentation très nutritive et, dans la situation actuelle, elle génère des emplois et apporte des revenus qui sont importants pour les individus, les communautés et les économies nationales. La production mondiale de la pêche ne cesse d'augmenter et elle a atteint une valeur record d'environ 96,4 millions de tonnes en 2018, avec 39 millions de personnes employées (à temps plein, à temps partiel ou occasionnellement) dans le secteur (FAO, 2020b). De la même façon, la consommation mondiale de poisson a augmenté avec un taux annuel moyen de 3,1 % entre 1961 et 2017, soit un taux presque deux fois supérieur à celui de la croissance démographique annuelle mondiale (1,6 %) pour la même période. C'est donc, au niveau mondial, une activité en expansion, avec une flotte qui a doublé entre 1950 et 2015. En parallèle, les Captures Par Unités d'Effort (CPUE) diminuent constamment depuis 1950 (Rousseau et al., 2019). La pression augmente donc, mais à un rythme qui n'est pas soutenable pour la ressource halieutique. En effet, un déclin général de la ressource est observé et certains stocks de poissons sont déjà épuisés (Girardin et al., 2017). Devant ce constat alarmant, certaines stratégies de gestion permettent de maintenir les stocks à un niveau acceptable ou encore de se reconstruire. Ainsi, les pêcheries qui sont gérées intensivement obtiennent des statuts et tendances de populations de poissons bien meilleurs (Hilborn et al., 2020). Mais qu'est-ce qu'une gestion intensive et une bonne gestion ? S'il n'y a pas de réponse universelle, différentes stratégies étant efficaces dans un endroit et pas dans un autre, il a été tout de même constaté que le manque de compréhension du comportement des pêcheurs et de leur réponse aux mesures de gestion mises en place est une des raisons majeures des échecs observés (Girardin et al., 2017). L'effondrement des stocks s'explique plus souvent par le manque de connaissance de la dynamique des pêcheurs que par le manque de connaissance de la ressource halieutique (Hilborn, 1985). La connaissance scientifique est donc une des clés de la gestion durable dans le secteur des pêches. Cela est

d'autant plus vrai pour la pêche artisanale qui est pourtant moins étudiée (Pauly, 1997 ; Zeller et al., 2006 ; Chuenpagdee, 2012 ; Weeratunge et al., 2014).

2. L'importance du suivi de la pêche artisanale

S'il n'existe pas de définition universelle de la pêche artisanale, elle se caractérise souvent, en opposition à la pêche industrielle, par une activité réalisée avec du matériel rudimentaire, de faibles revenus, comme un moyen de subsistance et d'alimentation du marché local et pratiquée avec des techniques de pêche héritées. A l'échelle d'un pays, elle présente une grande diversité de techniques de pêche, des pêcheries plurispécifiques, des communautés de pêcheurs nombreuses et dispersées et des liens sociaux forts. La pêche artisanale représente environ la moitié des prises mondiales de poissons (FAO, 2020b) et l'effort de pêche nominal de la pêche artisanale est équivalent ou même plus important que celui de la pêche industrielle dans toutes les régions du monde sauf pour l'Europe et l'Océanie (Rousseau et al., 2019). Dans le cas des pays en voie de développement, la pêche artisanale produit plus que la pêche industrielle (Mills et al., 2011). Elle est capitale pour nourrir les populations, car, outre la production importante, les captures sont souvent consommées localement (Teh & Sumaila, 2013) et peuvent être dans certains cas la seule source de protéines. Malgré le rôle important que la pêche artisanale joue dans les économies locales et nationales, ce secteur, comparé aux autres secteurs producteurs alimentaires, est mal planifié et légiféré, pas assez financé et marginalisé et souvent négligé à tous les niveaux du gouvernement (Purcell & Pomeroy, 2015). Cela s'explique en partie par la difficulté de suivre ce secteur en mutation constante : les débarquements sont nombreux, dispersés, parfois isolés et peuvent changer d'emplacement géographique (Ecoutin, 1991 ; Haakonsen & Diaw, 1991) ; les techniques de pêche sont également très diverses et changent dans l'espace et dans le temps (Bouju, 1999) ; les espèces pêchées varient aussi au gré des saisons et des zones de pêche (Allen & McGlade, 1986). La pêche artisanale est donc caractérisée par une forte adaptabilité et il apparaît clairement que le suivi et la compréhension de tels phénomènes nécessitent des études pluridisciplinaires (Ecoutin, 1991 ; Laloë et al., 2010). Un autre défi, qui concerne la pêche en général, est lié aux modifications de l'environnement par l'homme. Les facteurs biophysiques à grande échelle tels que les courants, la pollution et le climat peuvent avoir une influence critique sur la pêche (Andrew et al., 2007). La pêche artisanale est d'autant plus vulnérable à ces changements, de par son échelle et sa faible résilience économique. Le réchauffement climatique touche en premier les populations côtières et peut menacer toute une communauté de pêche. Encore une fois, le manque de connaissances de tous ces facteurs est un frein sérieux à la gestion durable et raisonnée de la pêche artisanale. En effet,

au cours des dernières décennies, les captures totales et les captures par unités d'effort de la pêche ont diminué de façon spectaculaire dans de nombreuses pêcheries artisanales en milieu tropical (Purcell et Pomeroy, 2015). En ignorant les problèmes liés à ce secteur et les sous-estimations de production qui en résultent (Pauly & Zeller, 2016), la conséquence potentielle est la surexploitation des stocks et la marginalisation des communautés de pêcheurs (Alfaro-Shigueto et al., 2010 ; Weeratunge et al., 2014).

3. La gestion spatiale et les Aires Marines Protégées (AMP)

Une gestion efficace et participative est donc nécessaire pour maintenir cette activité vitale pour de nombreuses populations. La pêche durable implique de faire en sorte que les stocks des espèces commercialisées soient pérennes, mais aussi que l'environnement soit le moins impacté et que les acteurs du secteur aient une activité stable. C'est le nouveau concept de « pêchéologie » (Gascuel, 2019), qui vise à maximiser l'utilité économique et sociale des biens que nous fournit la nature tout en réduisant au minimum les impacts écologiques, en s'adaptant en permanence. Pour cela, différentes approches existent, telles que la modification de l'effort de pêche, l'augmentation de la sélectivité des engins de pêche pour éviter de pêcher des juvéniles ou des espèces non désirées ou encore changer les techniques de pêche pour diminuer l'impact sur l'environnement. Une autre solution peut être la fermeture complète de l'activité de pêche de manière saisonnière ou alors dans une zone bien précise. Il s'agit alors de la gestion spatiale, qui est devenue un outil important pour les gestionnaires de la pêche qui cherchent à préserver les habitats et à restaurer les stocks de poissons, ainsi que ceux qui souhaitent optimiser le rendement de la pêche (Rassweiler et al., 2012 ; Palmer & Demarest, 2018). Si l'interprétation des données de captures et d'effort demeure une partie intégrante des processus d'évaluation de stocks pour de nombreuses pêcheries, une des limitations de cette vision est due à la non-prise en compte de la distribution spatiale de l'effort de pêche (Campbell, 2004). Grâce aux nouvelles technologies de suivi satellitaires, les déplacements des navires équipés sont connus, mais il est difficile d'identifier les zones où la ressource halieutique est réellement extraite du milieu, l'engin de pêche n'étant pas actif pendant toute une sortie en mer. Pour pallier cette imprécision, de nombreuses études se tournent vers la modélisation du mouvement, des méthodes qui permettent d'inférer les comportements sous-jacents des pêcheurs, à partir des trajectoires (Good et al., 2007 ; Joo Arakawa et al., 2011 ; De Souza et al., 2016). Les équipements de géolocalisation fournissant des informations spatiales sur la pêche sont largement utilisés en pêche industrielle et dans les pays développés, mais restent peu communs dans la plupart des pêches artisanales (Léopold et al., 2014). Comme l'effort de pêche varie selon les zones et les saisons, il est

important de connaître sa géolocalisation en pêche artisanale également et de concevoir des plans de gestions qui incluent ces données spatiales (Babcock et al., 2005 ; Bastardie et al., 2010 ; Carson et al., 2017 ; Kroodsma et al., 2018). La gestion spatiale qui passe par la fermeture ou la réglementation de la pêche dans une zone a été formalisée et porte souvent la dénomination d'Aire Marine Protégée (AMP). L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) définit les AMP comme « tout domaine intertidal ou subtidal – avec la couche d'eau qui la recouvre, la flore, la faune, les caractéristiques historiques et culturelles associées - qui a été réservé par des lois ou par d'autres moyens, pour protéger tout ou partie de l'environnement qu'il délimite ». Au cours de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) en 2010, les états membres se sont fixé comme objectif qu'au moins 10 % des zones marines et côtières soient conservés au moyen de réseaux d'aires protégées pour 2020. Alors que les AMP n'ont généralement pas pour but premier d'être un outil de gestion de la pêche, leur rôle dans la gestion des écosystèmes peut contribuer à la protection et la reconstruction des stocks menacés par la pêche (Gaines et al., 2010). Concernant la pêche artisanale spécifiquement, il a été constaté que les AMP peuvent mener à des changements radicaux des pratiques de pêche, où certains métiers disparaissent, d'autres apparaissent et les pêcheurs changent leurs techniques de pêche pour s'adapter à leurs nouvelles zones. Les risques inhérents peuvent être la perte de la connaissance traditionnelle des techniques de pêche et de l'écologie de la zone (Mallol & Goñi, 2019). Malgré ces risques, le bilan d'une aire marine protégée est souvent positif pour les pêcheurs artisans : en général, la sécurité alimentaire reste stable ou augmente, la capacité des communautés à s'approprier la ressource augmente, ce qui entraîne une augmentation du respect de la législation. Concernant, le bien-être social et le pouvoir politique au sein des communautés, les impacts peuvent être variés, positifs comme négatifs (Mascia et al., 2010). Il ne suffit donc pas de délimiter la zone, mais bien d'optimiser sa gestion.

4. L'exemple du Gabon

La pêche artisanale se caractérise en général par sa grande diversité, sa complexité et son dynamisme. Malgré son potentiel de résilience, ce secteur est l'un des premiers à ressentir l'effet de mesures de gestion mises en place et donc le premier à devoir s'adapter. Il est donc important d'étudier et de connaître ce secteur afin d'en déceler les évolutions. En ce sens, le cas de la pêcherie artisanale maritime gabonaise est intéressant. Le Gabon, pays d'Afrique centrale, longe l'océan atlantique avec un littoral d'environ 955 km (Pottier et al., 2016). Plus de la moitié de la population vit sur la côte, dans les deux plus grandes villes du pays : Libreville, la capitale administrative et Port-Gentil, la capitale économique. La consommation

de poisson par habitant est au-dessus de la moyenne africaine (Béné & Heck, 2005), et la couverture de la consommation nationale de poisson n'est assurée qu'à un peu plus de 50 % par la production locale, le reste étant assuré par des importations (COFREPECHE, 2010). Il y a peu de publications scientifiques récentes sur le secteur de la pêche artisanale maritime et la dernière enquête-cadre réalisée par l'administration, date de 2008 (DGPA, 2009). Les statistiques publiées les plus récentes indiquent que la pêche artisanale produit environ 18 000 tonnes par an, tandis que la pêche industrielle nationale en produit environ 7 000 (DGPA, 2015). Avec une flotte d'approximativement 1 200 pirogues le long de la côte, la pêche artisanale maritime gabonaise se caractérise par une grande diversité d'engins et de techniques de pêche et est pratiquée par une variété de communautés (Bignoumba, 1998). Cependant, il y a un véritable intérêt et une volonté gouvernementale d'améliorer le secteur, notamment à travers l'initiative « Gabon Bleu », qui constitue un pilier de la politique gouvernementale (Présidence de la République Gabonaise, 2015). Cela s'est traduit par la création d'un nouvel organe étatique : le Conseil National de la Mer, qui réunit plusieurs ministères sur les thématiques marines. Cela passe aussi par de nouvelles législations, et plus particulièrement, la création d'un réseau de 20 aires marines protégées en 2017 (République Gabonaise, 2017).

Le Gabon est donc un pays qui dépend de la mer et de ses ressources halieutiques, avec un secteur de la pêche artisanale qui nourrit le marché local et fournit de l'emploi, mais qui n'est pas suffisamment étudié et connu. Ce pays, à l'instar de nombreux pays dans le monde, s'est doté récemment d'un réseau d'aires marines protégées, pour protéger ses écosystèmes remarquables et ses ressources halieutiques. Cette gestion spatiale se met en place dans un espace maritime déjà occupé par les activités de la pêche artisanale.

5. Objectifs généraux et structure de la thèse

Le travail présenté dans cette thèse propose de poser les jalons pour un suivi et une gestion à long terme de la pêche artisanale maritime au Gabon. Il répond à la problématique suivante : l'approche spatiale et par métier permet-elle de détecter les enjeux de gestion en pêche artisanale ? Il s'agira de comprendre ce qui définit ce secteur, quelles en sont les caractéristiques et quels peuvent être les facteurs explicatifs de cette organisation et de déterminer si la catégorisation aide à détecter la structure de l'allocation de l'effort de pêche. Une attention particulière sera portée au suivi spatial, afin de développer, d'adapter et de valider des outils de suivi de géolocalisation de la pêche et de les mettre en perspectives avec la réglementation, notamment les Aires marines protégées. Cela répondra à la question de

savoir si la géolocalisation de l'effort de pêche et des territoires permet une meilleure gestion de la pression de pêche.

Le chapitre 1 développera les questions auxquelles les gestionnaires sont confrontés, avec les outils de gestion à leur disposition et en particulier, les aires marines protégées, puis un bilan historique de la pêche maritime au Gabon sera fait. Ce chapitre tentera de donner un instantané de la situation de la pêche artisanale maritime au Gabon, en termes de zones de débarquements, d'outils de la pêche et d'espèces capturées, pour arriver à une segmentation théorique du secteur en unités élémentaires de gestion.

Le chapitre 2 reviendra sur les travaux antérieurs dans l'étude du mouvement des bateaux de pêche. Les différents modèles utilisés pour l'analyse des trajectoires de pêche seront décrits. Cela permettra de replacer nos choix méthodologiques parmi les connaissances existantes. Puis la cohérence de la méthode sélectionnée sera testée sur un échantillon de trajectoires de pêche artisanale au Gabon.

Dans le chapitre 3 seront développées la notion d'effort de pêche et les méthodes de sa représentation spatiale. L'application au cas concret de la pêche artisanale maritime du Gabon montrera comment la géolocalisation de l'effort et des territoires de pêche permet une meilleure gestion de la pression de pêche, en particulier dans un contexte de création d'Aires marines protégées.

Chapitre 1 : La pêche artisanale commerciale et maritime au Gabon, sa diversité et son dynamisme

1. Introduction

Le suivi sur le long terme de l'exploitation d'une ressource naturelle est indispensable pour connaître l'état de cette ressource, et aussi pour comprendre comment cette exploitation change les écosystèmes (McClenachan et al., 2012) et comment le système de gouvernance peut modifier ces changements (Selgrath et al., 2018). Les ressources halieutiques n'échappent pas à ce principe et constituent un enjeu majeur pour la sécurité alimentaire mondiale et pour l'économie. En effet, ces ressources constituent 15 % des apports alimentaires en protéines pour plus de 4,5 milliards de personnes (Béné et al., 2015) et la pêche procure environ 50 millions d'emplois directs, dont 44 % sont dans le secteur de la pêche artisanale. La prépondérance de la pêche artisanale atteint 78 % dans les pays en voie de développement (Teh & Sumaila, 2013). Si la pêche industrielle débarque plus de captures, la pêche artisanale produit plus de poisson pour la consommation humaine et génère moins de rejets (Kelleher *et al.*, 2012). Dans les pays en développement, la pêche artisanale est donc cruciale pour la sécurité alimentaire, l'emploi et, potentiellement pour l'utilisation durable des ressources marines, en limitant les rejets et en s'adaptant de façon plus dynamique aux fluctuations de la ressource (Allison & Ellis, 2001). Paradoxalement, la pêche artisanale est beaucoup moins étudiée que la pêche industrielle (Pauly, 1997 ; Zeller *et al.*, 2006 ; Chuenpagdee, 2012 ; Weeratunge *et al.*, 2014). Cet état de fait peut conduire à des situations catastrophiques où le manque de données produit une sous-estimation des captures et en conséquence, à une surexploitation des ressources halieutiques (Weeratunge *et al.*, 2014) et d'un autre côté, à une marginalisation des communautés de pêcheurs dans le processus de gestion, amenant potentiellement des conflits, en particulier avec l'administration (Alfaro-Shigueto *et al.*, 2010).

Le suivi sur le long terme de la pêche artisanale permet de déceler les changements dans les stratégies et techniques de pêche et aide à comprendre le système de façon holistique. Cette compréhension de la dynamique des pêches aide à avoir une meilleure représentation de l'effort de pêche, des variations dans les captures et fournit des informations sur la flexibilité des pêcheurs à s'adapter à de nouvelles situations et ainsi, facilite la mise en œuvre de mesures de gestion (Salas & Gaertner, 2004).

Le Gabon, pays d'Afrique Centrale, est un exemple parfait pour illustrer ces enjeux et défis propres à la pêche artisanale et sera au cœur de ce chapitre. Les questions auxquelles les

gestionnaires de la pêche artisanale maritime sont confrontés seront développées dans une première partie, avec les outils de gestion à leur disposition et en particulier, les aires marines protégées. Après un bilan historique de la pêche maritime au Gabon, la deuxième partie tentera de donner un instantané de la situation de la pêche artisanale maritime au Gabon, en termes de zones de débarquements, d'outils de la pêche et d'espèces capturées, pour arriver à une segmentation théorique du secteur en unités élémentaires de gestion.

2. Contexte

2.1. Notions générales

La pêche est définie comme la capture d'organismes aquatiques dans les eaux marines, côtières et continentales (FAO, 2018). Les organismes capturés servent principalement à la consommation humaine, mais peuvent avoir d'autres usages (transformation en farine de poisson, huiles, etc.). Afin de faciliter l'étude et la compréhension d'un domaine, l'humain a tendance à catégoriser son environnement pour en réduire sa complexité. Dans le domaine de l'halieutique, cette classification se fait communément en séparant l'activité de manière géographique (maritime, continentale) ou encore sur la base de l'échelle de l'activité (artisanale, industrielle). Nous allons tenter de définir ces catégories.

La **pêche continentale**, qui se pratique dans les eaux intérieures des territoires, se distingue de la **pêche maritime**, qui s'opère dans les océans et mers. Ainsi, les eaux intérieures ou continentales sont définies comme l'ensemble des eaux superficielles ou souterraines présentes et en circulation dans les terres émergées (Comité National Français des Sciences Hydrologiques, Commission de terminologie, 2003). Cela inclut donc des zones proches des côtes, qui peuvent parfois être adjacentes à des environnements marins, telles que des lagunes. En conséquence, les eaux continentales peuvent être douces, salées ou saumâtres. Aussi, la terminologie peut prêter à confusion, les eaux continentales pouvant inclure des mers intérieures. Les eaux marines, quant à elles, sont directement liées aux océans et constituent les masses d'eaux qui entourent les terres émergées. De la même façon, les eaux marines peuvent être complètement salées, saumâtres ou presque douces, selon l'influence et l'apport des eaux douces venues des terres. Ainsi, c'est la location qui compte et non le caractère écologique.

Avec ces définitions, il est difficile de rattacher strictement les estuaires à un milieu ou à un autre. Les estuaires constituent une zone de transition entre les rivières et la mer, donc entre le domaine continental et le domaine marin. L'origine latine du mot estuaire est très significative : aestus (la marée) est le substantif du verbe aesto (je bouillonne), ce qui suggère

bien l'effet bouillonnant de la marée montante à l'embouchure du fleuve au moment du mélange des eaux (Le Goazigo, [en ligne]). C'est donc un milieu subissant l'influence des marées et à l'interface entre les eaux continentales et maritimes. Ainsi, selon les réglementations et les zonages propres à chaque pays, les estuaires peuvent être le lieu de la pêche continentale, comme de la pêche maritime.

Malgré ces quelques zones « grises », les statistiques de production mondiale utilisent cette distinction, que ce soit pour la pêche ou l'aquaculture (Figure 1).

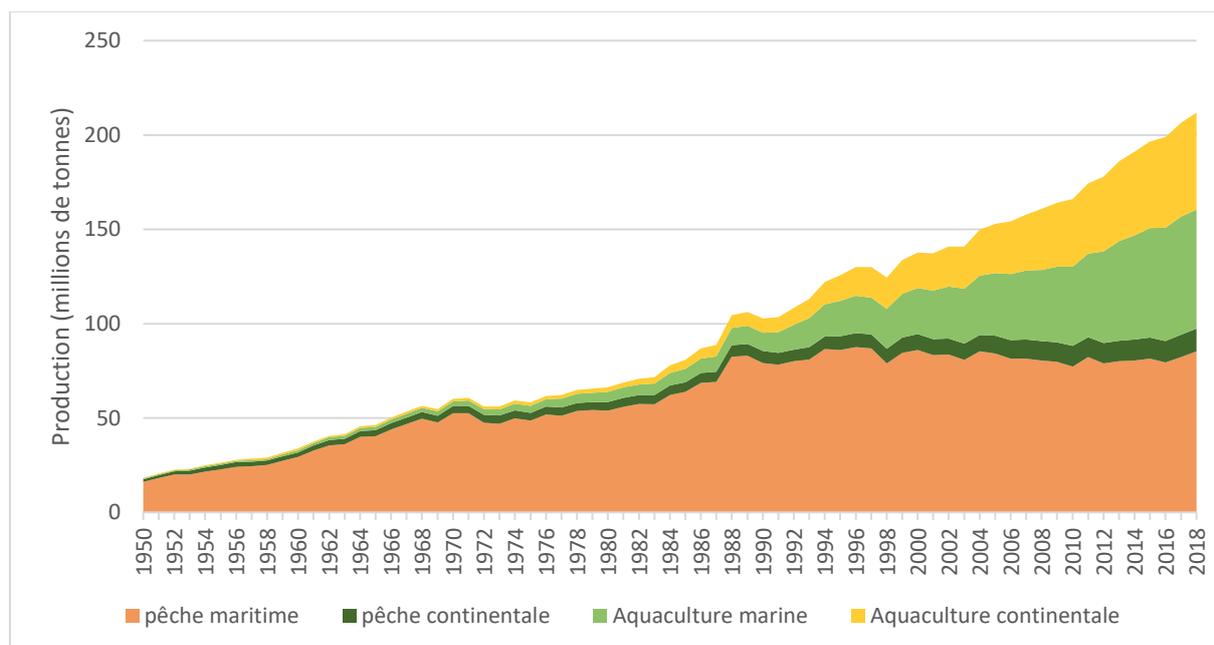


Figure 1 : Evolution de la production mondiale des pêches et de l'aquaculture de 1950 à 2018 en millions de tonnes (FAO, 2020a)

Ainsi, la production mondiale des pêches et de l'aquaculture a atteint, en 2018, environ 212 millions de tonnes (Figure 1), l'aquaculture représentant une part de plus en plus importante de la production. Ces dernières décennies, la production totale de poisson a fortement augmenté sur tous les continents, sauf en Europe, où elle a progressivement diminué entre la fin des années 1980 et les Amériques, alors qu'elle a presque doublé ces 20 dernières années en Afrique et en Asie (FAO, 2020b).

Il y a aussi généralement une distinction entre la **pêche artisanale** et la **pêche industrielle**. Il n'existe pas de définition universelle ou encore de séparation distincte communément admise entre ces deux secteurs d'activités. La plupart des auteurs admettent qu'une définition unique et universelle de la pêche artisanale est impossible (Kurien, 1996, 1998 ; Johnson, 2006 ; Carvalho et al., 2011). Ainsi la Banque Mondiale statue que « les définitions ne sont pas applicables de façon universelle et ce qui peut être défini comme pêche artisanale dans une situation peut être de la pêche industrielle dans un autre cas. [...] En fonction d'un projet

particulier, les chercheurs peuvent avoir besoin de donner une définition plus précise qui s'adapte à la situation. » (The World Bank et al., 1991)

Chaque pays ou région tente d'avoir sa propre définition. Environ 70 % d'entre eux ont déjà défini ces termes dans leur législation et 65 % des pays qui ont déjà une définition, utilisent la taille de l'embarcation comme facteur clé de définition (Chuenpagdee et al., 2006). Les autres critères de définition peuvent être de nature socio-économique (nature d'une unité de pêche, temps de travail, devenir des captures, propriété des embarcations, importance des investissements, niveau de revenus), sur les connaissances et la technologie (type d'engin, capacité de capture), sur la gestion (niveau de l'autorité de gestion, unités de gestion, législation, collecte des statistiques de pêche) et sur l'espace et le temps (lieux de débarquement, zones de pêche, durée de la pêche, saisonnalité) (Johnson, 2006 ; Cochrane & Garcia, 2009). Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre comment la frontière entre les deux domaines n'est pas si nette, mais qu'un « glissement » des critères d'organisation sociale et une échelle spatio-temporelle, amène d'une catégorie à une autre.

Quoiqu'il en soit, le terme de pêche artisanale et les concepts associés semblent être entrés dans les discussions dans les années 1970 (Johnson, 2006), pour les opposer à une activité qui s'industrialise de plus en plus. Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, la construction de navires de pêche toujours plus grands et toujours plus puissants, utilisant des engins de pêche plus efficaces et capturant des tonnages plus importants, est encouragée par des subventions étatiques, pour augmenter les captures. Ainsi, entre les années 50 et 90, les captures mondiales de pêche ont été multipliées par cinq (Scheiber, 2001 et Figure 1). Ce phénomène d'industrialisation est souvent associé à la notion de surexploitation (Gascuel, 2009 ; Peet et al., 2010). En effet, une tendance à la baisse est observée pour la proportion des stocks halieutiques marins exploités à un niveau biologiquement durable, de 90 % en 1974 à 67 % en 2015 (FAO, 2018).

Tableau 1 : Les catégories de pêche et leurs caractéristiques (traduit et inspiré de Johnson, 2006)

Caractéristiques liées à la pêche	La tendance générale sur le long terme, au niveau mondial, se déplace dans ce sens, mais ce n'est ni inévitable ni irréversible
	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Petite échelle Grande échelle </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center; margin-top: 5px;"> Subsistance Artisanal Industriel </div>

Socioéconomie

Nature des unités de pêche	Individus ou communautés avec une réciprocité sociale	Petits groupes avec de la spécialisation et de la division du travail, importance du ménage et de la communauté	Petits et plus grands groupes, spécialisation et division du travail importantes
Nature du travail	Temps partiel et diversifié, partage des captures	←→	Temps plein, professionnel, système de salariat
Devenir des captures	Principalement autoconsommation et vente locale	Autoconsommation et vente aux marchés locaux, nationaux et internationaux	Vente dans des marchés en gros
Transformation	Consommation directe principalement	←→	Produits conditionnés/transformés, dont une partie n'est pas destinée à la consommation humaine
Propriété du matériel	Individu ou groupe, parfois individu non-pêcheur	Pêcheur sénior ou partagé entre l'équipage ou individu non-pêcheur	Concentration de propriété, souvent par des individus non-pêcheurs et souvent une société
Investissement	Faible investissement en capital et haut investissement en temps de travail	Faible à moyen investissement avec une large proportion ne venant pas des pêcheurs	Haut investissement avec une large proportion ne venant pas des pêcheurs
Revenu du propriétaire	Absent ou minimal	Minimal ou moyen	Souvent élevé

Connaissance et technologie

Compétences	Compétences techniques et locales	Plus grande diversité d'espèces ciblées et de techniques, besoin de connaissances et compétences élevées	Compétences et expérience importantes, mais assistées par une technologie évoluée
Embarcation	Sans ou petite et non-motorisée	Petite avec une faible motorisation	Grosse motorisation
Engin de pêche	Souvent fait à la main par le pêcheur et pas mécanisé	Plusieurs composants fait industriellement et assemblé par le pêcheur, diversité d'engins manuels ou mécanisés	Composants faits et assemblés industriellement, automatisation et systèmes électroniques
Capacité de capture	Très faible	Faible à moyenne	Importante

Gestion			
Autorité des pêches	Communauté locale ou famille	Régionale, communauté, famille avec l'assistance de gestionnaires/scientifiques	Plus grande échelle, guidée par la science, nombreux gestionnaires/scientifiques
Unités de gestion	De nombreuses petites unités	Souvent de nombreuses petites unités	Une ou peu d'unités, mais grandes
Règles	Coutumières	Coutumières et étatiques	Etatiques
Collecte des données	Rare à cause des difficultés de collecte	Difficile en fonction des caractéristiques des pêcheries et des autorités	Relativement directe, mais dépendante des autorités de gestion
Echelle spatio-temporelle			
Débarquements	Très dispersés	Dispersés	Concentrés
Zones de pêche	Sur ou à côté de la côte	Assez proche de la côte	Toutes aires marines
Durée	Quelques heures	Quelques heures à quelques jours	Quelques jours à quelques mois
Saisonnalité	Saisonnaire	Saison étendue grâce à du matériel robuste	Toute l'année sans contrainte climatologique

Le terme artisanal peut également être remplacé dans la littérature par d'autres mots aux définitions proches ou équivalentes, tels que « subsistance », « traditionnel » et « petits métiers ». Tandis que chacun de ces termes met en lumière une certaine caractéristique de la pêche artisanale, aucun ne peut prétendre donner une définition complète de la pêche artisanale (Kurien, 1996). Le terme de « pêche artisanale » insiste plus sur le matériel utilisé pour pêcher, qui serait fait de façon rudimentaire, manuelle. La pêche de subsistance tend plutôt à caractériser la notion de faibles revenus de l'activité, qui sert à se nourrir et à survivre, en assurant les besoins essentiels. Le terme traditionnel renvoie à l'aspect historique de la pêche, comme une habitude pratiquée par la communauté depuis un temps assez long. Le terme « petits métiers » englobe plusieurs notions et peut être considéré comme un synonyme de « pêche artisanale », bien qu'il insiste sur l'échelle de l'activité : l'adjectif « petit » renvoie à des embarcations de petite taille, de petits engins ou encore de faibles revenus.

Ainsi, l'idée d'une pêche artisanale plus respectueuse de la ressource est souvent mise en avant. Au regard des politiques de pêche, la pêche industrielle a souvent été favorisée, en raison d'une marginalisation de la pêche artisanale (Pauly, 1997). Pourtant, il a été prouvé que la pêche artisanale fournit plus d'emplois, implique des coûts de production moindres, produit moins de rejets (Thomson, 1988) et serait meilleure pour la conservation des espèces marines, l'effort de pêche étant mieux distribué (Allison & Ellis, 2001).

Pour autant, les captures de la pêche artisanale ne sont pas négligeables. Cela s'explique par le fait que les unités de pêche artisanale, si elles sont plus petites, sont aussi plus nombreuses. Ce n'est cependant pas la seule explication et le terme « petit » dans l'expression « petits métiers » ne veut pas nécessairement dire faible, ni local, ni durable, ni même « petit » (Gonzales, 2008).

Une des caractéristiques de la pêche artisanale est également la difficulté à suivre les débarquements et donc, à quantifier les captures. Ainsi, la proportion de la production de la pêche artisanale maritime dans la production globale est souvent sous-estimée (Pauly & Zeller, 2016). Ces auteurs soulignent que les estimations de la FAO ne prennent pas assez en compte la pêche artisanale, les rejets et la pêche illégale. Ainsi, la FAO estimait le pic de production de la pêche maritime en 1996 avec 86 millions de tonnes avec un faible déclin par la suite (Figure 1), tandis que Pauly et Zeller (2016) estiment ce pic à 130 millions de tonnes et suivi d'un déclin beaucoup plus drastique. Ces différences d'estimation montrent l'importance d'améliorer les connaissances et la collecte des données dans le secteur pêche artisanale.

2.2. Les enjeux d'une pêche artisanale durable

2.2.1. Les enjeux et défis

La pêche artisanale représente environ la moitié des prises mondiales de poissons (FAO, 2020b) ainsi que la moitié de l'effort de pêche mondial (Rousseau et al., 2019). Dans le cas des pays en voie de développement, la pêche artisanale produit plus que la pêche industrielle (Mills et al., 2011). La pêche artisanale joue un rôle crucial pour la sécurité alimentaire, l'emploi, la cohésion sociale et les questions de genre. Elle est capitale pour nourrir les populations, car, outre la production importante, les captures sont souvent consommées localement (Teh & Sumaila, 2013) et peuvent être dans certains cas la seule source de protéines. De plus, ce secteur emploie plus de 90 % des travailleurs de la pêche, dont la moitié environ sont des femmes (principalement dans la commercialisation et la transformation). Il est estimé que 97 % de ces travailleurs vivent dans des pays en développement (FAO, 2020b). La pêche artisanale renforce l'attachement des populations pour leur territoire et améliore la stabilité sociale dans les zones rurales et périphériques (Guyader et al., 2013).

Face à ces enjeux capitaux, la pêche artisanale est confrontée à de nombreux défis. Malgré le rôle important que la pêche artisanale joue dans les économies locales et nationales, ce secteur, comparé aux autres secteurs producteurs alimentaires, est mal planifié et légiféré,

pas assez financé et marginalisé et souvent négligé à tous les niveaux du gouvernement (Purcell & Pomeroy, 2015).

De plus, le fait que les débarquements soient dispersés et pas forcément centralisés, et donc n'entrent pas l'économie formelle, fait que les productions sont difficiles à estimer (Mills et al., 2011). Ce n'est pas seulement la production qui est mal connue, mais également les variables concernant la population des pêcheurs (leur nombre, leurs activités connexes, leurs rôles dans l'économie nationale et régionale) (Béné, 2006). Ce manque d'information fait l'objet d'une étude en cours « Porter un nouvel éclairage sur les captures non visibles », réalisée par la FAO, l'Université de Duke et le programme de recherche du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (CGIAR) sur les systèmes agroalimentaires halieutiques, dirigé par WorldFish. Cette initiative est née du constat que des millions de tonnes de poisson provenant de la pêche artisanale sont « cachées », c'est-à-dire qu'elles ne sont pas visibles ni déclarées. Ainsi, l'objectif est de mettre en place des méthodologies pour combler ce manque d'informations (FAO, 2020b), car il conduit souvent à une sous-estimation des captures et peut masquer une surpêche sur certaines espèces ou dans certaines zones (Rousseau et al., 2019).

De grandes disparités sont constatées entre les pays développés et les pays en voie de développement. Ainsi, les espèces à haute valeur telles que les thonidés et les crevettes sont exportées vers les pays riches tandis que les espèces à moindre valeur sont importées (harengs, clupéidés). Avec l'augmentation constante de la consommation mondiale de poisson, les disparités sociales et la marginalisation associée ainsi que les problèmes de sécurité alimentaire sont en hausse et vont nécessiter de plus en plus d'être résolues par des lois et des plans de gestion (McClanahan et al., 2015). Ainsi, au cours des dernières décennies, les captures totales et les captures par unités d'effort de la pêche ont diminué de façon spectaculaire dans de nombreuses pêcheries artisanales en milieu tropical (Purcell & Pomeroy, 2015).

Un autre défi, qui concerne la pêche en général, est lié aux modifications de l'environnement par l'homme. Les facteurs biophysiques à grande échelle tels que les courants, la pollution et le climat peuvent avoir une influence critique sur la pêche (Andrew et al., 2007). La pêche artisanale est d'autant plus vulnérable à ces changements, de par son échelle et sa faible résilience économique. Le réchauffement climatique touche en premier les populations côtières et peut menacer toute une communauté de pêche. Le caractère local des communautés côtières ainsi des zones de pêche proches du littoral rendent également les groupes de pêcheurs artisans très vulnérables aux pollutions diverses.

Finalement, le secteur de la pêche artisanale est le lieu de potentiels conflits : pour la ressource, pour les territoires (de pêche ou pour les débarquements) et pour la gestion politique. Les différents types de conflits sont résumés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Typologie des types de conflits liés à la pêche (traduit et adapté de Mcclanahan et al., 2015)

	Description du conflit	Exemples
Type I	Qui contrôle la pêche	Conflits entre communautés pour des zones de pêche, disputes sur le foncier des débarcadères, lutte de pouvoir intracommunautaire
Type II	Comment la pêche est contrôlée	Comment la gestion est mise en place, comment les quotas ou les territoires de pêche sont alloués, comment les mesures de gestion (fermeture saisonnière et/ou de zone, modification ou interdiction d'engins)
Type III	Relations entre les pêcheurs	Problèmes entre groupes d'utilisateurs, tels que : artisanal vs industriel, engin passif vs actif, migrant vs résident, ethnie ou nationalité, relations entre les genres
Type IV	Relations entre les pêcheurs et les autres usagers côtiers	Conflits naissants d'usages multiples de la ressource : aquaculture, industries extractives off-shore (pétrole, sables, etc.), tourisme, conservation, développement industriel et côtier, gestion des déchets et de la pollution
Type V	Relations entre les pêcheurs et les autres secteurs	Conflits extérieurs à la pêche, mais l'affectant tout de même : législation, corruption, changement démographique, changement de politique économique, discrimination politique

2.2.2. Les mécanismes de gestion

Face à l'importance du secteur pêche artisanale et les challenges qu'il rencontre, les réponses sont multiples et à plusieurs niveaux : de l'individu pêcheur, en passant par la communauté, les institutions étatiques et même à l'international. Si la pêche artisanale est caractérisée par son hétérogénéité et son dynamisme, de grandes lignes ont pu être édictées. La FAO (2015) a publié un document regroupant des directives vouées à être un instrument international

présentant des principes consensuels et des orientations sur la pêche artisanale, intitulé « Directives volontaires visant à assurer la durabilité de la pêche artisanale, dans le contexte de la sécurité alimentaire et de l'éradication de la pauvreté ». Les Directives complètent le Code de conduite pour une pêche responsable (FAO, 1995), respectent les dispositions relatives à la pêche de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (Nations Unies, 1982), et intègrent plusieurs « Objectifs de Développement Durable » que se sont fixés les Nations Unies à l'horizon 2030. La particularité de ces directives est qu'elles se focalisent uniquement sur la pêche artisanale et se répartissent sur 6 thématiques : (1) la gouvernance responsable des régimes fonciers, (2) la gestion durable des ressources, (3) le développement social, l'emploi et le travail décent, (4) les chaînes de valeur, les activités après capture et le commerce, (5) l'égalité hommes-femmes et (6) les risques de catastrophes et le changement climatique. Les enjeux et défis décrits précédemment se retrouvent bien dans ces thématiques et les réponses proposées suivent des principes directeurs : les droits de l'homme et la dignité humaine, le respect des cultures, la non-discrimination, l'équité et l'égalité (notamment entre les hommes et les femmes), la consultation et la participation, le respect du droit, la transparence, l'obligation de rendre des comptes, la viabilité économique, sociale et environnementale à long terme, les approches globales et intégrées, la responsabilité sociale, la praticabilité et la viabilité sociale et économique.

Toujours à l'échelle internationale, mais de façon plus localisée, les Organisations Régionales de Gestion de la Pêche (ORGP) permettent de gérer des stocks de poissons par zone géographique. Par exemple, l'Organisation des Pêches de l'Atlantique du Sud-Est, comme son nom l'indique, regroupe les pays côtiers qui bordent l'océan Atlantique Sud-Est. Il existe aussi des commissions sous-régionales qui rassemblent des pays frontaliers, telles que la Commission Régionale des Pêches du Golfe de Guinée (COREP) créée en 2007. Les mandats de ces organisations internationales sont de fixer des objectifs communs, faire des recommandations ou encore appuyer les pays membres. Par exemple, la COREP a pour mission « d'assister les Etats Membres en vue de protéger et de mettre en valeur, de façon durable, les ressources halieutiques ainsi qu'à promouvoir le développement de l'aquaculture, en vue de maximiser l'exploitation des potentialités des milieux aquatiques et garantir le bien-être du plus grand nombre des habitants ». Les membres étant les états, il leur appartient ensuite de traduire ces objectifs dans le droit national. C'est une étape souvent indispensable pour assurer une véritable applicabilité.

Ainsi, au niveau national, la pêche artisanale peut être définie et réglementée et des mesures nationales peuvent être prises (interdiction d'une pratique de pêche, mesures d'incitations pour l'exploitation d'une ressource, etc.). Cependant, de par le caractère hétérogène de la pêche artisanale, des mesures, prises au niveau national, ne vont concerner qu'une seule zone ou

encore l'exploitation d'une espèce ou d'un groupe d'espèces. Un outil communément utilisé est le plan d'aménagement (de la pêcherie et/ou de la zone).

Finalement, dans une situation où la pêche artisanale peut être parfois nommer pêche traditionnelle ou coutumière, il paraît évident qu'il y a un caractère ancien de pratiques communautaires. Ces traditions ne sont pas forcément inscrites dans le droit, mais peuvent constituer un ensemble de règles implicites qui se transmettent au sein du groupe. C'est un aspect non négligeable de la gestion qui est souvent plus difficile d'accès.

Ainsi, il y a plusieurs niveaux de gestionnaires, en partant des instances internationales jusqu'au pêcheur lui-même, mais d'autres acteurs influencent et participent à la gestion de la pêche artisanale (Figure 2). En effet, ne serait-ce qu'autour des pêcheurs, les professionnels des activités connexes entrent en ligne de compte : vendeurs, transformateurs, propriétaires des embarcations, gestionnaires des usines ou des criées, etc. Par exemple, les horaires d'ouverture d'une criée conditionnent l'organisation temporelle de la pêche ou encore des vendeurs spécialisés dans la vente d'une espèce en particulier peuvent pousser des pêcheurs à se spécialiser. De la même façon, la société civile influence le secteur de la pêche artisanale. Les associations, les Organisations Non Gouvernementales (ONG), les riverains participent de plus en plus au débat et constituent des forces de lobbying auprès des gouvernements, et des communautés de pêcheurs. La recherche scientifique également guide les décisions en matière de gestion des pêches et est caractérisée par sa pluridisciplinarité : halieutes, biologistes, mais aussi sociologues, économistes, anthropologues, géographes s'intéressent à ces questions et conseillent les gestionnaires.

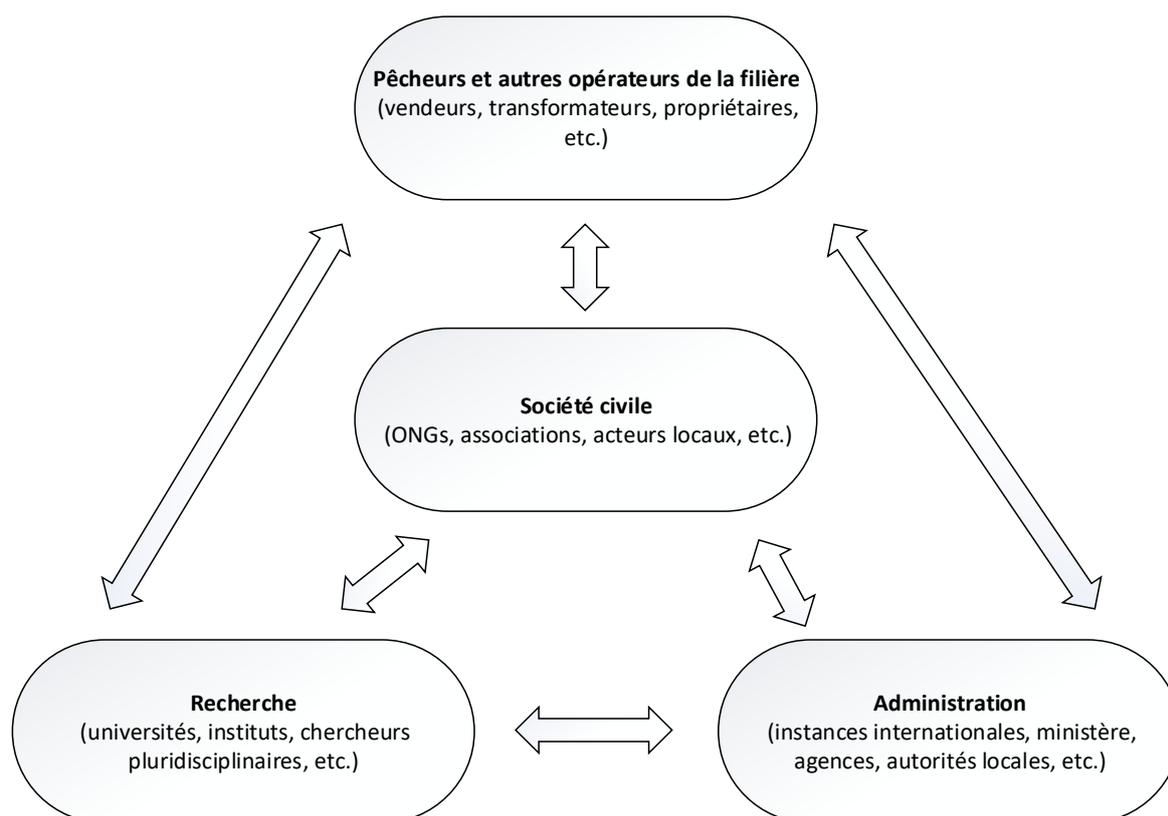


Figure 2 : Les différents acteurs dans la gestion de la pêche artisanale (adapté de Weigel et De Monbrison, 2013)

Il est intéressant de noter que nous avons commencé par décrire les institutions comme initiateurs des politiques de pêche. C'est une forme de gestion guidée par le haut (« top-down »), c'est-à-dire que ce sont les institutions qui dictent la conduite à tenir aux pêcheurs, en utilisant des mesures incitatives et répressives sur, par exemple, l'utilisation de certains engins, sur l'effort permis, les quotas ou encore les fermetures de zones et saisonnières (Fulton et al., 2011). Cette vision traditionnelle évolue et de nouvelles formes de gestion sont proposées, la planification pyramidale (« bottom-up ») par exemple, où ce sont les pêcheurs qui sont force de proposition en matière de gestion (Bundy et al., 2008 ; Smith et al., 2015), ou encore la gestion spatiale, qui permet aux mesures d'être adaptées selon la zone (Carson et al., 2017 ; Moore et al., 2017). La figure 2 représente une gestion participative où les décisions et les échanges vont dans les deux sens entre les acteurs. Cela s'intègre dans les visions plus actuelles de co-management et de bonne gouvernance (Weigel & De Monbrison, 2013).

Quoiqu'il en soit, il y a moins de chances d'avoir des processus de prise de décisions durables si les participants et leurs droits ne sont pas clairement identifiés, ainsi que l'échelle géographique et les facteurs environnementaux. Une gestion idéale prendrait en compte tous ces aspects, mais malheureusement, la perfection est rare dans les pêches, et en particulier en pêche artisanale. Les pêcheurs et gestionnaires sont souvent occupés à renforcer leur

résilience plutôt qu'à réellement planifier le futur. Cela est renforcé par le fait que le secteur et les forces qui l'entourent changent perpétuellement. Pour que la pêche artisanale soit un véritable moteur de développement, une première étape serait que les sociétés lui reconnaissent une valeur plus importante et que les pêcheurs deviennent plus résilients aux changements qu'ils ne peuvent contrôler (Andrew et al., 2007).

2.2.3. La gestion durable et un de ses outils : les Aires marines protégées

Comme évoqué précédemment, outre les difficultés humaines, la durabilité de la ressource est au cœur des problématiques de la pêche artisanale. La ressource est souvent surexploitée, à cause, entre autres, d'une gestion mal adaptée, de la corruption, des accès illimités à la ressource et des pratiques de pêche destructives (Coastal Resources Center, 2006). Cela est particulièrement vrai dans les régions tropicales où les captures totales et les Captures Par Unité d'Effort (CPUE) ont diminué de façon spectaculaire au cours des dernières décennies (Bender et al., 2014 ; Purcell & Pomeroy, 2015). La pêche durable implique donc de faire en sorte que les stocks des espèces commercialisées soient pérennes, mais aussi que l'environnement soit le moins impacté. Pour cela, différentes approches existent, telles que la réduction ou la modification de l'effort de pêche, l'augmentation de la sélectivité des engins de pêche pour éviter de pêcher des juvéniles ou des espèces non désirées ou encore changer les techniques de pêche pour diminuer l'impact sur l'environnement (le chalutage par exemple qui racle le fond). Une autre solution peut être la fermeture complète de l'activité de pêche de manière saisonnière ou alors d'une zone bien précise.

La gestion spatiale qui passe par la fermeture ou la réglementation de la pêche dans une zone a été formalisée et porte souvent la dénomination d'Aire Marine Protégée (AMP). L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) définit les AMP comme « tout domaine intertidal ou subtidal – avec la couche d'eau qui la recouvre, la flore, la faune, les caractéristiques historiques et culturelles associées - qui a été réservé par des lois ou par d'autres moyens, pour protéger tout ou partie de l'environnement qu'il délimite ». Il existe plusieurs formes d'AMP qui d'ailleurs, peuvent porter des dénominations différentes : réserves marines, parcs, sanctuaires ; et les objectifs sont divers et souvent complémentaires : 1) la conservation et la protection des ressources naturelles, 2) la restauration des zones dégradées ou surexploitées, 3) une amélioration des rendements de pêche, 4) une exploitation durable des ressources, 5) l'amélioration des connaissances du fonctionnement de l'écosystème marin, 6) l'amélioration des relations entre les différents usagers, via notamment la gestion des usages et 7) la protection et la mise en valeur du patrimoine historique, culturel et esthétique des sites concernés (Leleu, 2012). Ainsi, selon les mesures de protection mises en place, l'UICN a défini 6 catégories d'AMP, telles que décrites dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Définitions et objectifs premiers des catégories d'Aires marines protégées (Dudley, 2008)

Catégorie de l'UICN	Définition	Objectif premier
la	Aires protégées qui sont mises en réserve pour <i>protéger la biodiversité ainsi qu'éventuellement, des caractéristiques géologiques/géomorphiques, où les visites, l'utilisation et les impacts humains sont strictement contrôlés et limités pour garantir la protection des valeurs de conservation. Ces aires protégées peuvent servir d'aires de référence indispensable pour la recherche scientifique et la surveillance continue.</i>	Conserver les écosystèmes exceptionnels au niveau régional, national ou mondial, les espèces (individuelles ou en groupes) et/ou les caractéristiques de la géodiversité : ces caractères distinctifs auront été formés principalement ou entièrement par des forces non humaines et seraient dégradés ou détruits par tout impact humain sauf très léger.
lb	Généralement de vastes aires intactes ou légèrement modifiées, qui ont conservé leur caractère et leur influence naturels, sans habitations humaines permanentes significatives, qui sont protégées et gérées aux fins de préserver leur état naturel.	Protéger à long terme l'intégrité écologique d'aires naturelles qui n'ont pas été modifiées par des activités humaines importantes, dépourvues d'infrastructures modernes, et où les forces et les processus naturels prédominent, pour que les générations actuelles et futures aient la possibilité de connaître de tels espaces.
II	Vastes aires naturelles ou quasi naturelles mises en réserve pour protéger des processus écologiques de grande échelle, ainsi que les espèces et les caractéristiques des écosystèmes de la région, qui fournissent aussi une base pour des opportunités de visite de nature spirituelle, scientifique, éducative et <i>récréative, dans le respect de l'environnement et de la culture des communautés locales.</i>	Protéger la biodiversité naturelle, la structure écologique et les processus environnementaux sous-jacents ; promouvoir l'éducation et les loisirs.
III	Aires protégées qui sont mises en réserve pour protéger un monument naturel spécifique, qui peut être un élément topographique, une montagne ou une caverne sous-marine, une caractéristique <i>géologique telle qu'une grotte ou même un élément vivant</i> comme un îlot boisé ancien. Ce sont généralement des aires protégées assez petites et <i>elles ont souvent beaucoup d'importance pour les visiteurs.</i>	Protéger des éléments naturels exceptionnels spécifiques ainsi que la biodiversité et les habitats associés.
IV	Aires qui visent à protéger des espèces ou des habitats particuliers, et leur gestion reflète cette priorité. De nombreuses aires protégées de la <i>catégorie IV ont besoin d'interventions régulières et actives pour répondre aux exigences d'espèces particulières ou pour maintenir des habitats, mais cela n'est pas une exigence de la catégorie.</i>	Maintenir, conserver et restaurer des espèces et des habitats.
V	<i>Une aire protégée où l'interaction des hommes et de la nature a produit, au fil du temps, une zone qui possède un caractère distinct, avec des valeurs écologiques, biologiques, culturelles et paysagère considérable, et où la sauvegarde de l'intégrité de cette interaction est vitale pour protéger et maintenir</i>	Protéger et maintenir d'importants paysages terrestres ou marins, la conservation de la nature qui y est associée, ainsi que d'autres valeurs créées par les interactions avec les hommes

	la zone, la conservation de la nature associée ainsi que d'autres valeurs.	et leurs pratiques de gestion traditionnelles.
VI	Aires protégées qui préservent des écosystèmes et des habitats, ainsi que les valeurs culturelles et les systèmes de gestion des ressources naturelles traditionnelles qui y sont associés. Elles sont généralement vastes, et la plus grande partie de leur superficie présente des conditions naturelles : une certaine proportion y est soumise à une gestion durable des ressources naturelles, non industrielles et compatibles avec la conservation de la nature, y est considérée comme l'un des objectifs principaux.	Protéger des écosystèmes naturels et utiliser les ressources naturelles de façon durable, lorsque conservation et utilisation durable peuvent être mutuellement bénéfiques.

Il existe donc tout un panel d'AMP selon les caractéristiques écologiques, biologiques, culturelles et sociales et il en découle des formes de gestion différentes, du tout restrictif à la gestion intégrée des territoires et des usages.

Au cours de la Convention sur la Diversité Biologique (CBD) en 2010, les états membres se sont fixé d'atteindre les 20 objectifs d'Aïchi (du nom de la ville Japonaise où s'est déroulée la convention). L'objectif 11 est qu'au moins 10 % des zones marines et côtières soient conservés au moyen de réseaux d'aires protégées pour 2020. Arrivant au terme de cette période, les eaux mondiales contiennent actuellement 17 237 AMP, ce qui représente 7,45 % des océans. Cependant lorsque l'on regarde le pourcentage d'aires gérées efficacement, ce chiffre descend à 1 % (UNEP-WCMC & IUCN, 2020). Les créations des AMP étant assez récentes pour la plupart, la gestion tarde à se mettre en place. De façon intéressante, 17,27 % des eaux nationales contre 1,18 % des eaux internationales sont en AMP. En effet, la création dans les eaux internationales requiert un cadre légal plus complexe, mais celles-ci constituent 61 % des océans mondiaux. Cela montre que les états, pris individuellement, ont dépassé largement l'objectif des 10 % en ce qui concerne leur Zone Economique Exclusive (ZEE) (UNEP-WCMC & IUCN, 2020).

Alors que les AMP n'ont généralement pas pour but premier d'être un outil de gestion de la pêche, leur rôle dans la gestion des écosystèmes peut contribuer à la protection et la reconstruction des stocks menacés par la pêche (Gaines et al., 2010). Les changements dans l'abondance, la biomasse, les fréquences de taille des poissons et la composition des espèces fournissent des éléments de comparaison qui permettent de voir les évolutions positives (Stobart et al., 2009). De plus, si l'AMP protège une zone de frayère ou une zone à forte concentration de juvéniles, son efficacité est démontrée (Murawski et al., 2000). Edgar et al. (2014) ont montré, en étudiant 87 AMP différentes, que l'efficacité d'une zone protégée augmente en accumulant 5 facteurs : (1) qu'elle soit complètement fermée à la pêche, (2) que la loi y soit appliquée, (3) qu'elle ait été créée depuis plus de 10 ans, (4) qu'elle soit plus grande

que 100 km² et, (5) qu'elle soit isolée. Ainsi, il ne suffit pas délimiter la zone, mais bien d'optimiser sa gestion.

Dans le cas de réserves complètement fermées à la pêche, il a été démontré que les pêcheurs bénéficient tout de même des effets bénéfiques grâce au phénomène de débordement (« spillover ») (Roberts et al., 2001 ; Forcada et al., 2008 ; Goñi et al., 2008). L'augmentation de biomasse au sein de l'aire protégée se déverse sur les zones adjacentes et permet d'augmenter les captures des pêcheurs. Cet effet bénéfique est parfois mitigé si le stock était déjà en bonne santé, mais l'amélioration des captures des pêcheurs est plus probante lorsque les stocks étaient très mal gérés et en déclin sévère avant la création de l'aire protégée (Buxton et al., 2014). La distance à l'AMP à laquelle le phénomène de débordement est observé dépend des espèces pêchées et de leur mobilité. Elle se situe entre des dizaines ou même des centaines de kilomètres pour des espèces mobiles, dans des systèmes tels que des estuaires, des récifs rocheux et des plateaux continentaux (Gell & Roberts, 2003). Ce phénomène s'accompagne d'un déplacement des pêcheurs et il a souvent été observé que l'effort de pêche se concentrait juste aux frontières des AMP (Stobart et al., 2009 ; Van Der Lee et al., 2013). Les déplacements de l'effort et surtout la concentration dans un endroit peuvent menacer des zones de surpêche, là où il n'y avait pas de risque avant (Halpern et al., 2004).

Concernant la pêche artisanale spécifiquement, il a été constaté que les AMP peuvent mener à des changements radicaux des pratiques de pêche, où certains métiers disparaissent, d'autres apparaissent et les pêcheurs changent leurs techniques de pêche pour s'adapter à leurs nouvelles zones. Les risques inhérents peuvent être la perte de la connaissance traditionnelle des techniques de pêche et de l'écologie de la zone (Mallol & Goñi, 2019). Et puis, en pêche artisanale, les facteurs socio-économiques ont plus d'influence et de conséquences : si la quantité de poisson pêchée augmente, cela peut aussi déstabiliser un équilibre social. Cela est particulièrement vrai en Afrique, où la création d'AMP a entraîné la surpêche dans d'autres zones (Ba et al., 2019). Dans d'autres cas, la perte de territoire et la restriction de l'accès ont amené de l'insécurité alimentaire et la perte de revenus. C'est pourquoi il est fondamental d'inclure des indicateurs sociaux dans la planification et dans le suivi des AMP côtoyées par de la pêche artisanale (Sowman & Sunde, 2018). L'analyse socio-économique se doit de dépasser les communautés proches de la nouvelle AMP, car l'augmentation de ressources pour ces communautés peut déstabiliser le marché régional ou national et défavoriser les communautés qui ne profitent pas des bienfaits de l'AMP (Weigel et al., 2018).

Malgré ces risques, le bilan d'une aire marine protégée est souvent positif pour les pêcheurs artisans : en général, la sécurité alimentaire reste stable ou augmente, la capacité des communautés à s'approprier la ressource augmente, ce qui entraîne une augmentation du respect de la législation. Concernant, le bien-être social et le pouvoir politique au sein des communautés, les impacts peuvent être variés, positifs comme négatifs (Mascia et al., 2010).

2.3. Le contexte gabonais

Le Gabon est un pays d'Afrique Centrale situé dans le golfe de Guinée et traversé par l'Equateur. Il est bordé par la République du Congo au sud et à l'est, et par le Cameroun et la Guinée Equatoriale au nord. Il a une superficie de 276 667 km² dont un peu plus des deux tiers sont recouverts de forêts. Les eaux marines longent un littoral d'environ 955 km. Elles couvrent un plateau continental avec des fonds de moins de 200 m de profondeur et une surface approximative de 41 900 km² (Figure 3). La ZEE (Zone Economique Exclusive) a une superficie de 191 944 km² (Pottier et al., 2016).



Figure 3 : Localisation du Gabon, sa zone économique exclusive et le plateau continental

La population gabonaise est estimée à 2 230 908 habitants en 2020, la moitié vivant dans les 2 plus grandes villes du pays : Libreville et Port-Gentil. L'économie gabonaise est fortement tributaire des hydrocarbures et des ressources naturelles (manganèse et bois). Grâce au pétrole et à la faible population, le pouvoir d'achat moyen gabonais est, historiquement, très sensiblement supérieur à celui des pays d'Afrique subsaharienne ; le revenu national brut par habitant s'établit en 2019 à 7 210 US\$ à comparer aux 1 550 US\$ de l'Afrique subsaharienne. Néanmoins l'inégalité dans la répartition des richesses fait que presque un tiers de la population est considérée comme atteinte par la pauvreté (BAD, 2016 ; PNUD, 2016).

La contribution au PIB gabonais est estimée, pour l'ensemble de la pêche, la foresterie et l'agriculture gabonaise, à 5,7 % (World Bank, 2020), avec une population active de seulement 21 700 personnes (dont env. 3.000 pêcheurs côtiers artisanaux et env. 5.000 pêcheurs continentaux), mais la consommation de poisson par personne est de 44,6 kg par an, ce qui est très élevé par rapport aux pays voisins (Béné & Heck, 2005), et les produits halieutiques sont une source nutritive essentielle correspondant à 40 % des protéines animales consommées par les habitants (DGPA, 2016). Par ailleurs, la couverture de la consommation nationale de poisson, qui était totale à la fin du siècle dernier, n'est assurée qu'à un peu plus de 50 %. Le solde est assuré par des importations (COFREPECHE, 2010).

2.3.1. Histoire de la pêche maritime et côtière au Gabon

Le Gabon étant un pays à tradition orale, il est difficile de trouver des documents ou témoignages concernant la pêche et l'utilisation de la côte avant l'arrivée des Européens. C'est en 1472 que les Portugais accostent pour la première fois au Gabon. Il s'ensuit plusieurs vagues d'explorateurs européens. A cette époque, l'histoire du rapport des peuples africains à la mer et à la côte est souvent décrite de manière typique, voire caricaturale, de relations d'évitement ou de répulsion (Chauveau, 1986). Cependant, si le Gabon est très peu peuplé, des peuples côtiers y sont déjà présents et leurs activités ne sont pas décrites. A partir de 1839, le territoire est progressivement colonisé par les Français et le Gabon fait partie intégrante de l'empire colonial français en 1886 et est rattaché à l'Afrique-Equatoriale Française en 1910. C'est à partir de cette époque que l'on commence à avoir des documents sur les activités de pêche européennes et autochtones.

2.3.1.1. La pêche artisanale

Les années 1900

Ainsi, aux débuts des années 1900, la pêche artisanale est exclusivement autochtone. Elle est décrite par (Stephan, 1906) : « Les habitants des villages côtiers se livrent volontiers à la pêche, presque toujours d'une manière un peu accidentelle ; c'est seulement à Libreville et à Loango que l'on trouve quelques véritables professionnels. » Au sud de Port-Gentil, la pêche est quasi-inexistante du fait des risques de traverser les embouchures des fleuves et lagunes, sauf en baie de Mayumba et dans la région de Loango, où « les pêcheurs loangos s'aventurent jusqu'à deux milles en mer ».

Concernant les outils de pêche, l'auteur décrit les pirogues et les engins de pêche :

« Les embarcations sont des pirogues de petite taille ; au Gabon elles sont montées au plus par quatre hommes ; elles sont manœuvrées à la pagaie ou pourvues d'une voile carrée ; à Mayumba, Banda, elles sont minuscules et montées par un seul indigène. Les pêcheurs les fabriquent généralement eux-mêmes ; elles sont creusées dans les troncs de divers arbres, de préférence d'okoumé. »

« Chacun se fabrique aussi les engins qui lui sont nécessaires ; les fibres d'ananas et de bananier, l'écorce de certaines lianes et de certains arbres fournissent des textiles très souples utilisés pour la confection des filets et des lignes ; ils sont remplacés parfois par du fil acheté dans les factoreries. Des hameçons sont importés en petite quantité : 91 kilogrammes en 1903, 72 kilogrammes en 1904. La pêche à l'hameçon se fait à la ligne de fond ou à la ligne traînante. La pêche à l'épervier, qui est d'importation européenne, est très pratiquée ; les indigènes, qui y sont très habiles, capturent ainsi surtout les mulets sur les bancs de sable, à une faible profondeur. Les filets les plus employés sont des sortes de sennes, de 40 à 50 mètres de long, 1,5 mètre de large, que l'on traîne par leurs deux extrémités. ».

Le temps des migrations

C'est l'arrivée, dans les années 1950, de migrants d'Afrique de l'Ouest qui va complètement changer le visage de la pêche artisanale maritime au Gabon (Figure 4).

Les premiers pêcheurs nigériens, de l'ethnie yoruba, seraient arrivés en 1952 et les Ijaws en 1958. Le premier Béninois, un Popo, serait arrivé en 1962. Depuis leur installation au Gabon, ils ont encouragé des parents et les amis de leurs villages à les rejoindre (Haakonsen & Diaw, 1991). C'est ainsi que la population de pêcheurs migrants augmente progressivement.

La seconde vague importante de migrations datant des années 70-80 concerne les communautés nigérianes et béninoises, qui se sont installées à Libreville et dans sa périphérie sud (Badjina Egombengani, 2011). Les pêcheurs qui étaient partis du Gabon pour le Nigéria

en relation avec la guerre du Biafra sont revenus au Gabon en 1972. Pour les Béninois il y eut une situation semblable en 1978 quand les pêcheurs ont dû quitter le Gabon à cause des problèmes politiques entre le Bénin et le Gabon. Après un bref séjour au Bénin les pêcheurs ont été autorisés à revenir au Gabon. Tous ces pêcheurs sont venus avec l'espoir d'y trouver une meilleure vie ou, plus précisément, d'y obtenir plus d'argent que dans leur pays d'origine (Haakonsen & Diaw, 1991).

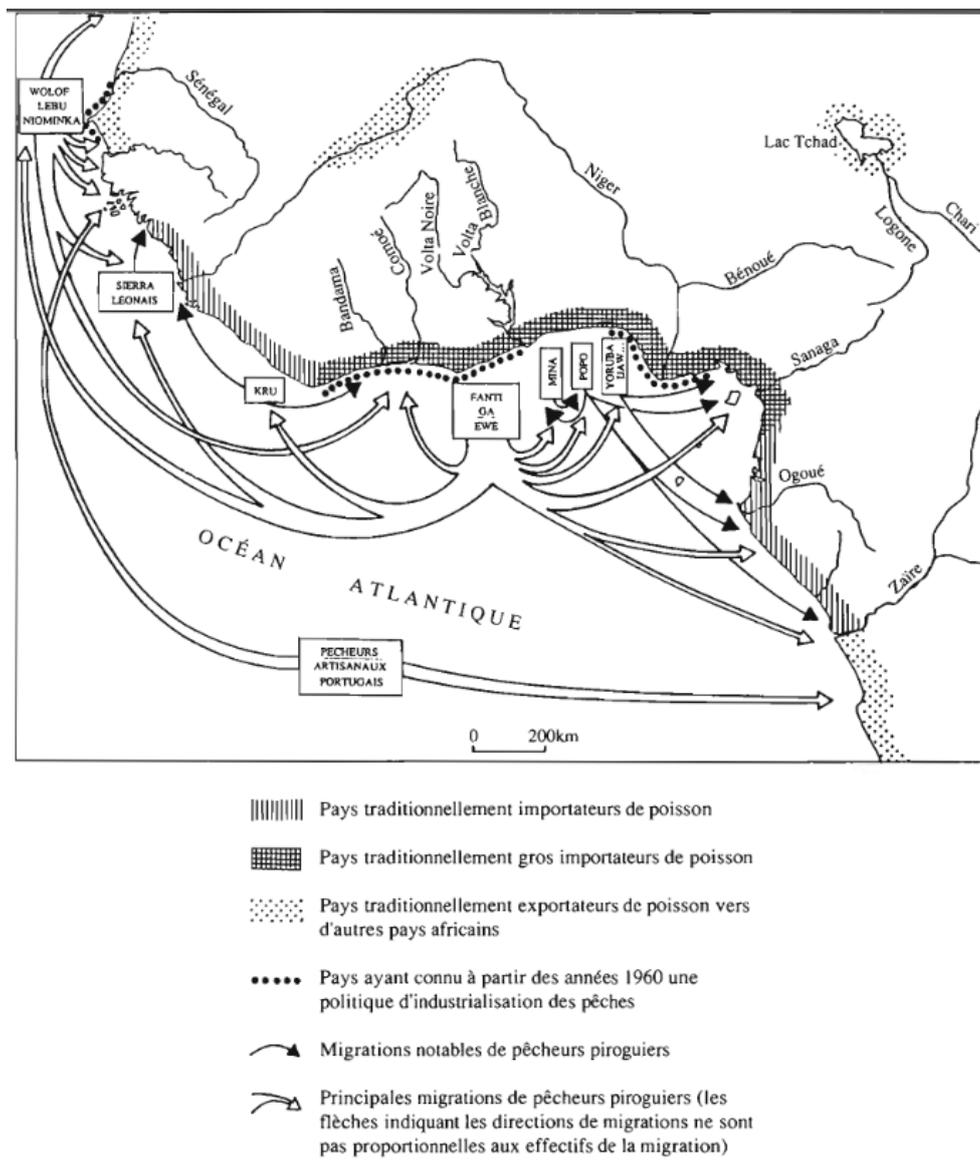


Figure 4 : Les migrations des pêcheurs artisans (Chauveau, 1991b)

De manière générale, la flottille de la pêche artisanale maritime a connu un développement important au cours de cette période. La flottille connaît une hausse régulière et la FAO et la Direction Générale des Pêches Maritimes et des Cultures Marines avançaient, pour 1992, le chiffre de 900 pirogues et 2500 marins-pêcheurs (Bignoumba, 1998). Toutes les zones maritimes ont connu une hausse du parc piroguier (Ekouala, 2013). Dans les années 90, la

production maritime artisanale était estimée à 12 000 ou 13 000 tonnes (Haakonsen & Diaw, 1991).

Parallèlement à l'augmentation du parc piroguier, la pêche artisanale s'est caractérisée par une hausse importante de sa puissance motrice. En effet, pour disposer d'une plus grande autonomie en mer et exploiter des zones difficilement accessibles à la rame ou à la voile, les pêcheurs artisans ont progressivement acquis des moteurs hors-bord de plus en plus puissants. Le moteur est d'abord entré au Gabon via les Européens puis il s'est généralisé avec son utilisation par les pêcheurs venus d'Afrique de l'Ouest dans les années 70 (Sabinot, 2008). Cet engin coûteux a été rapidement adopté par les rares autochtones qui en avaient les moyens, il a parfois été offert comme « cadeau politique », puis certains pêcheurs gabonais ont réussi à progressivement se constituer une épargne suffisante pour se l'approprier (Ekouala, 2013).

A partir de 1995 est créée la Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture. Sa mise en place permet un suivi de l'activité et des captures plus régulier et plus fiable.

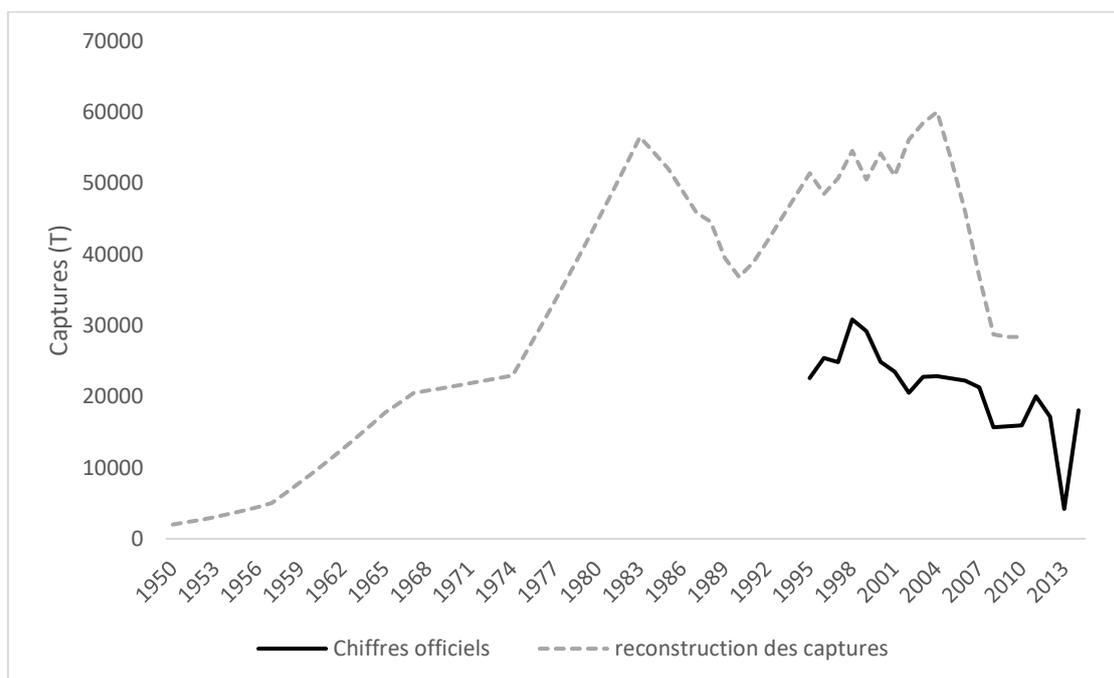


Figure 5 : Evolution des captures en pêche artisanale selon les chiffres de l'administration des pêches (trait plein) (à partir de COFREPECHE, 2011 ; El Ayoubi et Failler, 2013 ; DGPA, 2015) et selon une reconstruction des captures (trait en pointillé) (Belhabib, 2015)

Selon les données collectées par l'administration des pêches, la Figure 5 montre que les captures de la pêche artisanale diminuent globalement entre 1995 et 2014. L'année 2013 est

particulière dans le sens où la Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture n'a pas pu réaliser correctement le suivi des débarquements, suite à l'arrêt du financement étatique des enquêteurs de terrain. Ce chiffre des captures de cette année, s'il fait partie des publications officielles du gouvernement, ne reflète certainement pas la réalité. Sans tenir compte de cette année, les valeurs s'étendent entre 30 844 et 15 666 tonnes par an. Ces données incluent la pêche maritime et continentale. En parallèle, Belhabib (2015) a effectué une reconstruction des captures grâce à la littérature existante et en interpolant pour les années manquantes, en prenant en compte le nombre d'embarcations et les Captures par Unités d'Effort (CPUE). Cela permet d'avoir des données antérieures, jusqu'à 1950. Dans ce cas, les captures annuelles augmentent progressivement entre 1950 et 1983, pour atteindre un pic de 56 500 tonnes puis diminuent jusqu'en 1990. Il y a un second pic de 60 000 tonnes en 2004, suivi d'une diminution rapide à 28 400 tonnes en 2010, principalement due à la surexploitation (Belhabib, 2015).

Selon la source d'information, les chiffres vont du simple au double (pour la reconstruction) et les augmentations ou diminutions entre les années ne concordent pas. Ces différences peuvent s'expliquer par différents biais : dans la méthode de reconstruction des captures, l'effort de pêche et la CPUE sont considérés les mêmes pour toutes les embarcations, or nous verrons par la suite que les différentes techniques de pêche impliquent des efforts et des captures qui peuvent être très différents. Du côté des chiffres officiels, les biais inhérents à cette méthodologie sont dus aux limitations de l'administration qui ne peut pas faire un suivi exhaustif des débarquements et procède donc par échantillonnage. C'est ici l'effort de pêche qui peut être sous-estimé, avec des débarquements dispersés et parfois nocturnes et la limitation du nombre d'enquêteurs. Quoiqu'il en soit, les deux sources d'informations s'accordent sur le fait que les captures diminuent depuis les années 2000 et donnent une fourchette des captures annuelles nationales au cours des 20 dernières années, entre 15 000 et 60 000 tonnes.

Belhabib (2015) mentionne également les captures de la pêche de subsistance qui ne sont pas comptabilisées. Ces dernières, ne dépassant pas 3 000 tonnes jusqu'en 1963, atteignent un pic en 2005, à 8 200 tonnes avant de redescendre à moins de 4 000 tonnes en 2010.

2.3.1.2. La pêche industrielle

La pêche industrielle est apparue au Gabon à la fin du XIXe siècle, avec la chasse à la baleine qui se pratiquait au large de Port-Gentil (Bignoumba, 1998).

Vers 1912, huit compagnies européennes exploitaient les cétacés devant les côtes gabonaises. L'exploitation baleinière sur les côtes de l'Afrique-Equatoriale Française a suivi un rythme constant : des périodes de chasse de 3 ou 4 ans étaient suivies de temps morts variables, portant sur plusieurs années consécutives jusqu'en 1951 (Budker & Collignon, 1952).

Dans la première moitié du siècle s'installe une pêche de type européenne, notamment de la pêche au chalut, la pêche à la baleine et la pêche au requin. En 1922, les sociétés de pêche franco-norvégiennes « Congo » et « Gabon » vont s'installer et s'établir dans la baie du Prince, à 12 kilomètres au nord-ouest de Port-Gentil et se livrer tous les ans pendant quatre mois à la pêche à la baleine. Le chalutier « Pointe-Noire » est le premier à avoir effectué sa première marée dans les eaux de l'Afrique-Equatoriale Française en 1948. La pêche au requin avait été entreprise en vue de l'approvisionnement de l'usine d'extraction d'huile de foie établie au Cap Lopez en 1951 (Badjina Egombengani, 2011).

Les thonidés sont exploités dans le golfe de Guinée à partir des années 60, à l'aide de canneurs et senneurs. De nombreux pays ont exercé cette activité dans la zone : français, espagnols, russes, japonais, américains, canadiens, etc. (Fonteneau & Marcille, 1988). Des accords thoniers sont passés avec la Chine à partir de 2003 et avec le Japon en 2002 (Bignoumba, 2007).

Dans les années 90, la pêche industrielle débarque près de 8 000 tonnes de poisson (plus de 1 600 ou 1 700 tonnes de crevettes). Les patrons de pêche qui dirigent aussi la plupart des chambres froides à Libreville affirment qu'ils tirent plus de bénéfice en important du poisson qu'en pêchant (Haakonsen & Diaw, 1991).

Pour l'année 1995, par exemple, il y avait 111 bateaux de pêche, répartis de la manière suivante : 29 chalutiers-crevettiers, 35 chalutiers-poissonniers, 34 chalutiers-thoniers et 12 cordiers-glaciers. Du total de cette flottille, les navires battant pavillon du Gabon et y débarquant leurs produits sont au nombre de 45. En 1997, moins du quart de la flottille nationale se trouvait encore en activité. Cette baisse est due à une flotte vieillissante qui n'est pas renouvelée (Bignoumba, 1998). En 2014, la flotte industrielle se résume à 67 navires, dont 40 chalutiers et 27 thoniers, toutes nationalités confondues (DGPA, 2015).

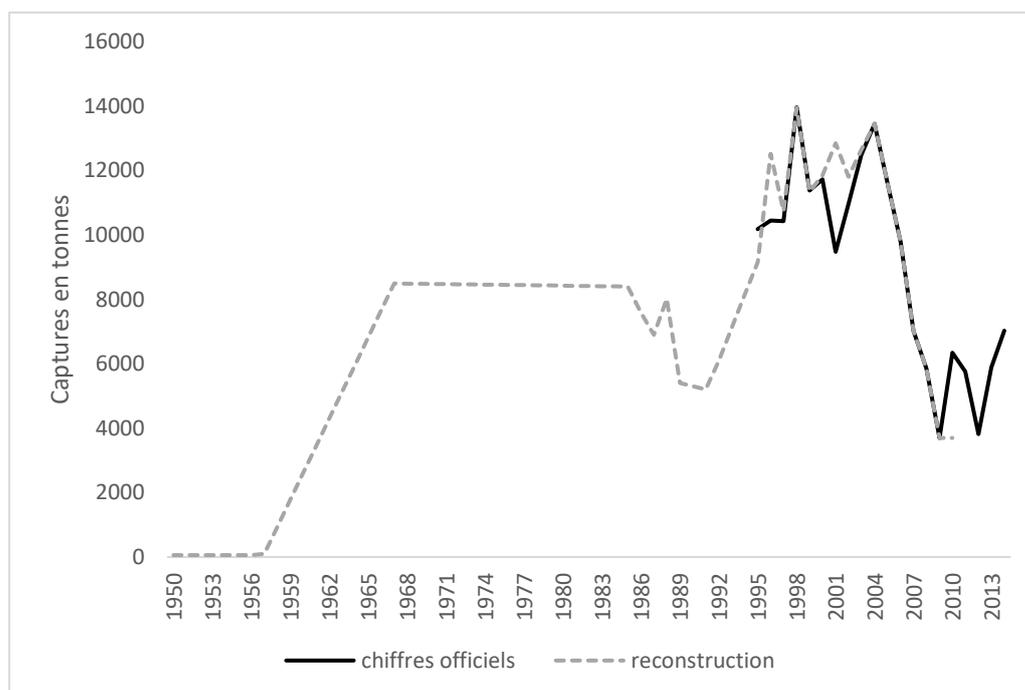


Figure 6 : Evolution des captures domestiques en pêche industrielle selon les chiffres de l'administration des pêches (*trait plein*) (à partir de COFREPECHE, 2011; DGPA, 2015; El Ayoubi & Failler, 2013) et selon une reconstruction des captures (*trait en pointillé*) (Belhabib, 2015)

La figure 6 montre que les chiffres officiels de captures industrielles domestiques sont assez similaires avec ceux de l'exercice de reconstruction des captures de (Belhabib, 2015). Les captures augmentent progressivement jusqu'en 1964 puis atteignent un plateau de 9 000 tonnes jusqu'en 1984. Les chiffres baissent à 5 200 tonnes jusqu'au début des années 90 puis remontent avec un pic de 13 964 tonnes en 1998. A partir de 2005, la production baisse brutalement pour atteindre un niveau entre 4 000 et 7 000 tonnes jusqu'en 2014.

Concernant les captures étrangères, les chiffres officiels font état de la flotte thonière. COFREPECHE et al. (2015) ont estimé les captures annuelles en se basant sur les déclarations faites à la Commission Internationale pour la Conservation des Thonidés de l'Atlantique (CICTA), par zone géographique de 1° de longitude et latitude. Les auteurs considèrent que c'est une précision suffisante étant donné la taille de la ZEE gabonaise et que la comparaison des chiffres estimés par cette méthode avec les déclarations officielles des captures dans la ZEE montre une erreur potentielle inférieure à environ 5 %.

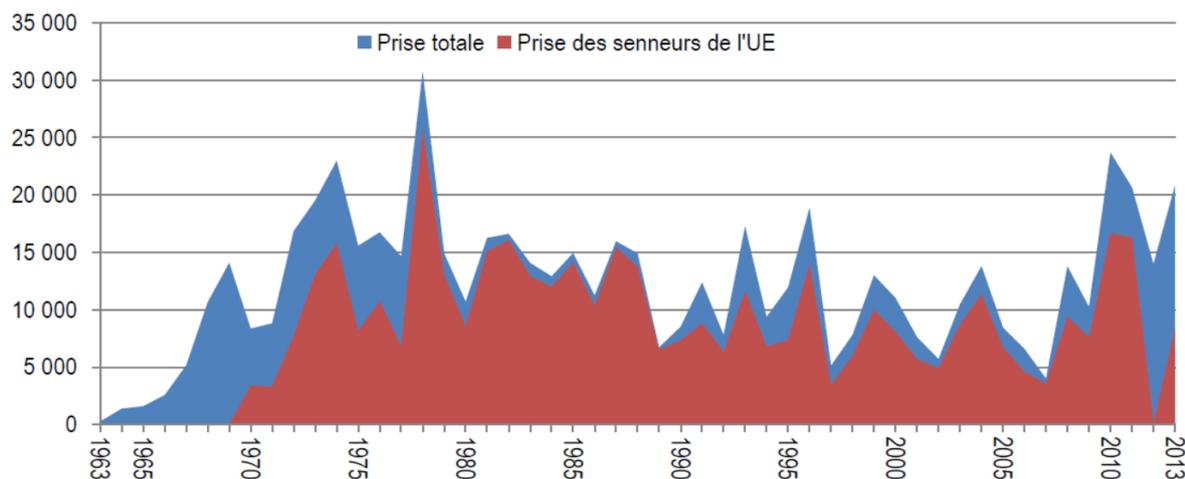


Figure 7 : Estimation des captures totales annuelles (T) de thons majeurs dans la ZEE du Gabon (captures du Ghana non incluses) et des prises des *senneurs de l'UE* (COFREPECHE et al., 2015)

La figure 7 montre les variations des captures de thons majeurs déclarées entre 1963 et 2013, avec de nombreuses variations. Les prises annuelles de thons estimées dans la ZEE atteignent ainsi une moyenne d'environ 13 300 tonnes par an depuis 1970, et de 13 600 tonnes dans la dernière décennie, sans prendre en compte les prises du Ghana qui seraient voisines de 2 500 tonnes par an dans la période récente (COFREPECHE et al., 2015). Ainsi, la ZEE du Gabon est dans l'Atlantique Est, celle qui, sur cette période, a été en moyenne, et de loin, la plus productive en thons : les prises moyennes estimées sont très largement supérieures aux prises moyennes estimées par la même méthode, dans la dernière décennie, en Mauritanie (7 400 tonnes), en Angola (5 600 tonnes), en Guinée Equatoriale (5 100 tonnes) ou au Liberia (4 700 tonnes).

Lors de la reconstruction des captures en pêche industrielle, Belhabib (2015) fait état de plusieurs types de captures « oubliées » dans les chiffres officiels :

- Il s'agit d'abord d'une part de la production « domestique » réalisée par des navires chinois, battant pavillon gabonais. Cette flotte, arrivée en 1985, utilisait des chalutiers crevettiers et ne déclaraient que leurs captures en crevettes, or les rejets de cette pêcherie sont extrêmement élevés et l'auteur estime la sous-estimation de 50 %. D'autre part, cette même flotte est soupçonnée de ne pas débarquer intégralement ses prises au Gabon (notamment par transbordement).
- Concernant les captures étrangères, outre la pêche thonière, l'auteur mentionne des navires étrangers pratiquant également du chalutage, notamment des navires chinois battant pavillon congolais (Figure 8).

- La pêche illégale étrangère, qui a été démontrée grâce à plusieurs arrestations. Selon le nombre de navires arraisonnés sur une période donnée et les captures trouvées dans les cales, les captures illégales sont estimées à 14 356 tonnes par an (Figure 8).
- Les rejets, des pêcheries autres que crevettières peuvent être également importants, notamment en pêche thonnière. L'auteur a utilisé des pourcentages de rejets trouvés dans d'autres pays.

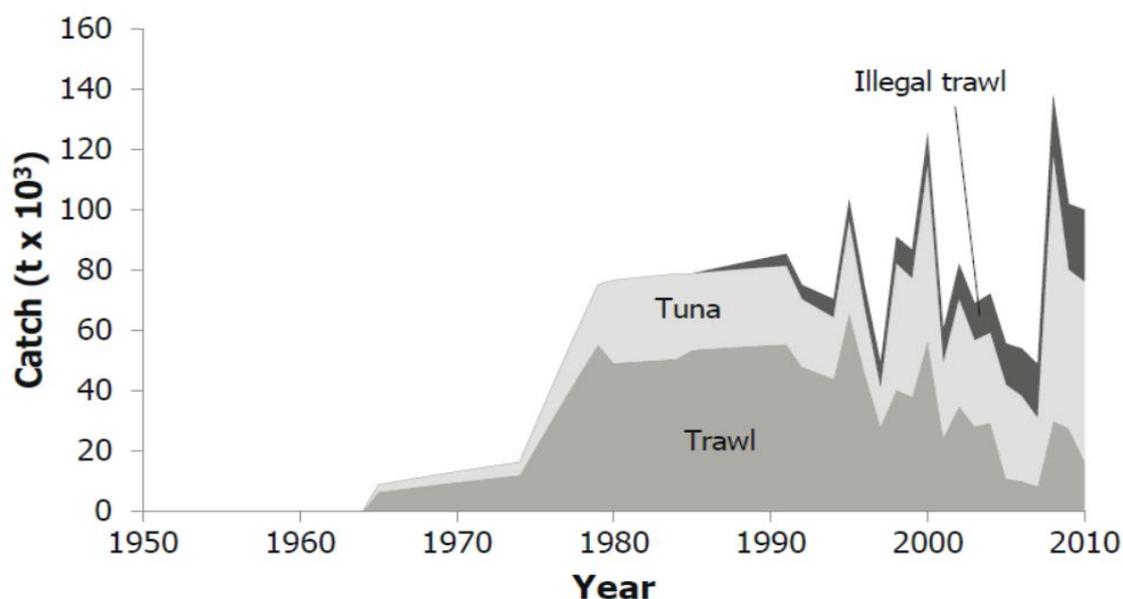


Figure 8 : Reconstruction des captures totales étrangères au Gabon (en milliers de tonnes), entre 1950 et 2010 (Belhabib, 2015)

2.3.1.3. Les espèces pêchées

Concernant les espèces pêchées par la pêche domestique (incluant industrielle, artisanale et de subsistance), ce sont environ 70 groupes taxonomiques qui sont pêchés. C'est l'espèce *Ethmalosa fimbriata* qui domine largement, suivi par le genre *Pseudolithus* (Figure 9 b) (Belhabib, 2015).

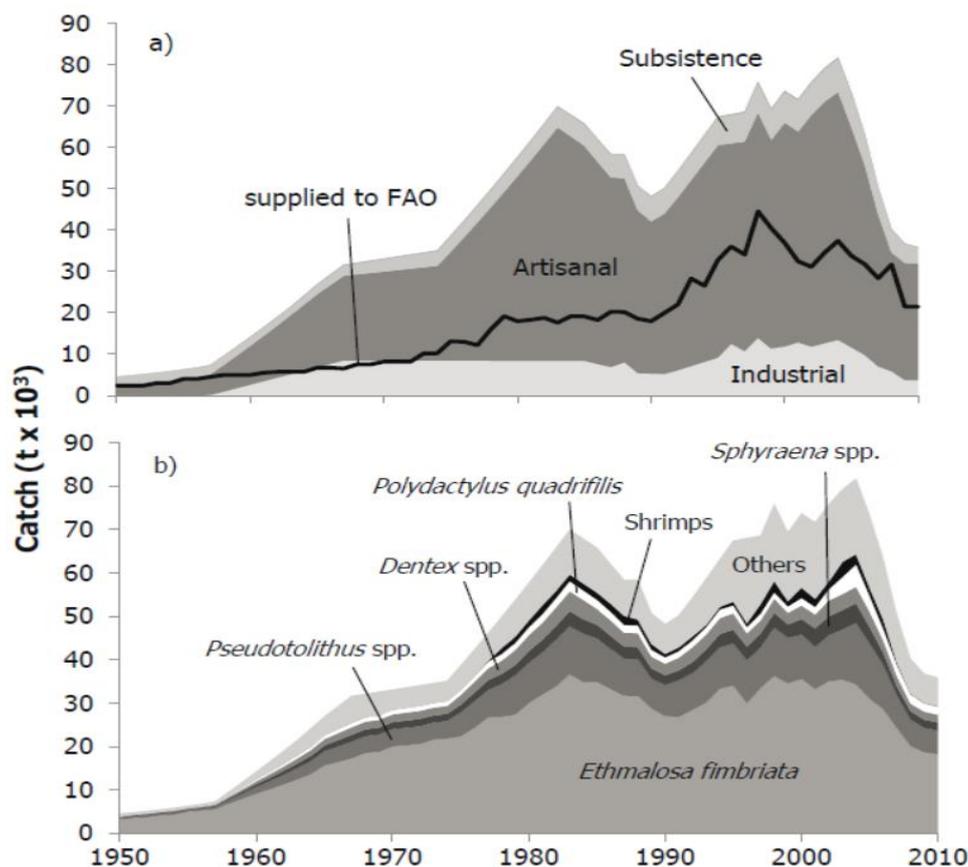


Figure 9 : Reconstruction des captures domestiques totales a) par secteur au Gabon, avec en trait plein, les données fournies à la FAO (les rejets sont inclus dans le graphique) ; b) la composition taxonomique au Gabon. « Others » inclut 55 catégories taxonomiques supplémentaires. (Belhabib, 2015)

Il est intéressant de voir sur la Figure 9a, la synthèse des données reconstruites, décrites précédemment. Les captures totales y sont 2,5 fois supérieures aux données fournies à la FAO par l'administration des pêches. Ce graphique permet de comprendre pourquoi l'ethmalose domine les captures, car, elle est la capture majoritaire de la pêche artisanale et c'est ce type de pêche qui extrait la grande majorité des captures domestiques.

Pour la pêche thonière, les principales espèces rencontrées et exploitées dans les eaux gabonaises sont le thon listao (*Katsuwonus pelanis*), le thon albacore (*Thunus albacares*), le thon obèse (*Thunus obesus*), les marlins (*Makaira* sp. et *Tetrapturus* sp.) et l'espadon (*Xiphias gladius*) (COFREPECHE, 2011). De manière globale, les captures sont principalement dominées par l'Albacore et le Listao (DGPA, 2015).

2.3.2. La gestion des pêches au Gabon

2.3.2.1. Les organes de gestion

La gestion étatique de la pêche artisanale maritime au Gabon est attachée à la Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture. Cette Direction est rattachée au Ministère de

l'Agriculture, de l'Elevage, de la Pêche et de l'Alimentation depuis janvier 2019. Cependant, elle a connu des changements de rattachements réguliers, au gré des gouvernements (Tableau 4).

Tableau 4 : Evolution chronologique de l'organe étatique chargé de la gestion des pêches au Gabon (DGPA, 2016)

Intitulé	Département	Texte juridique
Service des Pêches et de l'Aquaculture	Ministère de l'Agriculture et des Eaux et Forêts	Décret n°0258/PR du 20 novembre 1961
Service des Pêches et de l'Aquaculture	Ministère des Eaux et Forêts	Décret n°0030/PR/MEF du 24 janvier 1968
Direction des Pêches Maritimes et de Cultures Marines	Ministère des Eaux et Forêts	Décret n°1746/PR/MEF du 29 décembre 1983
Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture	Ministère des Transports, de la Marine Marchande, de la Pêche, du Tourisme et des Parcs Nationaux	Décret n°1260/PR/MTMMPTPN du 9 novembre 1995
Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture	Ministère de la Marine Marchande et de la Pêche	Décret n°000136/PR du 27 janvier 1997 fixant la composition du gouvernement
Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture	Ministère des Eaux et Forêts, de la Pêche chargé du Reboisement	Décret n°163/PR du 23 janvier 1999 fixant la composition du gouvernement
Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture	Ministère de l'Economie Forestière, des Eaux, de la Pêche chargé de l'Environnement et de la Protection de la Nature	Décret n°00127/PR du 26 janvier 2002 fixant la composition du gouvernement
Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture	Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage, de la Pêche et du Développement Rural	Décret n°804/PR du 19 octobre 2009 fixant la composition du gouvernement
Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture	Ministère de la Forêt, de la Mer et de l'Environnement	Décret n°000150/PR/PM du 4 mai 2018 fixant la composition du gouvernement

La création de la DGPA en 1995 a permis d'avoir un suivi de la pêche plus régulier et fiable. C'est à partir de cette année que les estimations des captures totales annuelles en pêche artisanale et en pêche industrielle deviennent régulières (Figure 5 et Figure 6). Son rôle est de concevoir et de suivre la mise en œuvre de la politique du Gouvernement en matière de pêche et d'aquaculture. Pour cela, elle est découpée en quatre directions :

- la Direction des Pêches Maritimes ;
- la Direction des Pêches Continentales et de l'Aquaculture ;
- la Direction des Evaluations et des Aménagements ;
- la Direction de la qualité et des Industries de Transformation des Produits Halieutiques.

De façon pratique, c'est la DGPA qui délivre les autorisations et licences de pêche, élabore les plans d'aménagement, dresse les procès-verbaux des infractions, prélève des taxes.

A un plus haut niveau, le Conseil National de la Mer est créé en septembre 2014. Il est rattaché à la Présidence et constitue un organe d'appui à la conception et à la coordination de la politique de la mer. Il rassemble ainsi tous les ministères qui sont liés au domaine maritime. Il est notamment chargé de concevoir et coordonner l'action gouvernementale en matière :

- De délimitation, d'aménagement et de sécurité du domaine maritime, fluvial et lagunaire du Gabon ;
- D'aménagement et de protection de l'environnement marin, fluvial et lagunaire ;
- De gestion durable et optimale des ressources halieutiques, pétrolières et minières ;
- De transport et commerce maritime, fluvial et lagunaire.

2.3.2.2. La gestion dans les textes juridiques

Définitions

Dans le code des pêches et de l'aquaculture de 2005, les notions discutées précédemment sont définies ainsi :

- **« Pêche maritime.** *C'est l'activité de pêche pratiquée dans les eaux maritimes nationales incluant notamment la zone économique exclusive, la mer territoriale et les eaux intérieures marines ;* »
- **« Pêche continentale.** *C'est l'activité de pêche pratiquée dans les eaux continentales relevant du domaine public de l'Etat incluant notamment les rivières, les fleuves, les lacs, les lagunes, les estuaires et les embouchures situés à l'intérieur d'une ligne définie conformément aux dispositions et normes techniques nationales et communautaires en vigueur ;* »

Un mélange de définitions apparaît ici, avec d'un côté l'aspect géographique, où les eaux intérieures marines sont en pêche maritime, mais les lagunes et estuaires se retrouvent également en pêche continentale. Le texte simplifie la séparation en mentionnant une ligne définie dans les textes d'application et, d'un point de vue juridique, c'est cette ligne qui sépare

le marin du continental au Gabon. Il s'agit ici de la ligne de base, notion commune à tous les états côtiers, qui sépare les eaux intérieures des eaux territoriales.

La ligne de base est définie dans le décret N° 0579/PR/MPE du 30 novembre 2015, fixant les modalités et conditions d'exercice de la pêche. Elle est appelée ligne de référence et sert d'origine au découpage de l'espace aquatique gabonais. Ce même texte de loi définit 5 zones :

- « *La première zone comprend toutes les eaux continentales jusqu'aux embouchures des fleuves, lagunes et baies avec son extérieur délimité par la ligne de référence.*
- *La deuxième zone s'étend trois milles marins au-delà de la limite extérieure de la première zone.*
- *La troisième zone s'étend trois milles marins au-delà de la limite extérieure de la deuxième zone.*
- *La quatrième zone s'étend six milles marins au-delà de la limite extérieure de la troisième zone.*
- *La cinquième zone s'étend au-delà de la limite extérieure de la quatrième zone jusqu'à la limite extérieure de la zone économique exclusive. »*

Concernant les catégories de pêche, le code des pêches définit aussi :

- **Pêche commerciale.** *C'est l'activité de pêche exercée à des fins lucratives ;*
- **Pêche de subsistance ou coutumière.** *C'est l'activité de pêche pratiquée par les communautés villageoises vivant traditionnellement à proximité des plans d'eau constituant l'essentiel de leur subsistance ;*
- **Pêche industrielle.** *C'est la pêche exercée à des fins commerciales par des marins inscrits au rôle d'équipage d'un navire de pêche et disposant de moyens technologiques performants ;*
- **Pêche artisanale.** *C'est la pêche pratiquée individuellement ou collectivement à des fins de commercialisation par des marins non inscrits au rôle d'équipage et dotés de moyens techniques relativement performants et ne nécessitant pas des investissements lourds ; »*

Le décret N° 0579/PR/MPE du 30 novembre 2015 ne définit pas la pêche artisanale, mais elle est tout de même encadrée par des interdictions qui permettent de la circonscrire. Notamment, dans l'article 10, il est stipulé qu'en pêche artisanale, sont interdits : « les embarcations avec

une puissance totale de plus de 40 cv ; *les embarcations d'une longueur totale de plus de 12 mètres ; des filets de plus de 1000 mètres de long ; des palangres de plus de 300 hameçons ; des embarcations de plus de 50 casiers ; des dispositifs électroniques qui augmentent l'efficacité de la pêche. »*

Ce même décret encadre également la pêche coutumière dans son article 22 : « La pêche coutumière est libre et gratuite. Les produits de la pêche coutumière sont destinés à *l'autoconsommation. Leur vente est interdite en dehors de la communauté villageoise. Tous les engins et les techniques de pêche autorisés pour l'exercice de la pêche coutumière font l'objet d'un arrêté du ministre responsable. »*

De plus, ce texte circonscrit des usages selon les zones (Figure 10) :

- « Les première et deuxième zones sont exclusivement réservées à la pêche artisanale, sportive et coutumière. *L'accès des pêcheurs artisans et/ou propriétaires d'embarcations artisanales étrangères en première zone est interdit, excepté dans l'estuaire du Komo où l'accès peut être règlementé par arrêté du ministre responsable pour une période limitée. »*
- « La deuxième zone est réservée exclusivement aux pêcheurs artisanaux de nationalité gabonaise, ou aux entreprises conjointes de pêche artisanale, à la pêche sportive et à la pêche coutumière. »
- « La troisième zone est exclusivement réservée : à la pêche artisanale, sportive et coutumière aux personnes de toute nationalité ; aux entreprises gabonaises de pêche industrielle. Tout navire pêchant dans cette zone doit jauger 200 tonnes maximum. »
- « La quatrième zone est exclusivement réservée : à la pêche artisanale, sportive et coutumière aux personnes de toute nationalité ; aux entreprises gabonaises de pêche industrielle ; aux entreprises conjointes de pêche industrielle ; aux entreprises de pêche industrielle étrangères. Tout navire pêchant dans cette zone doit jauger 200 tonnes maximum. »
- « La cinquième zone est réservée : à la pêche artisanale, sportive et coutumière aux personnes de toute nationalité ; aux entreprises gabonaises de pêche industrielle ; aux entreprises conjointes de pêche industrielle ; aux entreprises de pêche industrielle étrangères. »

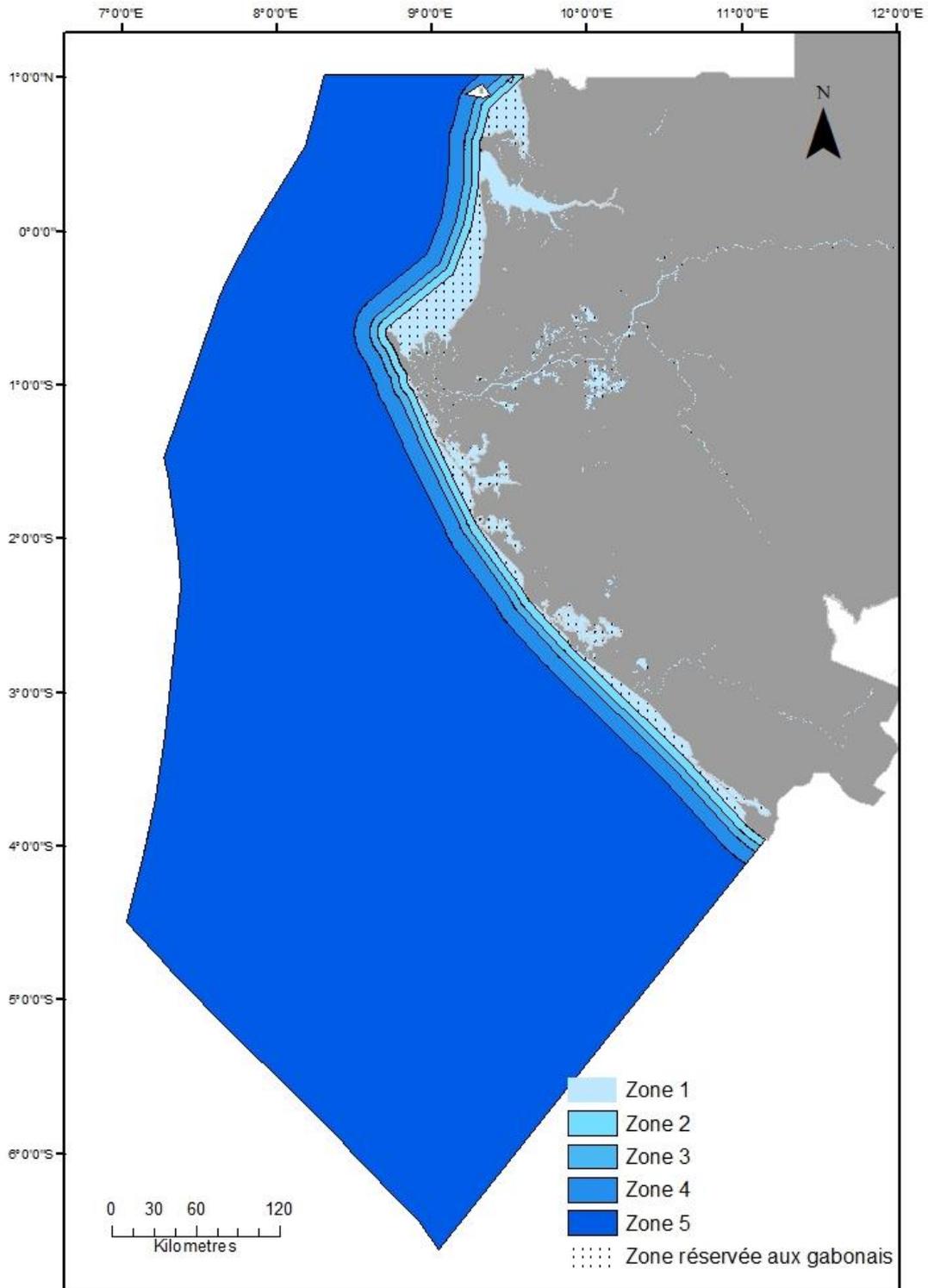


Figure 10 : Découpage de l'espace maritime selon la législation des pêches

Gestion

Dans un objectif de gestion, le code des pêches définit une pêcherie comme « l'ensemble de stocks d'espèces biologiques et des opérations s'y rattachant qui, sur la base des

caractéristiques géographiques, économiques, sociales, scientifiques, techniques ou récréatives, *peuvent constituer une unité d'aménagement* ».

Plusieurs articles sont spécifiques à la gestion de la pêche, notamment :

- L'article 8. « *La gestion des ressources halieutiques est la forme d'exploitation qui, tout en les prélevant, maintient leur diversité biologique, leur productivité, leur faculté de régénération et leur capacité à assurer, de manière pérenne et sans préjudice pour les écosystèmes établis, les fonctions économiques, écologiques, sociales, culturelles et scientifiques pertinentes.* »
- L'article 9. « *La gestion durable des ressources halieutiques doit intégrer un programme de développement, d'aménagement et d'exploitation rationnelle des activités du secteur de pêche et de l'aquaculture. Cette gestion durable doit se faire sur la base d'un programme d'évaluation et de suivi des stocks halieutiques dans le cadre des plans d'aménagement élaborés par l'administration des Pêches et de l'Aquaculture.* »
- L'article 10. « *L'exploitation rationnelle et durable des ressources halieutiques implique la mise en place des conditions de développement du secteur de la pêche et de l'aquaculture par :*
 - *L'amélioration des infrastructures portuaires et autres points de débarquement pour la pêche ;*
 - *La conclusion des traités et accords de coopération relatifs à la pêche et à l'aquaculture, notamment en matière de gestion des stocks transfrontaliers et de surveillance des activités de pêche ;*
 - *L'établissement de mécanismes institutionnels encourageant la participation des pêcheurs à l'aménagement des ressources selon des modalités appropriées ;*
 - *La réservation de certaines zones d'exploitation aux pêcheurs artisanaux ;*
 - *La préservation de zone de reproduction des ressources halieutiques ;*
 - *La prévention des conflits entre pêcheurs ;*
 - *La mise en place de mécanismes de financement devant permettre aux promoteurs du secteur de la pêche et de l'aquaculture d'accéder au crédit à des conditions favorables ;*

- *La mise en place d'un environnement fiscal favorable au développement de la pêche industrielle et de la pêche artisanale ;*
 - *L'industrialisation du secteur de la pêche et de l'aquaculture et la valorisation des produits halieutiques par la mise en place de structures de transformation locales ;*
 - *Le renforcement des capacités de l'administration et des acteurs du secteur pêche et aquaculture ;*
 - *Le développement de la recherche. »*
- *L'article 12. « L'Aménagement des pêches et de l'aquaculture consiste à organiser et à planifier, sur la base des informations fiables, les activités du secteur de la pêche et de l'aquaculture. A cette fin, l'administration des Pêches et de l'Aquaculture est tenue :*
- *D'élaborer des plans d'aménagement des pêcheries et de veiller au respect des normes techniques en ce qui concerne l'établissement d'une unité de production aquacole, après avis des experts et institutions scientifiques agréées et après consultation des principales catégories socioprofessionnelles intéressées ;*
 - *De créer des unités de recherche et de soutenir des organismes de recherche en vue de constituer des bases de données devant faciliter l'aménagement, la planification, l'exploitation et la coopération en matière de pêche et d'aquaculture;*
 - *D'établir chaque année un rapport de ses activités. »*

Aussi, le décret N° 0579/PR/MPE du 30 novembre 2015 stipule que : « Les zones de pêches font l'objet de plans d'aménagement. Ces plans tiennent compte de la gestion et de l'exploitation durables de la ressource halieutique. Des dispositions spéciales des aires protégées, zones d'exclusion pétrolière, ou zones d'aménagement peuvent établir des mesures plus restrictives à la pêche. »

En ce qui concerne la gestion spatiale, outre le découpage explicité précédemment, le Gabon est doté d'un réseau de 13 parcs nationaux (créés entre 2002 et 2003) à vocation première terrestre, mais qui incluent tout de même un parc marin (Mayumba, au sud du pays) et des parcs côtiers qui empiètent sur le milieu aquatique (Figure 11). Ce réseau est complété par une réserve présidentielle (Wonga-Wongué, créée en 1972) un arboretum (Raponda Walker, créé en 2004). La loi n°003/2007, relative aux parcs nationaux, stipule que la pêche est interdite dans ces aires, sauf autorisation spéciale (article 10).

En 2017, le décret n°00161/PR portant création d'aires protégées aquatiques en République Gabonaise, ajoute aux aires protégées existantes un réseau de 20 aires protégées marines, couvrant 26,2 % des eaux marines sous juridiction gabonaise. Elles sont constituées de neuf parcs marins et de onze réserves aquatiques. Toute pêche commerciale est interdite dans les parcs marins (article 20). En ce qui concerne les réserves aquatiques, la pêche artisanale y est interdite dans 6 d'entre elles et peut-être autorisée dans les autres à travers un plan d'aménagement (Figure 11).

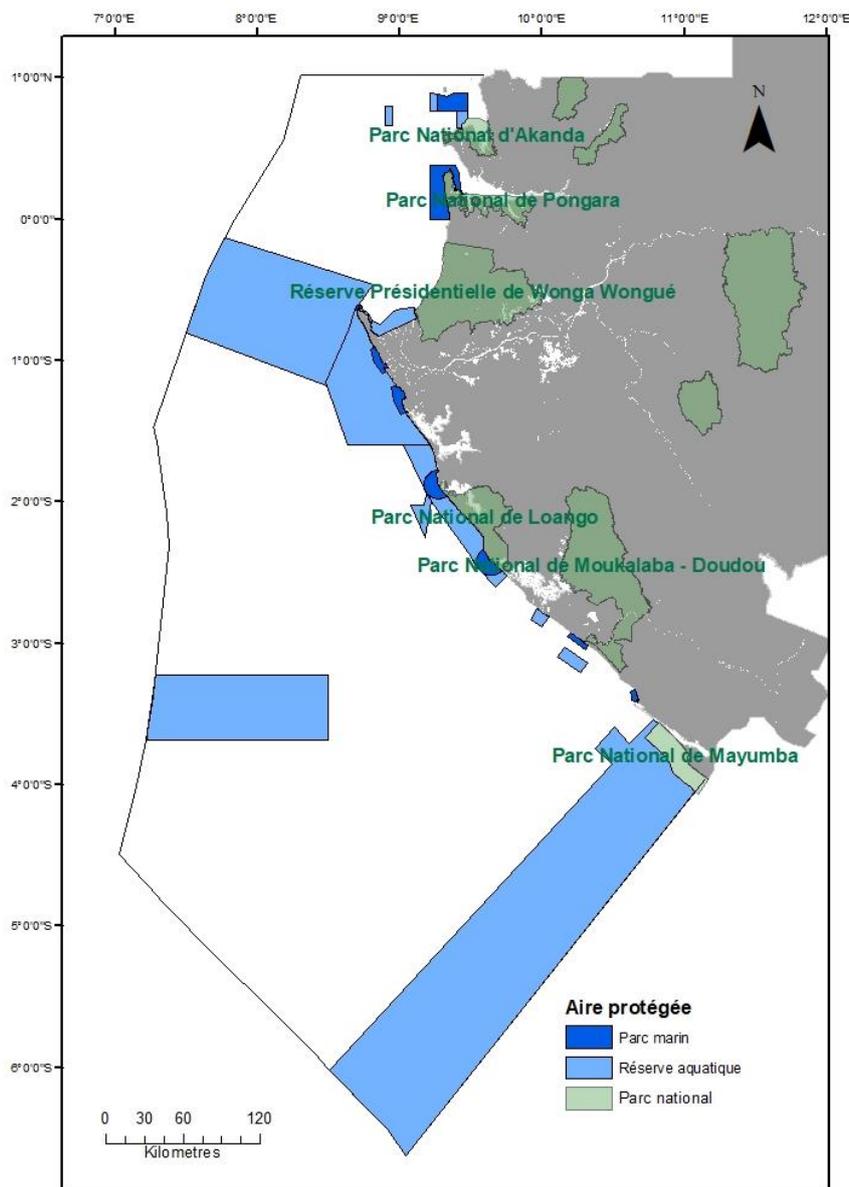


Figure 11 : Réseaux des parcs nationaux (et leur dénomination pour les parcs côtiers) et des aires marines protégées

En conclusion, la pêche artisanale maritime au Gabon correspond à la pêche pratiquée par des pirogues avec très peu d'équipement technologique performant. La définition juridique place la pêche artisanale maritime au-delà de la ligne de base. Cependant,

géographiquement, les communautés de pêcheurs qui pratiquent la pêche en mer pêchent indifféremment dans les estuaires et les baies qui se trouvent de l'autre côté de la ligne de base. C'est pourquoi, dans le cadre de cette thèse, nous considérerons ces zones comme appartenant à la pêche artisanale maritime.

Le Gabon a inscrit sa volonté de gestion durable des ressources halieutiques dans la législation, en l'énonçant comme un principe fondateur, mais également en favorisant la gestion par des plans d'aménagement, en soutenant la recherche scientifique et en faisant des processus participatifs de gestion un principe de base. La création d'un premier réseau de parcs en 2002, dont certains étant côtiers et marins puis, d'un deuxième réseau en 2017 de 20 aires marines protégées concrétise cette politique de gestion durable, à travers un outil favorisé sur le plan international : les aires marines protégées.

Des différentes réglementations mises en place au Gabon, il en résulte une gestion spatiale complexe, où les règles se superposent (Figure 12). Il y a donc un véritable enjeu de maîtrise de ces outils, d'acceptation et d'intégration par les pêcheurs, d'appropriation du zonage de la part des acteurs, d'amélioration des connaissances de la part de l'administration et des chercheurs et finalement, de sensibilisation de la société civile sur la gestion durable des ressources halieutiques.

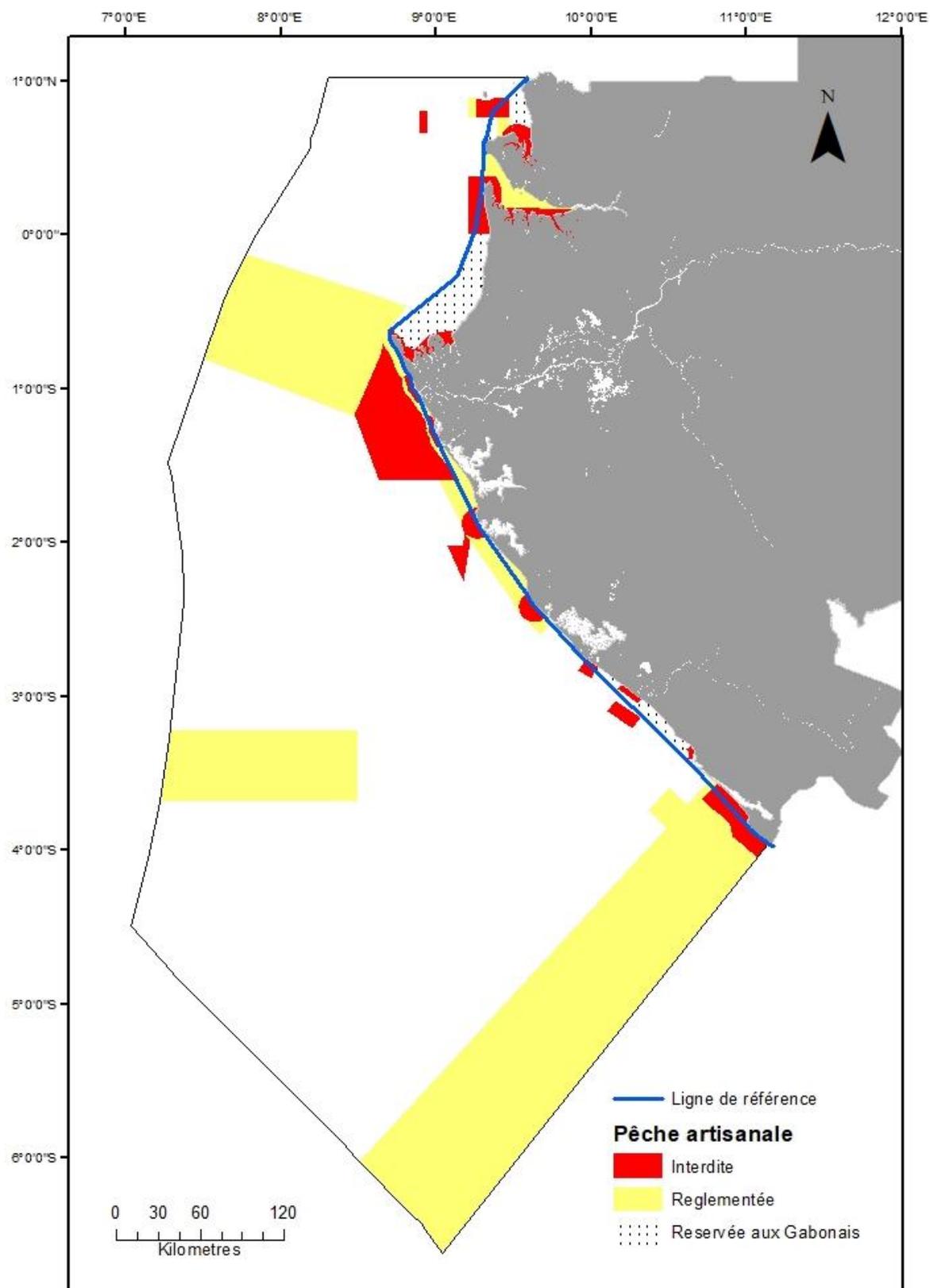


Figure 12 : Zones où la pêche artisanale est interdite, règlementée ou réservée aux Gabonais

3. La pêche artisanale gabonaise maritime de nos jours

Ce travail a été réalisé en collaboration avec Godefroy De BRUYNE, Rose TONA, Cyrielle YENDZE, Julie BERGERE, Berthin LEMBI, Catherine MCCLELLAN et Carine EBEN MANDAM.

3.1. Introduction

La pêche artisanale a été définie précédemment comme une unité de production avec de faibles revenus, du matériel rudimentaire (local et de petite échelle), comme un moyen de subsistance et d'alimentation du marché local, avec des techniques de pêche traditionnelles héritées. La pêche artisanale à l'échelle d'un pays se caractérise par une grande diversité de techniques de pêche, des pêcheries plurispécifiques, des communautés de pêcheurs nombreuses et dispersées, des liens sociaux forts. Pour ces raisons, la pêche artisanale est donc de nature très hétérogène (Noel & Le Sauce, 2014) et ces auteurs rajoutent le dynamisme comme critère de définition de la pêche artisanale.

C'est un dynamisme géographique quand les pêcheurs se déplacent pour suivre la ressource de façon saisonnière (Allen & McGlade, 1986 ; Hilborn & Walters, 1987) ou définitivement (Ecoutin, 1991 ; Haakonsen & Diaw, 1991). Cela se traduit par la création où la disparition de lieux de débarquements et /ou de flux migratoires à l'échelle nationale ou régionale. C'est aussi un dynamisme dans les techniques de pêche. Les pirogues, motorisations et engins de pêche évoluent et cette diversité de « technotopes » s'échange entre communautés dans l'espace et dans le temps (Bouju, 1999). Finalement, c'est un dynamisme dans les espèces pêchées qui changent au gré des saisons et des zones de pêche (Allen & McGlade, 1986).

Ainsi, il existe un ensemble de stratégies de pêche changeantes, influencées par : l'environnement, la ressource, les pêcheries, les lieux de débarquement et même le marché (Ecoutin, 1991). Ces changements et cette mobilité sont motivés par les relations de pouvoir, l'accès à l'information, la motivation des équipages, les rapports à l'argent, les rapports à la pêche, les migrations (Le Fur, 1994). La pêche artisanale attire de plus en plus de personnes, en raison de ses caractéristiques intrinsèques, à savoir de fournir du travail avec des revenus immédiats à des gens souvent au niveau d'éducation faible, dans un contexte de croissance urbaine. C'est aussi une activité qui demande peu d'investissements (Morand et al., 2012). Les acteurs de la pêche peuvent aussi quitter le secteur, lorsque l'activité n'est plus rentable ou que la réglementation est trop dure ou encore, dans le cas des migrants, lorsqu'ils retournent dans leur pays d'origine.

La pêche artisanale est donc caractérisée par une forte adaptabilité et il apparaît clairement que le suivi et la compréhension de tels phénomènes nécessitent des études pluridisciplinaires (Ecoutin, 1991 ; Laloë et al., 2010).

Concernant le Gabon, la revue historique du secteur effectuée précédemment a démontré le dynamisme des communautés de pêcheurs, notamment à travers les migrations. C'est d'ailleurs la thématique la plus reprise dans les publications sur la pêche artisanale maritime au Gabon (Chauveau, 1991a ; Haakonsen & Diaw, 1991 ; Ovono Edzang, 2006 ; Sabinot, 2007 ; Njock & Westlund, 2010 ; Badjina Egombengani, 2011 ; Edou, 2012 ; Loungou, 2014 ; Nyinguema Ndong, 2015).

Cependant, les données sur la pêche artisanale maritime au Gabon sont parcellaires, peu actuelles et font l'objet de peu de publications scientifiques. Or, posséder ces données est une condition indispensable pour une véritable gestion du secteur et des ressources halieutiques (Bignoumba, 2007).

La gestion de la ressource s'articule autour de la question centrale de l'état des stocks des espèces halieutiques. Pour les espèces exploitées en pêche artisanale, outre la biologie des espèces et leur écosystème, il apparaît alors nécessaire de connaître la mortalité due à la pêche. Un préalable indispensable à cette estimation est de connaître la flotte exploitant la ressource et son activité (Marchal, 2011). Mais une des caractéristiques de la pêche artisanale est justement la difficulté de collecter ces données et d'estimer l'effort de pêche (Laloë et al., 2010). Un outil communément utilisé en Afrique pour recenser toutes les unités de pêche actives est l'enquête-cadre. Cette enquête rassemble des données sur : le nom du débarcadère, le nombre d'opérateurs par catégorie professionnelle, la nationalité de chaque opérateur, le parc piroguier avec le nombre d'embarcations motorisées et non motorisées par type de pêche, le nombre de moteurs par puissance, le nombre d'engins de pêche par catégorie, les différentes saisons de pêche et les espèces cibles pêchées par chaque type d'engins de pêche (Gbaguidi & Verstralen, 1998). Ces données peuvent à leur tour servir à catégoriser la flotte en segments unitaires, qu'on peut appeler métiers.

Ces données constituent la base d'études ultérieures et permettent la mise en place d'un plan d'échantillonnage approprié pour les enquêtes sur les captures et l'effort de pêche.

Or, au Gabon, la dernière « enquête-cadre » a eu lieu en 2008 (DGPA, 2009). Cela peut s'expliquer par le manque de moyens financiers de l'administration et par un manque de volonté politique dans ce sens. Toujours est-il qu'il y a une véritable lacune dans ce domaine. Etant donné le caractère dynamique de cette activité au Gabon, plus de dix ans sans réactualisation des données sont une période trop longue et influencent le manque de décision en matière de gestion.

L'objectif ici est donc de combler en partie ce vide et de donner un instantané de la situation de la pêche artisanale maritime au Gabon.

3.2. Méthodologie

3.2.1. Données

Les données ont été collectées d'avril 2015 à décembre 2015, avec des déplacements sur le terrain dans tous les débarcadères le long de la côte gabonaise. La collecte des données a été réalisée en collaboration par l'ONG Manga au Cap Esterias et par WCS dans le reste des débarcadères. Toutes les missions à Cocobeach et sur la route de Cocobeach ont été réalisées en partenariat avec la Brigade des Pêches de Cocobeach. A Port-Gentil, la collecte s'est faite en collaboration avec la Direction Provinciale des Pêches.

Deux questionnaires ont été élaborés grâce au site internet « surveymonkey ». Ce site permet de concevoir, d'entrer les données et d'analyser en ligne (voir annexes 1 et 2). La méthodologie adoptée sur le terrain consistait dans un premier temps à rencontrer les chefs de communautés et poser des questions d'ordre général (annexe 1). Suite à cette discussion officielle, les différents types de pêche pratiqués dans le débarcadère étaient connus. Le chef désignait alors un groupe de pêcheurs pour chaque engin, pour qu'ils puissent répondre à des questions plus précises sur leur engin (annexe 2). Cette méthode, qui consiste à identifier les prochains répondants grâce aux indications du répondant précédent, est appelée "boule de neige". Elle est utilisée dans plusieurs études sur les pratiques des communautés de pêche (Begossi, 2006 ; Muallil et al., 2013 ; Moore et al., 2017 ; Gill et al., 2019). Cette méthode permet d'atteindre les « experts locaux » qui sont dans le milieu depuis longtemps, garde la mémoire de la communauté et sont capables de transmettre le savoir communautaire au sein de groupes dispersés et parfois dans un contexte sensible (Neis et al., 1999 ; Stevenson et al., 2013). Ainsi, les résultats étaient plus ciblés, car le chef de communauté connaît, par exemple, approximativement le nombre de pêcheurs de son débarcadère, tandis qu'un pêcheur ressource connaît mieux les pêcheurs qui pratiquent la même pêche que lui. En appliquant cette méthode, il est apparu que les questionnaires par engin n'étaient pas assez précis, car un même engin pouvait avoir des caractéristiques différentes. Les pêcheurs ont proposé eux-mêmes un découpage par métier au sein de chaque communauté.

Les questions portaient sur :

- L'engin utilisé (son nom, ses dimensions)
- Les pirogues (leur nombre, leur fabrication, leur motorisation)
- Les pêcheurs (leur nombre)
- L'effort de pêche (le nombre de jours d'une sortie, la durée d'une sortie, le temps de l'engin à l'eau, la saison, la marée, les jours sans pêche)
- Le système de congélation
- La zone de pêche
- Les captures (les espèces et les quantités)
- Le devenir des captures (la transformation, la vente, l'autoconsommation)

Le consentement écrit des répondants n'a pas été demandé, car les réponses se faisaient en groupe et les noms des personnes n'étaient pas requis, donc une signature paraissait inappropriée. Le consentement verbal a tout de même été demandé. Les interviews ont été menées par 6 personnes différentes, avec une expertise sur les communautés qu'ils approchaient et qui ont reçu une formation, pour s'assurer que la procédure était uniforme. Les données ont été saisies dans une base confidentielle, dans surveymonkey et exportées en format Excel.

3.2.2. Caractérisation des zones de débarquement

Les zones de débarquement au Gabon sont communément appelées débarcadères. Ce sont souvent des plages ou des berges de rivières avec peu ou pas d'aménagements. Ces débarcadères sont le lieu d'accostage des pirogues, de débarquement des captures et de vente. Bien souvent, c'est aussi l'endroit où les pirogues restent amarrées en dehors des moments de pêche, les poissons peuvent également y être transformés (fumage, salage) et les habitations des pêcheurs et de leur famille peuvent s'y trouver. C'est pourquoi à certains endroits, le terme de village de pêcheurs est utilisé.

Malgré les disparités, une représentation caractéristique d'un débarcadère au Gabon peut être établie. Dans la Figure 13, les différents espaces d'activités sont visibles :

1. La zone d'ancrage des pirogues,
2. La zone de débarquement du poisson qui se trouve sur la plage. Les cuvettes qui servent à transporter le poisson y sont visibles,
3. La zone de vente qui est connexe et parfois confondue avec la zone de débarquement. Ici, elle prend place dans un espace couvert par des tôles,
4. La zone de transformation, qui se trouve juste à l'arrière de la zone de vente. Ici, ce sont des fumoirs.

5. La zone d'habitation, qui se trouve le plus à l'arrière.
6. La zone de manutention des engins. Sur la gauche se trouve une pirogue à terre. C'est l'endroit où les pirogues sont stationnées lorsqu'elles ne vont pas en mer, s'y pratique alors la peinture et la réparation des pirogues ainsi que la réparation ou la fabrication des filets de pêche.

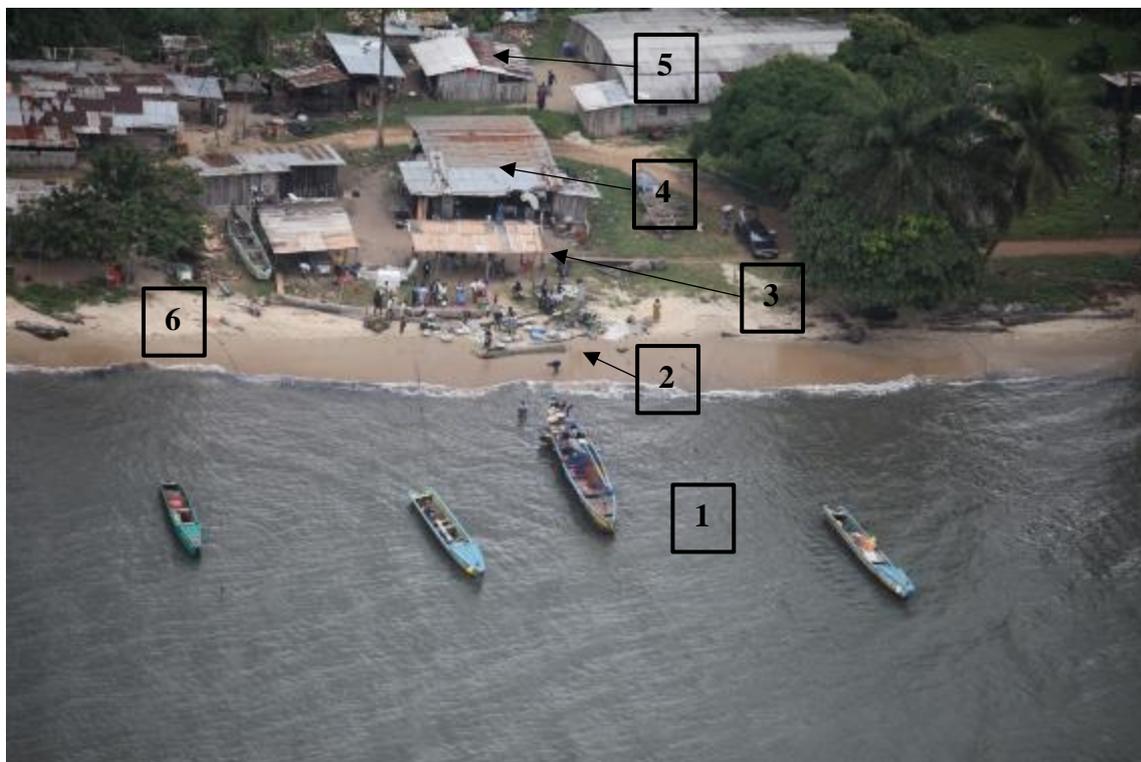


Figure 13 : Photo aérienne d'un débarcadère type (Massamboué)

Du fait de caractéristiques différentes, l'administration des pêches a proposé une classification dans l'arrêté 000060/MEFPEPGDE/SG/DGPA, qui fixe les points de débarquement dans les pêcheries artisanales maritimes de Libreville, d'Owendo et d'Akanda. 3 catégories sont définies :

- La catégorie 1. Ces points de débarquement ont pour vocation la vente en gros (donc pas aux particuliers) d'au minimum 10 kg et, le transit des produits. Ils occupent une superficie minimale de 400 m², et possèdent une voie d'accès praticable, un ponton ou un quai, l'adduction d'eau et des toilettes publiques.
- La catégorie 2. Ces points de débarquement ont pour vocation la vente en gros et au détail. En plus des exigences de la catégorie 1, ils occupent une superficie minimale de 1000 m², et possèdent une fabrique de glace opérationnelle, un espace de vente couvert et un assainissement régulier.
- La catégorie 3. Ces points de débarquement ont pour vocation la manutention, la manipulation, le traitement des produits, la vente et la vie communautaire. En plus des

exigences de la catégorie 2, ils occupent une surface minimale de 2 ha, et possèdent un système de conservation frigorifique négative, des bureaux et services d'appui aux professionnels, des vestiaires, un système de traitement des eaux usées, des aires de stationnement de véhicule et une station-service.

Dans un premier temps, les visites de terrain ont permis d'identifier les lieux de débarquement existants et d'administrer les questionnaires aux communautés présentes sur place. Cela a permis de classer les débarcadères selon les catégories de l'administration, mais elles ne rendaient pas compte de toutes les caractéristiques des débarcadères. Afin d'établir une typologie, d'autres variables ont été prises en compte (voir annexe 3) : nombre de pirogues, superficie du débarcadère, présence de fumoirs, présence d'habitations de pêcheurs, nationalité dominante et ville à proximité. La superficie des débarcadères a été calculée en dessinant des polygones dans Google Earth : elle inclut une portion aquatique, qui englobe la zone d'ancrage des pirogues et les bâtiments de transformation et d'habitation quand il y en a.

Toutes ces variables (quantitatives et qualitatives) ont été utilisées dans une Analyse Factorielle des Données Mixtes (AFDM) (Pages, 2004) afin de déterminer celles qui peuvent permettre une classification des débarcadères. Le package R FactoMineR a été utilisé.

3.2.3. Caractérisation des outils de la pêche

3.2.3.1. Les pirogues, la motorisation et le système de réfrigération

Les données sur la typologie des pirogues proviennent des visites de terrain et des questionnaires. Le nombre total de pirogues par débarcadère est calculé à partir des questionnaires aux chefs de communautés. La proportion de pirogues en bois ou en fibre de verre, ainsi que la motorisation sont déduits des questionnaires par type de pêche. En effet, les mêmes types de pêche par débarcadère utilisent les mêmes pirogues. Ces données estimées sont comparées aux chiffres officiels de l'administration des pêches concernant les autorisations de pêche délivrées en 2016. Concernant la longueur des pirogues et le système de réfrigération, les données proviennent d'observations de terrain qui ont permis de différencier les catégories de pirogues, mais pas de les quantifier. La longueur des pirogues a été mesurée pour quelques pirogues présentes à un moment donné dans un débarcadère. Cependant, toutes les pirogues ne sont pas forcément présentes au moment de la mesure, une partie de la flotte pouvant être à la pêche, c'est pourquoi le nombre de pirogues n'est pas indiqué par catégories. La réfrigération est définie comme le processus permettant de refroidir le poisson ou les produits de la pêche pour les amener à une température proche de celle de la glace en fusion (Shawyer & Medina Pizzali, 2005). Ici, il s'agissait généralement de caisses isothermes remplies de glace.

3.2.3.2. Les engins de pêche

Le code des pêches gabonaises définit l'engin de pêche comme : « tout instrument, équipement ou installation utilisés pour capturer ou extraire les ressources halieutiques de leur milieu de vie. » Cette définition peut être comprise au sens large en incluant la pirogue et les systèmes de navigation. Dans le cadre de cette étude, l'engin de pêche est compris comme un outil appartenant aux catégories de la FAO (Nédélec & Prado, 1990). Un inventaire des engins de pêche artisanale au Gabon a été effectué par Seck (1987) et, les pratiques étant très dynamiques dans le temps, ces données sont ici actualisées pour décrire la situation actuelle, en suivant la classification de la FAO. Les engins inventoriés sont les sennes tournantes, les sennes de plage, les filets maillants, les lignes et hameçons et d'autres engins plus rares. Leurs caractéristiques générales sont décrites en annexe 4. Concernant l'analyse, seuls les engins principaux sont conservés, c'est-à-dire ceux qui sont destinés à la pêche commerciale directement et qui sont pratiqués à partir d'au moins 5 pirogues pour toute la côte. Les autres engins plus anecdotiques ne sont pas quantifiés. Le nombre de pirogues utilisant chaque engin a été compté à partir des questionnaires et rassemblé par zone géographique, c'est-à-dire par localité principale de débarquement. Etant donné que certaines pirogues utilisent plusieurs engins au cours de l'année, le nombre d'engins utilisés n'est pas égal au nombre de pirogues total.

Ensuite chaque catégorie d'engin est décrite à partir des réponses aux questionnaires : la ou les communautés qui l'utilisent, la zone de pêche, les caractéristiques et dimensions de l'engin, le nombre de l'équipage, les espèces ou catégories d'espèces ciblées.

3.2.4. Caractérisation des espèces capturées

La liste des espèces majoritaires capturées en pêche artisanale maritime au Gabon provient des réponses des pêcheurs aux questionnaires. Lors des interviews, un guide d'identification des espèces a été utilisé (De Bruyne, 2013) regroupant 116 espèces de poissons (téléostomiens et chondrichthyens). Les pêcheurs ne connaissant pas forcément le nom des espèces en français, les photos et schémas de chaque espèce ont été montrés et les pêcheurs répondaient si l'espèce était : ciblée ou accessoire et si elle était souvent pêchée ou rarement pêchée. Une quantification des captures par espèces a été initiée, mais les réponses ont été évasives ou parfois les pêcheurs ont refusé de répondre. Par contre, ils ont accepté de répondre à la question de savoir si une espèce est pêchée souvent ou pas. Les prises sont considérées comme accessoires quand elles ne sont pas ciblées, mais elles sont tout de même gardées par les pêcheurs.

Seules les espèces souvent pêchées ont été considérées pour cette analyse et les résultats sont présentés par engin de pêche. Lorsque plusieurs questionnaires concernaient le même

engin de pêche, les espèces présentes dans au moins 10 % des réponses ont été considérées.

Un test du Khi 2 de Pearson a été réalisé pour tester s'il y avait une différence significative entre le nombre d'espèces ciblées et accessoires par engin. Ensuite, une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) a été utilisée pour mettre en relief les groupes d'espèces inféodés à certains engins, selon qu'elles soient ciblées ou accessoires.

3.2.5. Définition des métiers

Le métier est une entité fonctionnelle cohérente en termes de type et taille d'embarcation, d'engin de pêche, d'espèces (ou groupes d'espèces) ciblées et d'habitudes spatiales et temporelles (Mesnil & Shepherd, 1990). De manière empirique, les pêcheurs ont fait la distinction de leur technique de pêche par métier au sein de leur débarcadère. En regroupant les questionnaires, les différents métiers présents sur la côte gabonaise ont pu être identifiés, en prenant comme caractéristiques communes : l'engin utilisé, la durée d'une sortie, les espèces ou groupes d'espèces ciblés, la nationalité/ethnie de la communauté, la zone et la période d'activité de la pêche.

3.3. Résultats

181 questionnaires ont été remplis avec les communautés : 41 questionnaires adressés aux chefs de communauté et 140 aux pêcheurs eux-mêmes (Tableau 5). Le nombre de participants parmi les pêcheurs était entre 3 et 6 personnes pour chaque questionnaire.

Le nombre de questionnaires administrés à Libreville est largement supérieur par rapport aux autres zones et présente la plus grande diversité d'engins (Tableau 5).

Tableau 5 : Nombre de questionnaires réalisés par zone et engin de pêche

Destinataire	Zone	Engin	Nombre de questionnaires
Chef de communauté	Cocobeach		9
	Libreville		17
	Port-Gentil		12
	Mayumba		3
Total			41
Pêcheurs	Cocobeach	Filet maillant encerclant sardine	5
	Cocobeach	Filet maillant encerclant mullet	2
	Cocobeach	Filet maillant de fond	7
	Cocobeach	Filet maillant de surface	4
	Cocobeach	Palangre	5
	Cocobeach	Senne tournante	1
Total Cocobeach			24
Pêcheurs	Libreville	Filet maillant encerclant sardine	8
	Libreville	Filet maillant encerclant mullet	3
	Libreville	Filet maillant de fond	40
	Libreville	Filet maillant de surface	27
	Libreville	Palangre	9
	Libreville	Ligne à main	7
	Libreville	Senne tournante	2
	Libreville	Senne de plage	1
	Libreville	Pêche à pied	1
	Libreville	Pêche au harpon	1
Total Libreville			99
Pêcheurs	Port-Gentil	Filet maillant encerclant sardine	2
	Port-Gentil	Filet maillant de fond	7
	Port-Gentil	Filet maillant de surface	3
	Port-Gentil	Ligne à main	1
	Port-Gentil	Senne de plage	1
Total Port-Gentil			14
Pêcheurs	Mayumba	Filet maillant sardine	1
	Mayumba	Filet maillant de fond	1
	Mayumba	Ligne à main	1
Total Mayumba			3
TOTAL			181

3.3.1. Les zones de débarquement

Sur tout le littoral gabonais, 41 débarcadères ont été identifiés. Seuls les débarcadères qui incluent la pêche artisanale maritime commerciale ont été comptabilisés. Entre les différents sites, il existe une grande diversité de taille, de fréquentation et de type d'utilisation. La Figure 14 illustre le nombre de pirogues par débarcadère.

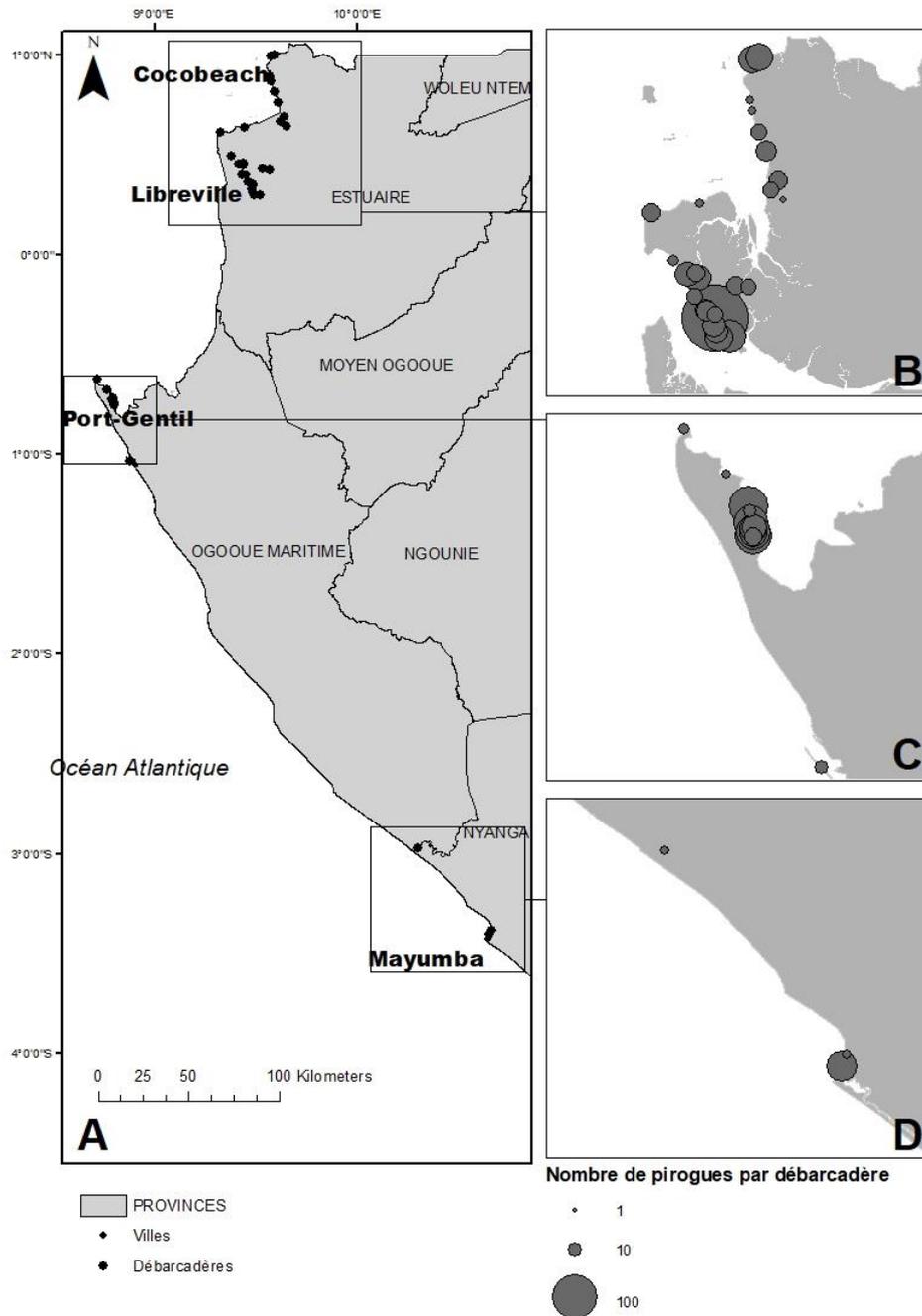


Figure 14 : Débarcadères par province (A) et importance de la flotte par localité (B : Nord, C : centre, D : Sud)

De grandes portions de la côte n'ont pas de lieux de débarquement et les concentrations importantes se trouvent près des agglomérations de Libreville et Port-Gentil et dans une moindre mesure à Cocobeach et Mayumba. Le nombre moyen de pirogues par débarcadère est de 29 (min = 2 et max = 216), avec un écart-type de 35,9.

Pour trouver des ressemblances entre les débarcadères, l'analyse factorielle des données mixtes a pris en compte les variables suivantes : le nombre de pirogues, la superficie du débarcadère (m²), la présence ou l'absence de fumoirs, la présence ou l'absence d'habitations, la nationalité dominante, la ville la plus proche (à savoir Cocobeach, Libreville, Port-Gentil ou Mayumba) et la catégorie du débarcadère (a, b ou c, qui correspondent respectivement aux catégories 3, 2 ou 1 de l'arrêté 000060/MEFPEPGDE/SG/DGPA). Seuls les 3 premiers axes, qui représentent 53 % de la variance cumulée, ont été conservés (Figure 15). En partitionnant par nationalité, 92,8 % de la variance initiale contenue sur les 3 premiers axes de l'AFDM est conservée. Cela constitue donc un excellent résumé de l'information.

Tableau 6 : Contribution des variables à chaque dimension de l'AFDM

	Dimension 1	Dimension 2	Dimension 3
Nationalité	21,99	35,17	35,55
Catégorie	0,05	25,17	13,23
Ville la plus proche	10,98	18,71	31,65
Nombre de pirogues	15,29	10,36	0,94
Présence d'habitations	12,28	6,63	10,98
Présence de fumoirs	23,88	2,21	0,78
Superficie	15,52	1,75	6,86

La nationalité est une variable explicative dominante pour expliquer la typologie des débarcadères (Tableau 6). Il y a 3 nationalités principales de pêcheurs : gabonaise, nigériane et béninoise. Les pêcheurs ghanéens, togolais et santoméens, sont souvent intégrés dans la communauté béninoise. Dans un souci de classification, nous n'avons conservé que ces 3 classes de nationalités majoritaires ainsi qu'une classe mixte qui correspond aux débarcadères accueillants plus d'une nationalité. Les autres variables sont décrites par la suite selon le critère de nationalité (Tableau 7).

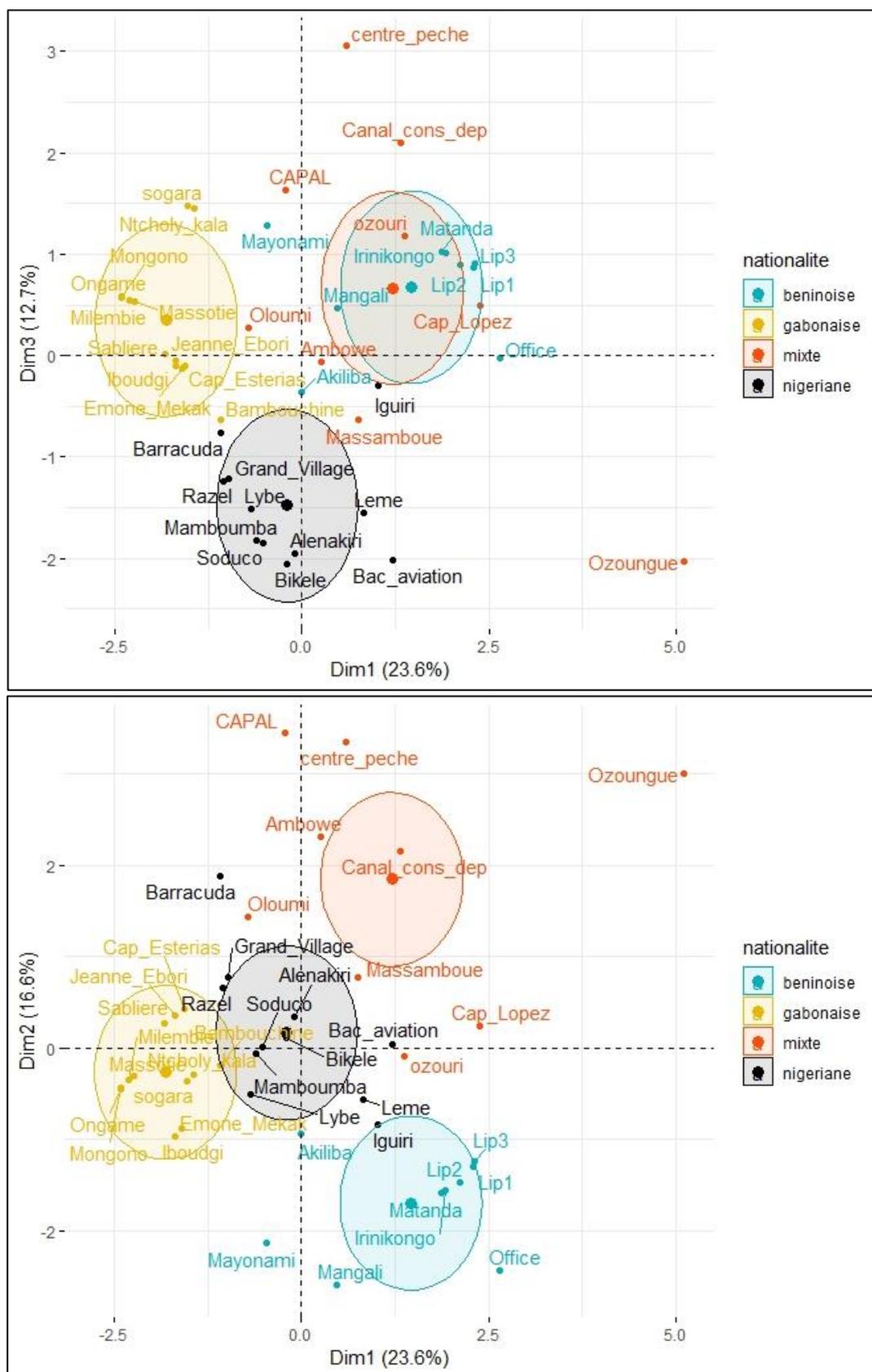


Figure 15 : Projection des débarcadères dans les plans factoriels des axes 1/2 et 2/3 représentant respectivement 40,3 % et 29,3 % de la variance observée avec en couleur la classification par nationalité

Si la nationalité gabonaise est dominante en termes de nombre de débarcadères, ce sont les débarcadères mixtes qui rassemblent le plus de pirogues. Ce sont aussi les débarcadères mixtes qui ont les plus grandes superficies. Les lieux de débarquements gabonais n'ont jamais de fumoirs, tandis que les Béninois en ont en majorité (67 %) et s'accompagnent d'habitations de pêcheurs (89 %). La plupart des débarcadères sont de catégorie 1, c'est-à-dire sans aménagement, sauf pour les débarcadères mixtes et un débarcadère nigérian.

Tableau 7 : Résumé des caractéristiques des débarcadères par nationalité

		Gabonais	Béninois	Nigériens	Mixte
Nombre de débarcadères (n=41)		12	9	11	9
Nombre de pirogues	moyen	10	31	26	58
	min	2	3	5	7
	max	19	70	50	216
Superficie (m ²)	moyenne	1292	10 900	9154	20 122
	min	100	800	1500	300
	max	7000	45 000	23 000	76 000
Pourcentage de débarcadères	avec fumoirs	0 %	67 %	27 %	44 %
	avec habitations	25 %	89 %	73 %	56 %
	catégorie 1	100 %	100 %	91 %	56 %
	catégorie 2	0 %	0 %	9 %	22 %
	catégorie 3	0 %	0 %	0 %	22 %

La distribution des débarcadères par nationalité le long de la côte (Figure 16) montre que les débarcadères gabonais sont distribués dans toutes les localités. Les débarcadères nigériens sont situés dans le nord du pays, avec un seul débarcadère au centre, à Port-Gentil. Les Béninois se retrouvent sur toute la côte. Les débarcadères mixtes se trouvent uniquement dans les agglomérations : Libreville, Port-Gentil et Cocobeach.

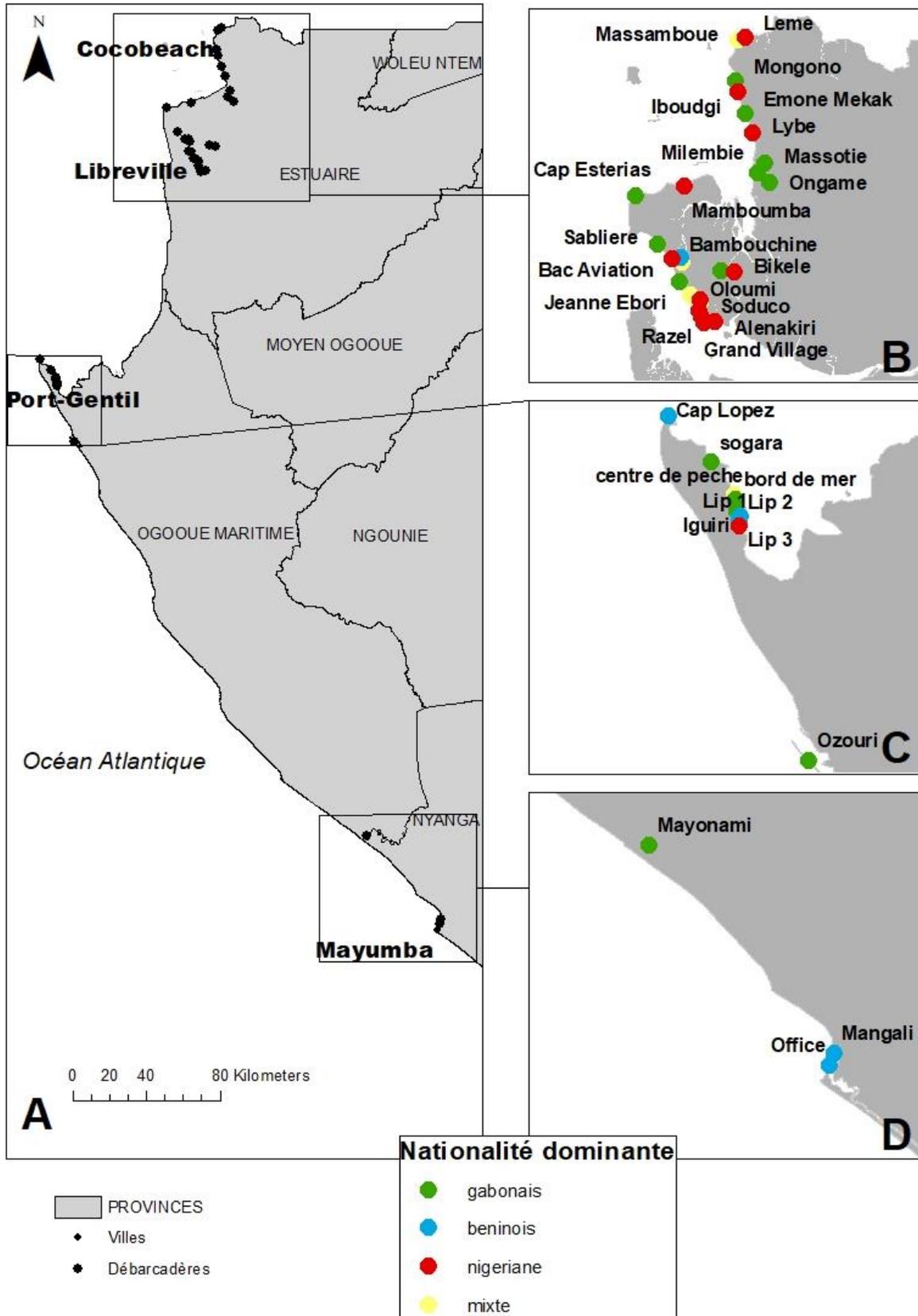


Figure 16 : Débarcadères par province (A) et débarcadères par nationalités (B : Nord, C : centre, D : Sud)

3.3.2. Les outils de la pêche

3.3.2.1. Les pirogues, la motorisation et la congélation

La pêche artisanale maritime au Gabon se fait à partir de pirogues avec une motorisation hors-bord. Deux grands types de pirogues se distinguent : celle en bois (76 % de la flotte) et celles en fibre de verre (24 % de la flotte).

Cette répartition dépend beaucoup de la localité. Ainsi, à Cocobeach, 100 % des pirogues sont en bois tandis qu'à Mayumba, toute la flotte est en fibre de verre (Tableau 8). A Libreville, la majorité des pirogues est en bois (91 %) et les pirogues en fibre de verre ne sont utilisées que par les communautés qui vont en haute mer. A Port-Gentil, 57 % des pirogues sont en bois. Au regard du nombre d'autorisations de pêche délivrées sur toute la côte, 28 % des pirogues n'ont pas d'autorisation de pêche.

Tableau 8 : Nombre de pirogues par localité et par type de fabrication

(Autorisations délivrées)	Cocobeach (95)	Libreville (475)	Port-Gentil (262)	Mayumba (36)	TOTAL (868)
Nombre de pirogues	148	585	430	46	1209
en bois	148	530	245	0	923
en fibre de verre	0	55	185	46	286

Suite aux enquêtes de terrain, les pirogues ont pu être catégorisées par leur longueur. Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre les zones et les communautés où ces pirogues sont utilisées, ainsi que la motorisation et la présence d'un système réfrigérant.

Tableau 9 : Caractéristiques des pirogues selon leur matière

Pirogues	Longueur (m)	Zone	Communauté	Motorisation (CV)	Système de réfrigération
en bois	7 -9	toute la côte	Gabonaise, Béninoise	40	non sauf pour le mullet
	10-12	Cocobeach, Libreville, Port-Gentil	Nigériane, Béninoise	40	non sauf pour les pêches de plusieurs jours
	13-16	Cocobeach, Libreville, Port-Gentil	Nigériane, Béninoise	40	oui
	20	Cocobeach, Libreville	Béninoise	40	non
en fibre de verre	5-9	Mayumba, Libreville	Gabonaise, Béninoise	40 ou 2x40	oui et non
	10-14	Port-Gentil, Mayumba	Béninoise	41 ou 2x40	oui

Les pirogues en bois au Gabon sont des pirogues monoxyles, c'est-à-dire construites dans une unique pièce en bois taillée dans un tronc d'arbre. Bien souvent, cette pièce en bois est rehaussée de planches pour augmenter la hauteur de la pirogue. Pour les plus petites pirogues, le fond monoxyle est fabriqué sur place, mais les plus grosses pirogues ont un fond monoxyle importé d'Afrique de l'Ouest. La taille des pirogues en bois varie de 7 à 20 mètres. Cela dépend du type de pêche pratiquée et aussi du nombre de jours passés en mer pour une sortie de pêche :

- Les pirogues de 7 à 9 mètres sont souvent utilisées par des communautés gabonaises qui pratiquent une pêche proche de la pêche coutumière. Les Béninois utilisent ce genre de pirogues également pour les pêches qui impliquent d'entourer un banc de poissons, tels que les pêcheurs de mullets à Libreville, et donc, d'avoir une grande maniabilité. Ces pirogues ont en général une motorisation hors-bord de 40 CV et n'ont pas de système de réfrigération à bord sauf pour les pêcheurs de mullets.
- Les pirogues de 10 à 12 mètres sont communément employées par les communautés nigérianes et béninoises. Elles sont employées pour une pêche « aller-retour » dans la journée, que ce soit pour le filet maillant encerclant la sardine ou pour le filet maillant de fond. La motorisation hors-bord de 40 CV est située à l'arrière de la pirogue qui ne possède généralement pas de système de réfrigération. Parfois la pêche au filet de fond dure plusieurs jours et alors, un système de réfrigération est présent. C'est en fait un congélateur non alimenté en électricité, rempli de glace au départ de la pêche. C'est

sa propriété isotherme qui est utilisée pour maintenir la glace. Du sel y est parfois ajouté pour faire durer la glace jusqu'à 5 jours.

- Les pirogues de 13 à 16 mètres sont utilisées aussi par les communautés étrangères et sont spécifiques aux sorties plus longues, de 3 à 5 jours. La motorisation hors-bord y est de 40 cv et il y a généralement une caisse de réfrigération à bord. Sur ces pirogues, les pêcheurs aménagent un espace pour se reposer. Soit cet espace est à l'avant de la pirogue, qui est recouvert de planches comme les pirogues béninoises au filet dérivant de Libreville ou alors à l'arrière de la pirogue sous une armature de bois recouverte d'une bâche, comme les pirogues nigérianes au filet dérivant. Il faut aussi noter dans cette catégorie, les pirogues employées à Port-Gentil par la communauté béninoise/togolaise pour pratiquer la senne de plage. Même si cette pêche est interdite par la loi, elle est encore largement pratiquée. La pirogue, avec un moteur de 40 CV situé sur le côté, sert alors à ramener le filet vers la plage.
- Les pirogues de 20 mètres sont utilisées exclusivement par les Béninois qui y pratiquent la senne tournante. C'est une pêche qui se fait en « aller-retour » dans la journée. La motorisation est hors-bord de 40 CV et est située sur le côté de la pirogue. Il n'y a pas de système de réfrigération.

Les pirogues en fibre de verre sont souvent construites localement grâce à un moule. Elles sont plus légères et aussi plus chères. Ces pirogues sont majoritairement utilisées par les communautés gabonaises et béninoises et plus particulièrement dans le sud, à Port-Gentil et Mayumba, où les pêcheurs s'aventurent plus en haute mer et quittent les estuaires, lagunes et baies. Les pirogues peuvent être classées en 2 grandes catégories de tailles :

- Les pirogues de 5 à 9 mètres. Ce sont les pirogues employées par les béninois à Mayumba pour les marées ne dépassant pas un jour, comme la pêche au filet maillant de fond ou la pêche à la sardine au filet encerclant. Les pirogues sont dépourvues de système de réfrigération et les moteurs sont souvent couplés 2 fois 40 CV. Dans cette catégorie, figurent également les pirogues de Port-Gentil avec 1 à 2 moteurs de 40 cv, avec ou sans caisse isotherme, ces pirogues sont adaptées à tout type de pêche et à toutes les eaux, cependant elles restent peu adaptées aux longues sorties en mer. Si les pirogues en fibre de verre sont rares à Libreville, une communauté gabonaise pêchant à la ligne fait tout de même usage de ce genre de pirogue. Le moteur est de 40 cv et il y a une caisse réfrigérante à bord.
- Les pirogues de 10 à 14 mètres. Ce sont les Béninois qui les utilisent pour la pêche au filet de fond et sa longueur est alors voisine de 12 mètres. A Port-Gentil, la motorisation est de 40 cv hors-bord, tandis qu'à Mayumba, ce sont 2 moteurs de 40 cv, pour pouvoir

sortir de la lagune. Les pirogues sont équipées de caisses réfrigérantes. L'avant de la pirogue comporte un abri qui permet aux pêcheurs de se reposer.

3.3.2.2. Les engins de pêche

Le nombre de pirogues pratiquant chaque engin par débarcadère est présenté en annexe 5. Les engins non pris en considération pour la suite de l'analyse sont : l'épervier, car il sert plus à la capture des appâts qu'à la pêche commerciale directe ; le harpon ou fusil, car il n'est pratiqué que par 3 pirogues uniquement au Cap Esterias ; le filet à l'étalage, car il n'est exercé que par 5 pirogues et de façon très sporadique (une à deux fois par mois) ; la pêche à pied, car elle n'est pas réalisée à partir de pirogue ; et la pêche à la canne qui reste anecdotique et complémentaire d'autres techniques de pêche. Quoiqu'il en soit, ces techniques sont tout de même brièvement décrites en annexe 4. Pour quantifier la proportion d'utilisation de chaque engin sur la côte, les engins principaux ont été sélectionnés, c'est-à-dire le filet maillant encerclant la sardine, le filet maillant encerclant le mullet, le filet maillant de surface, le filet maillant de fond, la palangre, la senne tournante, la ligne à main. Ces données ont été rassemblées par zone géographique (Figure 17).

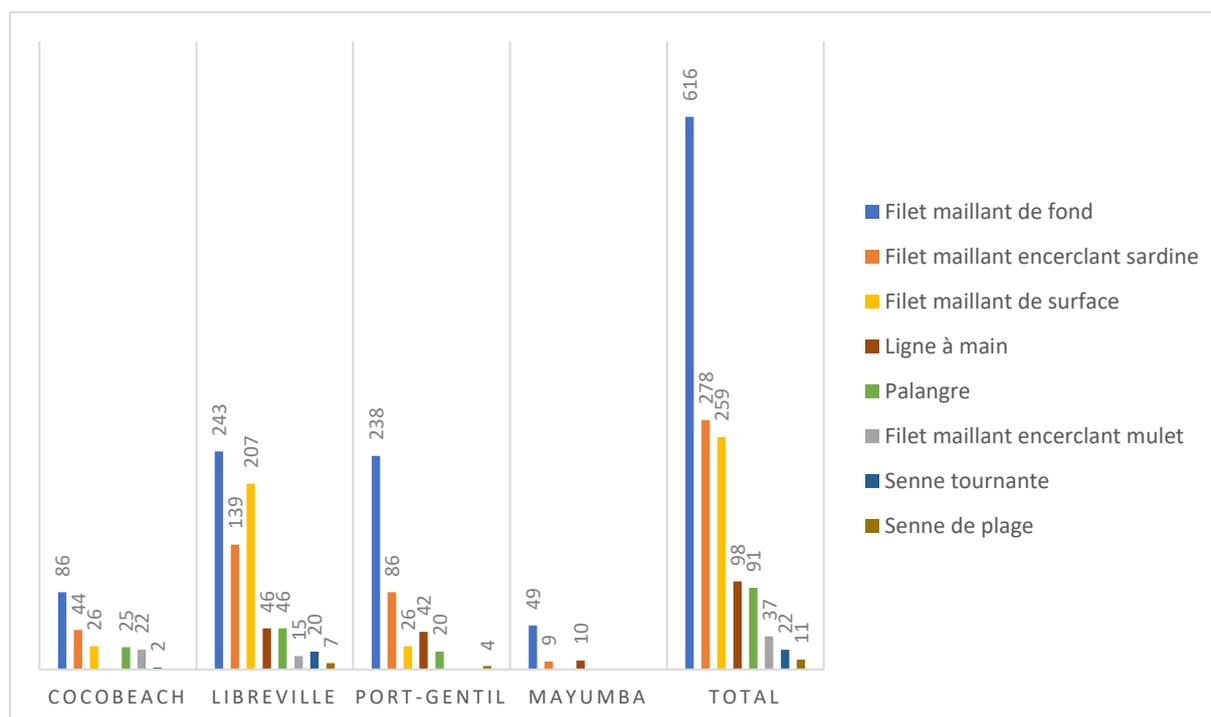


Figure 17 : Nombre de pirogues utilisant les principaux engins par localité et sur toute la côte du Gabon

De manière générale et dans toutes les localités, c'est le filet de fond qui domine (44 % pour toute la côte). La pêche au filet encerclant la sardine est la deuxième technique de pêche la plus importante sur toute la côte (20 %) sauf à Libreville, où c'est le filet de surface (29 %).

De nombreuses pirogues pratiquent des pêches mixtes, c'est-à-dire qu'elles changent d'engin selon la saison ou la marée. Ainsi, sur 1212 pirogues au total, 429 ont des pêches mixtes (soit 35 %) (Figure 18).

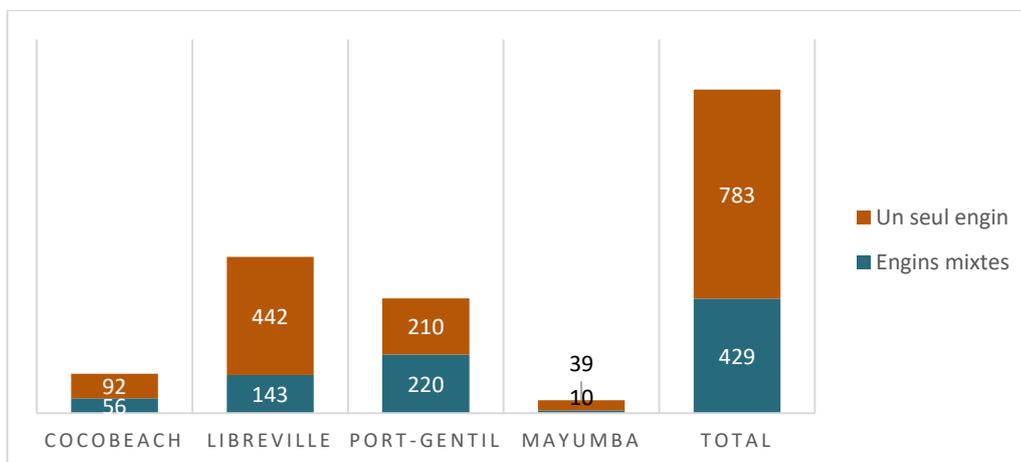


Figure 18 : Nombre de pirogues utilisant un seul engin et plusieurs engins par localité et sur toute la côte du Gabon

Filets tournants (sennes tournantes)

Deux communautés utilisent la senne tournante : la communauté béninoise qui la pratique en grande majorité dans l'estuaire du Komo et dans une moindre mesure dans la baie de Corisco pour cibler la sardine (*Ethmalosa fimbriata*) ; la communauté gabonaise qui l'utilise vers le Cap Esterias ou dans le delta de l'Ogooué, pour cibler un assemblage d'espèces différentes.

La longueur du filet varie entre 300 mètres (pour les Gabonais, avec un équipage allant jusqu'à 6 personnes) à 3000 mètres (pour les Béninois, avec un équipage allant jusqu'à 18 personnes). La hauteur de chute est comprise entre 1,5 mètre pour les Gabonais à plus de 15 mètres pour les Béninois. La taille de la maille de côté de la poche est 20 mm pour les béninois et de 35 mm pour les gabonais. Avec cette taille de maille, peu d'ethmaloses peuvent s'échapper et lorsque la poche se referme, les mailles sont de toute façon trop étirées pour laisser passer des individus. Cet engin n'est donc pas sélectif et toutes les tailles de poisson sont capturées. Ceci explique pourquoi cet engin est interdit par la réglementation gabonaise, cependant une certaine tolérance existe depuis des années de la part de l'administration. Ce filet est en polyamide câblé multifilaments.

Sennes de plage

Ici aussi, deux communautés différentes pratiquent cette pêche : les Gabonais et les Béninois/Togolais. Les Gabonais l'utilisent à des fins commerciales sur la plage de la Sablière à Libreville, cet engin est également utilisé pour la subsistance dans d'autres sites le long de la côte. La communauté béninoise et togolaise pratique cette pêche au Cap Lopez à Port-

Gentil. Les espèces ciblées sont un assemblage, mais se caractérisent par la forte présence de juvéniles (G. De Bruyne 2018, communication personnelle).

La longueur du filet varie entre 100 mètres pour les Gabonais à 800 mètres pour les Togolais. Le nombre de personnes tirant le filet est variable, car il arrive que les passants se joignent à l'opération de pêche pour obtenir du poisson en échange. La hauteur de chute est de 1,5 mètre pour les Gabonais et jusqu'à 12 mètres pour les Togolais. La taille de maille est de 20 mm de côté au niveau de la poche, ce qui explique la non-sélectivité de l'engin et son interdiction par la réglementation gabonaise. L'administration des pêches essaie de faire appliquer cette interdiction. Ce filet est en polyamide câblé multifilaments.

Filets maillants

Les filets maillants sont très diversifiés et sont majoritaires dans la pêche artisanale au Gabon.

- Filet maillant de fond

Ce filet est utilisé par toutes les communautés de pêcheurs (gabonais, nigériens, béninois). Il existe une grande diversité de longueur (de 300 mètres à 3000 mètres) et de hauteur (1,5 mètre à 6 mètres). De manière générale, les communautés étrangères sont celles qui ont les engins les plus longs. Une grande variation dans la taille des mailles (de 30 à 100 mm de côté) peut être observée. Le choix des tailles de maille se fait en fonction des espèces ciblées et, si les pêcheurs utilisent souvent un assemblage de nappes avec des mailles différentes, certains ciblent le « petit poisson », alors les mailles sont comprises entre 30 et 45 mm, tandis que d'autres ciblent le « moyen poisson » avec des mailles comprises entre 40 et 70 mm et finalement d'autres ciblent le « gros poisson » avec des mailles entre 60 et 100 mm. Ce filet est la plupart du temps calé, même s'il peut se déplacer sur de grandes distances, particulièrement lorsque les courants sont forts. Lorsque ce sont les petits poissons qui sont ciblés, le filet est généralement en multimonofilament, c'est-à-dire en polyamide avec entre 3 et 10 filaments, tandis que quand les gros poissons sont ciblés, il est en polyamide câblé multifilaments.

- Filet maillant de surface

Ici aussi, ce filet est utilisé par toutes les communautés. Sa longueur peut varier entre 500 et 3000 mètres et sa hauteur entre 4 et 10 mètres et il est souvent dérivant. Les engins les plus grands sont utilisés par les communautés étrangères. Ce filet cible plus fréquemment les poissons de grande taille avec des mailles comprises entre 40 et 100 mm de côté. Ce filet est généralement en polyamide câblé multifilaments.

La distinction entre les filets maillants de fond et de surface n'est parfois pas significative, car la pêche côtière se pratique dans des eaux peu profondes et le filet prend alors toute la hauteur de la colonne d'eau.

- Filet encerclant

Ce filet est aussi utilisé par toutes les communautés. Les espèces ciblées sont soit la sardine (*Ethmalosa fimbriata*) ou le mullet. La sardine est pêchée par les Nigériens et les Béninois tandis que le mullet est pêché par les Gabonais et les Béninois.

Pour la pêche au mullet, la longueur du filet varie entre 500 et 800 mètres et la hauteur de chute entre 2,5 et 6 mètres. Les mailles ont une taille comprise entre 25 et 40 mm de côté. Il est généralement en polyamide câblé multifilaments.

Pour la pêche à la sardine, la longueur du filet est comprise entre 500 et 1500 mètres et la hauteur de chute entre 6 et 18 mètres. Ce filet occupe toute la hauteur de la colonne d'eau pour éviter que le banc ne s'échappe, ce qui explique les hauteurs de filet importantes, notamment en baie de Corisco où la bathymétrie est élevée. La taille des mailles varie entre 25 et 35 mm de côté. Ce filet est la plupart du temps en multimonofilaments (de 4 à 6 brins). Jusqu'en 2015, les pêcheurs nigériens et béninois utilisaient le monofilament pour cette pêche, mais l'administration des pêches a fait appliquer l'interdiction de ce filet avec rigueur.

Lignes et hameçons

La ligne à main est généralement utilisée par les communautés gabonaise et togolaise/santoméenne qui en ont fait une spécialité à Libreville et Port-Gentil. Cependant, les autres communautés peuvent aussi l'utiliser en appoint d'autres techniques de pêche, notamment avec les filets dormants lorsqu'ils attendent en mer (communauté béninoise de Mayumba). Les pêcheurs pratiquant cette technique ont en général 2 lignes par personne à bord, l'équipage pouvant aller jusqu'à 6 personnes. Les hameçons utilisés sont des n° 6 à 9. A noter aussi qu'à Port-Gentil, les pêcheurs togolais du Cap Lopez développent une nouvelle technique de pêche à la ligne à main, sans pirogue. Ils partent du bord sur une planche (type surf) avec une rame et placent la ligne à une centaine de mètres du bord. Ils reviennent alors au rivage pour attendre la prise. Ils ciblent de grosses pièces (souvent des Sphyrenidés) à l'aide d'hameçons de n° 5 à 7.

La palangre est majoritairement utilisée par la communauté nigériane Ijaw. Ils ont alors des lignes composées de 300 hameçons à 1500 hameçons. Les numéros des hameçons utilisés varient du n° 3 au 9.

3.3.3. Les espèces capturées

Sur 116 espèces présentées aux pêcheurs, 27 familles et 59 espèces ont été identifiées comme pêchées souvent par au moins un type d'engin de pêche (Tableau 10). Certaines espèces sont spécifiques à un engin (par exemple *Lagocephalus laevigatus* pour la ligne à main) tandis que certaines espèces se retrouvent dans tous les engins (*Pseudolithus elongatus* par exemple). Chaque engin capture environ une trentaine d'espèces (moyenne = 29,57, écart-type = 2,64) et au sein de ces espèces, la proportion d'espèces ciblées ou accessoires varie selon l'engin (Figure 19). Il y a une différence significative entre le nombre d'espèces ciblées et accessoires par engin (khi-deux de Pearson = 64,541, df = 12, P-value = $3,31 \cdot 10^{-9}$) et un groupe d'engins se dégage : les filets maillants encerclant la sardine et le mullet et la senne tournante, qui ont peu d'espèces ciblées par rapport aux autres engins.

En regardant plus en détail les espèces, l'ACM montre qu'un groupe d'espèce se trouve plus fréquemment ciblé (Figure 20), en particulier par les filets maillant de fond, filets maillant de surface, lignes à main, palangres et sennes tournantes. Il s'agit de : *Sphyraena afra*, *Pomadasys suillus*, *Pseudolithus elongatus*, *Pseudolithus senegalensis*, *Pseudolithus typus*, *Galeoides decadactylus*, *Pseudolithus senegallus*, *Polydactylus quadrifilis*, *Pentanemus quinquarius*. Pour ce qui est des espèces ciblées par les filets encerclant le mullet et la sardine, leur contribution aux axes est trop faible pour que la représentation soit pertinente.

Tableau 10 : Familles et espèces principales capturées avec en orange, les espèces ciblées et en bleu les espèces accessoires

Famille	Espèce	Code FAO	Filet maillant de fond (n=31)	Filet maillant de surface (n=30)	Filet maillant encerclant mulet (n=30)	Filet maillant encerclant sardine (n=31)	Ligne à main (n=33)	Palangre (n=26)	Senne tournante (n=26)
Ariidae	<i>Arius latiscutatus</i>	AUR							
Belonidae	<i>Tylosurus crocodilus crocodilus</i>	BEN							
Carangidae	<i>Alectis alexandrinus</i>	ALA							
	<i>Alectis ciliaris</i>	LIJ							
	<i>Caranx hippos</i>	CVJ							
	<i>Caranx rhonchus</i>	HMY							
	<i>Chloroscombrus chrysurus</i>	BUA							
	<i>Lichia amia</i>	LEE							
	<i>Selene dorsalis</i>	LIUK							
	<i>Trachinotus ovatus</i>	POP							
	<i>Trachinotus teraia</i>	TIE							
Clupeidae	<i>Ethmalosa fimbriata</i>	BOA							
	<i>Sardinella aurita</i>	SAA							
	<i>Sardinella maderensis</i>	SAE							
Cynoglossidae	<i>Cynoglossus sp</i>	TOX							
Dasyatidae	<i>Fontitrygon margarita</i>	RDS							
Drepaneidae	<i>Drepane africana</i>	SIC							
Elopidae	<i>Elops lacerta</i>	CEC							
	<i>Elops senegalensis</i>	CEG							
Gerridae	<i>Eucinostomus melanopterus</i>	MFF							
Glaucostegidae	<i>Glaucostegus cemiculus</i>	RBC							
Haemulidae	<i>Plectorhinchus macrolepis</i>	GBL							
	<i>Pomadasys jubelini</i>	BUR							
	<i>Pomadasys suillus</i>	PKK							
Lobotidae	<i>Lobotes surinamensis</i>	LOB							
Lutjanidae	<i>Lutjanus agennes</i>	LJA							
	<i>Lutjanus dentatus</i>	LJE							
	<i>Lutjanus endecacanthus</i>	QFM							
	<i>Lutjanus goreensis</i>	LJO							
Mugilidae	<i>Mugil bananensis</i>	KZS							
	<i>Mugil curema</i>	MGU							
	<i>Neochelon falcipinnis</i>	KZY							
	<i>Parachelon grandisquamis</i>	KZW							
Muraenidae		MUI							
Polynemidae	<i>Galeoides decadactylus</i>	GAL							
	<i>Pentanemus quinquarius</i>	PET							
	<i>polydactylus quadrifilis</i>	TGA							
Pristigasteridae	<i>Ilisha africana</i>	ILI							
Rajidae	<i>Raja miraletus</i>	JAI							
Rhinobatidae	<i>Rhinobatos albomaculatus</i>	GUB							
	<i>Rhinobatos irvinei</i>	RBI							
Scianidae	<i>Pseudotolithus elongatus</i>	PSE							
	<i>Pseudotolithus senegalensis</i>	PSS							
	<i>Pseudotolithus senegallus</i>	CKL							
	<i>Pseudotolithus typus</i>	PTY							
	<i>Umbrina canariensis</i>	UCA							
	<i>Umbrina ronchus</i>	UMO							
Scombridae	<i>Scomberomorus tritor</i>	MAW							
	<i>Cephalopholis nigri</i>	CFQ							
Serranidae	<i>Cephalopholis taeniops</i>	EFA							
	<i>Epinephelus aeneus</i>	GPW							
Sparidae	<i>Pagellus bellottii</i>	PAR							
	<i>Pagrus caeruleostictus</i>	BSC							
Sphyraenidae	<i>Sphyraena afra</i>	BAG							
	<i>Sphyraena barracuda</i>	GBA							
	<i>Sphyraena guachancho</i>	YRU							
	<i>Sphyraena sphyraena</i>	YRS							
Sphyrnidae	<i>Sphyrna lewini</i>	SPL							
	<i>Sphyrna mokarran</i>	SPK							
Tetraodontidae	<i>Ephippion guttifer</i>	EFG							
	<i>Lagocephalus laevigatus</i>	LFL							
Trichiuridae	<i>Trichiurus lepturus</i>	LHT							

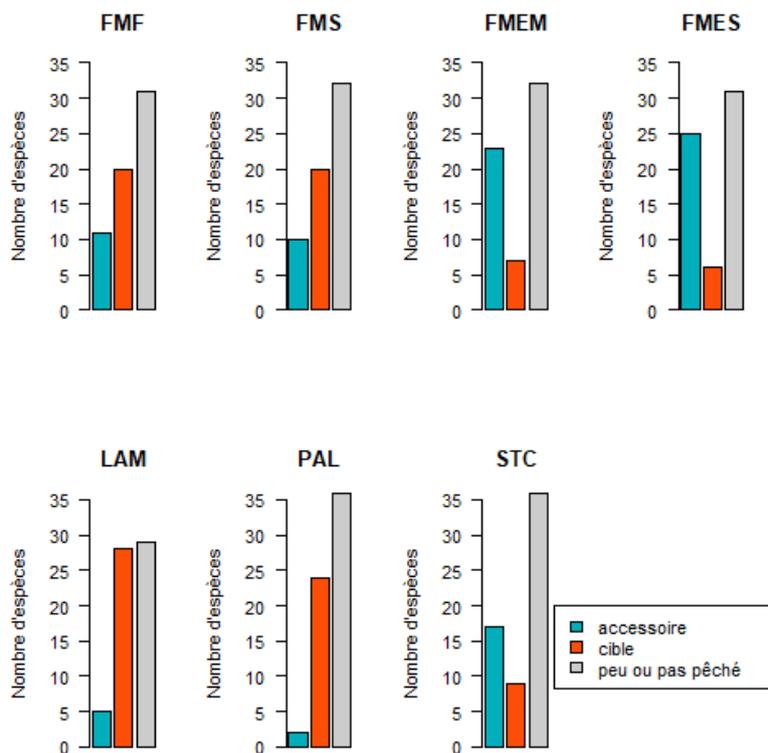


Figure 19 : Nombres d'espèces ciblées, accessoires et peu ou pas pêchées par engin. FMF : Filet maillant de fond, FMS : Filet maillant de surface, FMEM : Filet maillant encerclant le mullet, FMES : Filet maillant encerclant la sardine, LAM : Ligne à main, PAL : Palangre et STC : Senne tournante

Concernant les prises accessoires, c'est-à-dire les espèces que les pêcheurs ne cherchent pas à attraper en premier lieu, pour la majorité des engins ce sont : *Ilisha africana*, *Cynoglossus sp*, *Chloroscombrus chrysurus*, *Trachinotus teraia*, *Parachelon grandisquamis*, *Ethmalosa fimbriata*, *Caranx hippos*, *Neochelon falcipinnis*, *Arius laticutatus*, *Elops lacerta*, *Scomberomorus tritor*, *Drepane africana*, *Pomadasys jubelini*. Là encore, pour les filets encerclant le mullet et la sardine, certaines espèces ne sont pas accessoires, mais ciblées (*Parachelon grandisquamis* et *Neochelon falcipinnis* pour les mullets, *Ethmalosa fimbriata* pour la sardine).

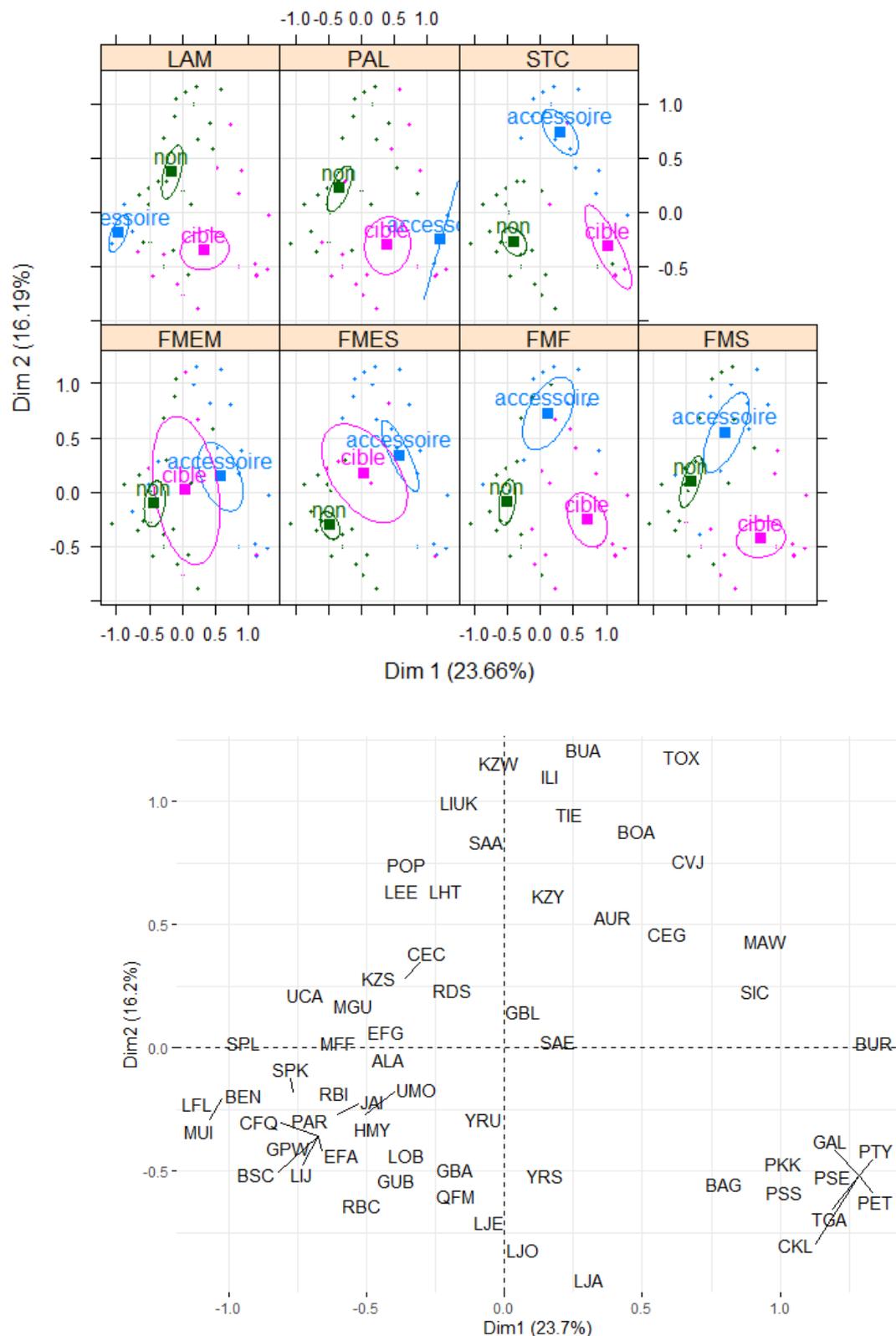


Figure 20 : Analyse des correspondances multiples représentant la répartition des différentes espèces. Répartition selon la modalité (cible, accessoire ou peu pêchée) selon les engins (en haut) et répartition des espèces avec leur code FAO (en bas). FMF : Filet maillant de fond, FMS : Filet maillant de surface, FMEM : Filet maillant encerclant le mullet, FMES : Filet maillant encerclant la sardine, LAM : Ligne à main, PAL : Palangre et STC : Senne tournante

3.3.4. Définition des métiers

Grâce aux questionnaires et au découpage de techniques indiqués par les pêcheurs au sein de leurs débarcadères respectifs, les techniques de pêche ont été regroupées par métier, dont les caractéristiques communes sont : l'engin utilisé, l'espèce ou la taille de poisson ciblée, la communauté de pêcheur, la zone de pêche et la période d'activité. 48 métiers différents ont ainsi été identifiés pour toute la côte gabonaise (Tableau 11). Les engins en pêche artisanale maritime au Gabon ont été décrits dans des travaux précédents, avec des distinctions par communautés, qui se rapprochaient d'une catégorisation par métier (Seck, 1987 ; Kébé et al., 1996).

Le Tableau 11 montre la catégorisation par métier établie suite à cette étude, ainsi que les similitudes avec les classifications précédemment effectuées.

Cette catégorisation plus précise que celle communément admise pour les métiers découle des constats précédents. Dans la situation gabonaise, il est important de rajouter la communauté. En effet, la nationalité et/ou l'ethnie influencent beaucoup le visage de la pêche au Gabon comme cela a été montré précédemment.

Concernant les espèces ciblées, lorsqu'il s'agit d'un assemblage d'espèces, la taille des poissons ciblés est seulement précisée. Les petits poissons sont ciblés avec des mailles de côté entre 30 et 50 mm, les moyens poissons sont ciblés avec des mailles entre 50 et 70 mm et les gros poissons sont ciblés avec des mailles comprises entre 70 et 110.

Tableau 11 : Découpage en métiers de la pêche artisanale gabonaise maritime sur toute la côte. Les métiers sont définis en fonction des engins de pêche, de la durée d'un voyage de pêche, des espèces ciblées, des communautés, des débarcadères d'origine, des zones de pêche approximatives et de la période d'activité. Pour les espèces ciblées, lorsqu'il s'agit d'un assemblage d'espèces, la classe de taille « petits poissons » correspond aux individus attrapés par des tailles de maille comprises entre 30 et 50 mm, « moyens poissons » entre 50 et 70 mm et « gros poissons » entre 70 et 110 mm. « Tous poissons » correspond à toutes les tailles. Yoruba et Ijaw sont deux ethnies nigérianes.

Engin	Localité la plus proche des débarquements	Durée (jours)	Espèces cibles (groupe de taille ou espèces)	Communautés	Débarcadères	Zone de pêche approximative	Période d'activité	Nombre de pirogue	Kébé (1996)	Seck (1987)
Filet à l'étalage	Libreville	1	crevette	Ijaw	Owendo	Estuaire du Komo	grande marée	5	Filet remorqué à main	Chalut remorqué à crevette, nigérian, Libreville
Filet maillant de fond	Cocobeach	1	gros poissons	Bénois	Massamboué	Baie de corisco	toute l'année	26		
	Cocobeach	2 - 5	moyens poissons	Bénois	Massamboué	Baie de corisco	toute l'année	8		
	Cocobeach	1	gros poissons	Gabonais	Massotie	Côtière de Corisco	toute l'année	11		
	Cocobeach et Libreville	1	petits poissons	Gabonais	Emone, Massotie	Côtière de Corisco	grande marée	18		
	Cocobeach	2 - 5	moyens poissons	Ijaw	Lémé	Guinée Équatoriale	toute l'année	6		
	Cocobeach	1	petits poissons	Yoruba	Lémé, Massamboué	Baie de corisco	petite marée	44		
	Libreville	1 - 3	gros poissons	Bénois	Ozoungué	Estuaire du Komo	toute l'année	13	filet de fond "lambo"	
	Libreville	1 - 3	gros poissons	Bénois/Togolais	Michel marine	Large de Libreville	toute l'année	14	filet de fond "lambo"	
	Libreville	2 - 5	moyens poissons	Gabonais	Bambouchine, Milembié	Parc Natianl d'Akanda	toute l'année	7		
	Libreville	1 - 3	gros poissons	Ijaw	Owendo	Estuaire du Komo	toute l'année	6	Filet maillant de fond "Igbo"	filet maillant calé, Owendo, Libreville
	Libreville	2 - 5	gros poissons	Yoruba	Bac aviation, Ambowé	Baie de corisco	toute l'année	59		Filet dérivant de fond à gros poissons, nigérian, Libreville
	Libreville	2 - 5	petits poissons	Yoruba	Ozoungué	Large de Libreville	toute l'année	33		Filet maillant dérivant de fond à bossu, nigérian, Libreville
	Libreville	1 - 3	petits poissons	Yoruba/Bénois	Ozoungué	Estuaire du Komo	toute l'année	135		Filet maillant dérivant de fond à bossu, nigérian, Libreville
	Mayumba	1 - 3	gros poissons	Bénois	Office	Large de Mayumba	toute l'année	46	filet de fond "lambo"	
	Port-Gentil	1	petits poissons	Bénois	Matanda	Baie de POG	toute l'année	20		filet maillant calé, petis poissons, Matanda
	Port-Gentil	1 - 3	moyens poissons	Bénois	Matanda	Baie de POG	toute l'année	141		filet maillant calé, moyens poissons, Matanda
	Port-Gentil	2 - 5	gros poissons	Bénois/Gabonais	Matanda	Large et baie de POG	saison des pluies	121	filet de fond "lambo"	Filet maillant dérivant de fond, Matanda
Port-Gentil	1	raies/requins	Ijaw	Iguiri	Baie de POG	toute l'année	6			

Filet maillant de surface	Cocobeach	1	gros poissons	Ijaw	Iboundji, Lybe	Baie de corisco	toute l'année	9	Filet maillant dérivant de surface	
	Cocobeach	2 - 5	moyens poissons	Ijaw	Lémé	Baie de corisco	toute l'année	5	Filet maillant dérivant de surface	
	Libreville et Cocobeach	2 - 5	moyens poissons	Béninois	Akiliba, Ambowé, Massamboué	Baie de corisco	toute l'année	41		
	Libreville	1 - 3	gros poissons	Béninois	Ozoungué	Estuaire du Komo	toute l'année	9		
	Libreville	1	moyens poissons	Ijaw	Bikele	Parc Natianl d'Akanda	grande marée	8	Filet maillant dérivant de surface	
	Libreville	1 - 3	gros poissons	Ijaw	Owendo	Estuaire du Komo	toute l'année	136	Filet maillant dérivant de surface	Filet maillant dérivant sans ralingue plombée, Owendo
	Libreville	1 - 3	gros poissons	Yoruba	Ozoungué	Estuaire du Komo	toute l'année	10		
	Mayumba	1	sardine	Béninois	Office	Large de Mayumba	toute l'année	9	Filet maillant encerclant	
Filet maillant encerclant	Cocobeach	1	sardine	Gabonais	Emone	Côtière de Corisco	petite marée	5		
	Libreville	1	mulet	Béninois	Ambowé	Parc Natianl d'Akanda	toute l'année	3		
	Libreville	1 - 2	mulet	Béninois	Ozoungué	Estuaire du Komo	toute l'année	12		
	Libreville	1	mulet	Gabonais	Bambouchine, Massotie, Milembié	Parc Natianl d'Akanda	toute l'année	29		
	Libreville et Cocobeach	1	sardine	Yoruba	Bac Aviation, Lémé, Lybe, Massamboué	Baie de corisco	toute l'année	73	Filet maillant encerclant	Filet maillant encerclant à ethmalose, nigérian, Libreville
	Libreville	1	sardine	Yoruba	Ozoungué	Estuaire du Komo	toute l'année	105	Filet maillant encerclant	Filet maillant encerclant à ethmalose, nigérian, Libreville
	Port-Gentil	1	sardine	Béninois	Matanda	Baie de POG	toute l'année	78	Filet maillant encerclant	
Ligne à main	Libreville	1 - 3	moyens poissons	Gabonais	Jeanne Ebory, Cap esterías	Pointe Denis, Mbanié	toute l'année	29	Ligne à main	
	Mayumba	1 - 3	gros poissons	Béninois	Office	Large de Mayumba	saison seche	10		
	Port- Gentil et Libreville	1 - 3	gros poissons	Gabonais/Santoméens	CCPAP, Michel Marine	Large de POG et Libreville	saison seche	42		
	Port-Gentil	1	gros poissons	Béninois/Togolais	Cap Lopez	Cap Lopez	saison des pluies	20		
Palangre	Cocobeach	1	gros poissons	Gabonais	Emone	Côtière de Corisco	toute l'année	8	Palangre de fond	
	Cocobeach	1	gros poissons	Ijaw	Iboundji, Lybe, Lémé	Baie de corisco	toute l'année	15	Palangre de fond	
	Libreville	1	gros poissons	Ijaw	Bikele	Parc Natianl d'Akanda	petite marée	14	Palangre de fond	
	Libreville	1 - 3	gros poissons	Ijaw/Béninois	Owendo, Oloumi	Estuaire du Komo	saison des pluies	32	palangre de fond "Ewola-zawolo"	Palangre de fond, Owendo
	Port-Gentil	1	gros poissons	Ijaw	Iguiri	Baie de POG	toute l'année	20	Palangre de fond	
Senne de plage	Port-Gentil	1	tous poissons	Béninois/Togolais	Cap Lopez	Cap Lopez	toute l'année	4	Senne de plage	Senne de plage, Cap Lopez
Senne tournante	Cocobeach	1	sardine	Béninois	Massamboué	Guinée Équatoriale	saison seche	2	Senne tournante "Awatcha"	
	Libreville	1	sardine	Béninois	Ozoungué	Estuaire du Komo	toute l'année	22	Senne tournante "Awatcha"	Senne coulissante à sardine
	Libreville	1	tous poissons	Gabonais	Cap Estérias	Ile Mbanié et Cap Estérias	saison seche	2		
	Port-Gentil	1	tous poissons	Gabonais	Villages du delta	Delta de l'Ogooué	toute l'année	67		

3.4. Discussion

Cette étude a mis à jour et a amélioré la description de la flotte de pêche artisanale maritime au Gabon. La méthodologie, se rapprochant d'une enquête-cadre (Gbaguidi & Verstralen, 1998), a permis d'actualiser les connaissances sur un secteur très dynamique. Les répondants aux questionnaires, choisis par la méthode en « boule de neige », ont permis de couvrir l'ensemble des techniques de pêche commerciales de la côte, excluant la pêche dans les lagunes. Ces résultats sont importants dans le contexte régional de l'Afrique centrale où la pêche artisanale est sous-étudiée et manque cruellement de données (Belhabib et al., 2018).

3.4.1. Les lieux de débarquement

Les 41 débarcadères identifiés sont en nombre inférieur que ceux identifiés par la précédente enquête-cadre (53 en 2008) (DGPA, 2009) et semblent être un nombre inférieur aux chiffres régionaux en regard de la longueur du linéaire de côte. La République du Congo voisine, avec une côte environ 4 fois plus restreinte (169 km), possède 28 sites de débarquements (Metcalf et al., 2016) et le Cameroun, avec ses 590 km de côte, aurait environ 200 sites de débarquement (Kébé et al., 1993). Au Gabon, de grandes portions de côte sont vides et les lieux de débarquement sont concentrés autour des villes côtières : Cocobeach, Libreville, Port-Gentil et Mayumba. Cela s'explique par le fait que ces villes sont les lieux de vente et de consommation des captures de la pêche artisanale. Ainsi, le transport des captures est moindre. Le fait que le nombre de débarcadères ait diminué s'explique par des décisions gouvernementales de vider certains lieux en délogeant les communautés de pêcheurs (Ekouala, 2013 ; Agence Nationale des Parcs Nationaux, 2014) et de diminuer le nombre des points de débarquements. Par exemple, l'arrêté 000060/MEFPEPGDE/SG/DGPA, qui fixe les points de débarquement dans les pêcheries artisanales maritimes de Libreville, d'Owendo et d'Akanda, a pour objectif de limiter le nombre de débarcadères dans l'agglomération de Libreville et de ses alentours. Pris en 2017, il fixe 7 points de débarquement obligatoires, alors qu'au moment de notre étude, une trentaine de débarcadères avaient été identifiés pour la même zone. Cette décision permettrait de concentrer les débarquements dans les lieux obligatoires et ainsi permettre un meilleur suivi par l'administration des pêches, ainsi qu'envisager des aménagements pour une meilleure hygiène et une manutention facilitée. Cette démarche réglementaire reste encore à être mise en œuvre dans les autres localités de la côte gabonaise. Quoiqu'il en soit, cela montre le dynamisme du secteur qui a été modifié en 12 ans.

La particularité des débarcadères sur la côte gabonaise est liée au regroupement par communautés et cela façonne le visage des débarcadères. Ce regroupement des pêcheurs par groupes ethnolinguistiques avait déjà été souligné par (Bignoumba, 2011). Les migrations

des pêcheurs au Gabon et le fait que les étrangers constituent 80 % des pêcheurs expliquent en partie ce phénomène. Leur manque d'intégration dans la société gabonaise et le repli identitaire les poussent à rester « entre eux », mais la similarité des techniques de pêche, des espèces ciblées et des zones de pêche les rassemblent aussi. Dans d'autres pays, tels que la Guinée-Bissau, le regroupement des pêcheurs par débarcadère se fait plutôt sur la base des techniques de pêche (Chavance et al., 1999). La répartition des communautés le long de la côte est le résultat des vagues de migrations (Sabinot, 2008). Ainsi, les Nigériens sont concentrés dans le nord du pays et ne sont présents que dans un seul débarcadère à Mayumba, tandis que les Béninois sont présents sur toute la côte. Les Gabonais sont aussi présents sur toute la côte et sont majoritairement dans les villages éloignés des grandes agglomérations. Les débarcadères mixtes sont eux dans les agglomérations telles que Libreville, Port-Gentil et Cocobeach.

3.4.1.1. Les débarcadères gabonais

Les débarcadères gabonais comptent peu de pirogues (moyenne = 10). Leur superficie est relativement faible (moyenne = 1292 m²). Ils ne comportent pas de fumoirs, ce qui indique que les produits sont commercialisés frais de manière générale. Il peut y avoir des petits fumoirs, mais uniquement destinés à la consommation villageoise. La présence des habitations des pêcheurs sur le site dépend de la localisation du débarcadère. Lorsque le village est isolé, les pêcheurs vivent sur le rivage, à proximité de leurs pirogues, tandis que lorsque le débarcadère est en ville, les pêcheurs préfèrent avoir des habitations qui ne sont pas dans la proximité directe du rivage. Les débarcadères gabonais sont retrouvés à Cocobeach, Libreville et dans une moindre mesure à Port-Gentil. Ils font tous partie de la catégorie 1, c'est-à-dire qu'il y a très peu, voire aucun aménagement de ces débarcadères.

3.4.1.2. Les débarcadères béninois

Ce sont des débarcadères de taille importante (moyenne = 10 900 m²) et au nombre de pirogues moyen (moyenne = 31). La plupart du temps, ils possèdent des fumoirs, le poisson est transformé sur place par la communauté. Les pêcheurs béninois habitent toujours dans le débarcadère qui abrite leur activité. Cela explique les grandes superficies de ces lieux. Les débarcadères béninois se retrouvent en majorité à Port-Gentil et à Mayumba et dans une moindre mesure à Libreville. Ils font tous partie de la catégorie 1, et sont donc très peu aménagés.

3.4.1.3. Les débarcadères nigériens

Le nombre de pirogues dans les débarcadères nigériens est moyen (moyenne = 26) et la superficie est assez importante (moyenne = 9154 m²). Cela s'explique par le fait que les pêcheurs ont leurs habitations dans le débarcadère. La présence de fumoirs n'est pas

systématique et est caractéristique d'une pêche spécialisée de la sardine (*Ethmalosa fimbriata*). Si cette pêche n'est pas pratiquée, les fumoirs sont absents et le poisson est vendu frais. Les débarcadères nigériens sont en majorité à Libreville, puis à Cocobeach et dans une moindre mesure à Port-Gentil. Ils sont également de catégorie 1, c'est-à-dire avec peu ou pas d'aménagement.

3.4.1.4. Les débarcadères mixtes

Le plus grand nombre de pirogues est rencontré dans les débarcadères mixtes (moyenne = 58). Les superficies sont également plus importantes (moyenne = 20 122 m²). La présence de fumoirs n'y est pas une généralité. Cette catégorie peut en fait être divisée en 2 :

- Les débarcadères aménagés (de catégorie 2 ou 3) qui attirent toutes les nationalités pour les commodités qu'ils offrent. Là, il n'y a généralement pas de fumoirs et les habitations ne se trouvent pas dans le débarcadère. Ce sont précisément les centres de pêche construits par l'Etat, tels que le Centre d'Appui à la Pêche Artisanale de Libreville (CAPAL) ou encore le Centre de Pêche Artisanale de Port-Gentil (CPAPG).
- Les débarcadères situés en ville qui rassemblent des communautés différentes, surtout pour des raisons d'espace et de foncier. Dans les zones urbaines à forte concentration telles que Libreville et Port-Gentil, les terrains en bord de mer ont une valeur foncière importante et quand un terrain n'est pas encore viabilisé, les pêcheurs s'y regroupent en nombre, car le fait d'être dans la ville leur facilite l'accès aux marchés et autres commodités (Njock & Westlund, 2010). Ces débarcadères, telles que la zone d'Ozoungué à Libreville et celle de Matanda à Port-Gentil sont caractérisés par la présence de fumoirs, des habitations de pêcheurs sur place et, ils sont sans aménagement (classe 1).

De manière générale, la pêche artisanale côtière au Gabon, largement dominée par des étrangers du Nigéria et du Bénin, tire ses caractéristiques des migrations des peuples. Chaque communauté a apporté sa façon de vivre et d'agencer un lieu de débarquement. Malgré plusieurs décennies de présence sur le territoire gabonais, ces caractéristiques persistent : le type d'habitation, la façon d'agencer le débarcadère, la présence d'unités de transformation et également les techniques de pêche. Ces caractéristiques se retrouvent dans les pays frontaliers avec la présence de Nigériens et de Béninois en Guinée Equatoriale, qui représentent 50 % des pêcheurs (WCS Guinée Equatoriale – communication personnelle, 2018). De même en République du Congo, les nationaux représentent un nombre très faible dans le secteur de la pêche artisanale maritime et les Béninois constituent 93 % des Africains de l'ouest à travailler dans le secteur (Tati, 2008).

3.4.2. Les outils de la pêche

3.4.2.1. Les pirogues

Deux grands types de pirogues sont utilisés pour la pêche au Gabon, les pirogues en bois et les pirogues en fibre de verre. Les pirogues en bois dominant encore largement (76 %), mais le nombre de pirogues en fibre de verre tend à augmenter au cours des années (DGPA, 2009). Si celles-ci sont plus chères, elles deviennent indispensables dans des conditions de navigation difficiles. En particulier, à Mayumba dans le sud du pays, les pêcheurs vivent au bord d'une lagune et doivent traverser une embouchure dangereuse. Les pirogues en fibre de verre sont plus légères, solides, et ont une durée de vie plus longue (National Research Council, 1988). C'est leur légèreté et leur maniabilité qui permettent de passer l'embouchure plus facilement et avec plus de sécurité. A Port-Gentil, une large proportion des pirogues est encore en bois, révélant que la pêche se déroule en grande partie dans les eaux calmes du delta de l'Ogooué, mais que certaines techniques de pêche requièrent d'aller en haute mer (De Bruyne, 2018 : communication personnelle). Concernant Libreville et Cocobeach, la quasi-totalité de la flotte est en bois. Si les proportions de chaque type de pirogue évoluent au cours du temps, les catégories n'ont pas changé au cours des 10 dernières années (Ekouala, 2013). En effet, ce sont les mêmes techniques de fabrication, mais les pêcheurs investissent quand ils le peuvent (et quand cela est nécessaire) dans les pirogues en fibre de verre.

Avec l'estimation d'une flotte de 1212 pirogues, force est de constater qu'il y a une part de ces embarcations qui ne demandent pas d'autorisations de pêche chaque année. Au Gabon, une autorisation de pêche est délivrée pour une pirogue donnée et pour un an. La comparaison du nombre de pirogues recensées et le nombre d'autorisations délivrées, révèle que 28 % des pirogues n'ont pas d'autorisations de pêche. Cela peut s'expliquer par le fait qu'elles sont parfois inactives et que certaines sont dans l'illégalité.

3.4.2.2. Les engins de pêche

Les engins de pêche utilisés en pêche artisanale maritime commerciale au Gabon sont divers et nombreux. La matière première (ballots de filets, ligne, hameçons, etc.) est achetée localement et les pêcheurs fabriquent eux-mêmes leurs engins, en l'adaptant à leur zone de pêche et aux espèces ciblées. Souvent pour chaque communauté, des personnes sont dédiées à la fabrication et à la réparation (ramandage pour les filets). De plus, 35 % des pirogues utilisent plusieurs techniques de pêche au cours de l'année. Les pêcheurs changent d'engins pour s'adapter aux changements des conditions biophysiques, aux habitats, ainsi qu'aux comportements des espèces et la compétition du marché (Selgrath et al., 2018). Une des pratiques les plus communes au Gabon est l'alternance entre le filet maillant de fond et le filet encerclant la sardine. Ces deux engins se pratiquent à partir de la même pirogue et les

pêcheurs en changeant selon la marée (il y aurait plus de captures de sardines en marée de vives eaux dans la baie de Corisco) ou encore selon les prises du jour précédent.

Le filet maillant de fond domine largement sur toute la côte (44 %) et c'est une situation identique à celle de 2008, où cet engin était utilisé à hauteur de 32 % (DGPA, 2009 ; Ekouala, 2013). Par contre, en 2008, le deuxième engin le plus important était le filet maillant de surface, mais la prépondérance de son usage a été remplacée par le filet encerclant la sardine. La pêche aux petits pélagiques prend de plus en plus d'importance en pêche artisanale maritime, avec aussi l'augmentation considérable de la flotte de sennes tournantes qui cible ces espèces. En 2008, une seule embarcation pratiquait cette pêche alors qu'il y en a actuellement 22. Au vu de leurs captures importantes, cela constitue une augmentation de l'effort de pêche non négligeable. De manière générale, plus le nombre de pêcheurs est important dans une localité et plus la diversité des engins utilisés est grande. En effet, cibler un plus large éventail d'espèces en diversifiant les engins peut améliorer la valeur économique des prises. Cela a été constaté au Kenya (McClanahan et al., 2008) et dans d'autres cas, c'est l'effet inverse, avec une baisse de diversité du nombre d'engins lorsque l'effort de pêche augmente. Dans ce cas, l'utilisation d'engins plus efficaces et plus destructifs remplace l'usage des autres engins et amenuise des stocks spécifiques.

Les engins de pêche retrouvés au Gabon sont similaires aux autres pays de la région. L'Afrique centrale est le lieu d'une grande diversité d'engins, mais les plus utilisés sont les hameçons, les lignes, les filets maillants calés et les sennes tournantes (Franz et al., 2019). Les filets maillants et sennes tournantes dominant au Cameroun (Ayissi & Jiofack, 2014) tandis que les filets maillants (calés et dérivants) dominant au Congo (Metcalf et al., 2016). Comme nous l'avons vu précédemment, les communautés étrangères sont également les mêmes dans les pays frontaliers et ils existent de nombreux échanges et communications entre les pêcheurs installés le long de la côte de l'Afrique centrale. La communauté béninoise est particulièrement leader dans ces échanges. Il n'est donc pas étonnant que les techniques de fabrication et d'utilisation des outils de la pêche soient partagées.

Quoiqu'il en soit, comprendre l'utilisation des engins et son dynamisme au cours du temps est capital pour bien comprendre la pêche artisanale. Ajuster l'estimation de l'effort de pêche grâce à de tels descripteurs permet généralement d'améliorer les estimations des captures (Marchal et al., 2007), mais aussi les facteurs socio-économiques.

3.4.3. Les espèces capturées

La notion d'espèces ciblées a été généralement bien comprise par les pêcheurs, comme les espèces qu'ils souhaitent attraper avec leur engin en priorité. La notion d'espèce accessoire a été clarifiée avec eux, correspondant aux espèces non ciblées telles que définies par Hall

(1996). Tout de même, la notion de « pêché souvent ou pas » a été relative au ressenti du pêcheur et peut amener des erreurs dues à cette subjectivité. Une quantification exacte des captures aux débarcadères permettrait de vérifier cette catégorisation. Quoiqu'il en soit, les pêcheurs ont été unanimes sur le fait qu'ils ne rejettent presque rien à l'eau, et donc les espèces accessoires sont gardées et correspondent à des prises de moindre valeur économique ou encore à des espèces qu'ils ne ciblent pas en priorité. Ainsi, les scianidés, polynemidés, lutjanidés et sphyraenidés sont la plupart du temps ciblés, quel que soit l'engin. Ce sont les espèces à haute valeur commerciale au Gabon (Kébé et al., 1996). Ces familles sont aussi régulièrement citées dans les études concernant la pêche artisanale gabonaise (El Ayoubi & Failler, 2013 ; Lembe, 2014) et dans les pays frontaliers (Kébé et al., 1993 ; Girard et al., 2014). La distinction entre poissons démersaux et pélagiques n'est pas nette entre les engins de fond et de surface. En effet, la pêche artisanale maritime gabonaise est très côtière et se déroule souvent dans des baies ou estuaires, dans des eaux peu profondes, où bien souvent l'engin capture dans toute la colonne d'eau. Ainsi, le filet dérivant de surface capture souvent des poissons benthiques comme les soles (*Cynoglossus* sp.). De la même façon, des espèces benthiques sont capturées par les engins ciblant les pélagiques (senne tournante et filet maillant encerclant), ce qui montre que ces engins travaillent aussi sur le fond bien souvent. D'autres espèces ciblées sont spécifiques à certains engins, en particulier la ligne à main ou la palangre, qui peuvent pêcher dans des zones rocheuses, non accessibles aux filets. Les espèces ciblées sont alors les lutjanidés, les serranidés et les espèces de raies et de requins.

Concernant la diversité des espèces pêchées, il y a une différence nette entre les engins actifs et passifs. Les engins actifs, tels que les filets encerclants et les sennes tournantes capturent un nombre plus faible d'espèces. Cela s'explique par le fait que leur technique de pêche consiste bien souvent à repérer un banc de poissons d'une espèce principale et d'encercler ce banc pour relever le filet tout de suite après. La sardine *Ethmalosa fimbriata* est l'espèce ciblée principale pour le filet encerclant la sardine et la senne tournante. Cependant, dans leurs réponses aux questionnaires, les pêcheurs ont également cité les scianidés comme une famille ciblée. Si pour le filet encerclant la sardine, les scianidés sont toujours dans une moindre proportion que les cupléidés, ce n'est pas le cas pour la senne tournante, où certains voyages de pêche ramènent en majorité des scianidés (*Pseudolithus elongatus*). Les pêcheurs parlent de « marée à bossu » (observation personnelle).

La diversité d'une trentaine d'espèces pêchées régulièrement semble être similaire aux pays voisins, notamment en République du Congo, où Girard et al. (2014) font mention de 33 espèces principales. Lorsque pêche artisanale et industrielle sont confondues, il est fait état de 70 groupes taxonomiques pêchés au Gabon, mais sans distinction de fréquence de capture

(Belhabib, 2015). Ce même auteur cite tout de même 5 espèces ou groupes d'espèces qui dominent les captures commerciales : *Ethmalosa fimbriata* en grande majorité, puis *Pseudolithus* spp., *Dentex* spp. *Polydactilus quadrifilis*, *Sphyraena* spp et les crevettes (qui sont pêchées essentiellement en pêche industrielle).

3.4.4. Vers une définition des métiers

Cette étude a permis pour la première fois de catégoriser les techniques de pêche artisanale maritime de toute la côte gabonaise en métiers. Les 48 métiers différents identifiés permettent d'améliorer les connaissances sur les pratiques de pêche, d'actualiser des descriptions précédentes et d'avoir une vision nationale. Les descriptions précédentes semblaient être focalisées sur Libreville et Port-Gentil et omettaient donc Cocobeach et Mayumba (Seck, 1987 ; Kébé et al., 1996). Cette comparaison met aussi en évidence le caractère très dynamique de la pêche artisanale maritime au Gabon. Ainsi, certaines techniques de pêche ont évolué, telles que la pêche à la crevette dans l'estuaire du Komo, qui se pratiquait avant à pied et qui, maintenant, se fait à partir de pirogues. D'autres techniques ont disparu, telles que la ligne à main pratiquée à partir de cordiers (Seck, 1987). Enfin, de nouvelles techniques sont apparues, telles que la pêche au filet encerclant le mullet.

La catégorisation par métier peut donc être éphémère dans le temps, mais n'en est pas moins utile. Cela permet une meilleure prédiction de la mortalité due à la pêche (Marchal, 2008), meilleure prédiction économique (Biseau & Gondeaux, 1988) et une meilleure gestion par segments cohérents (Ulrich et al., 2009 ; Salas et al., 2019). En effet, chaque métier diffère des autres par sa composition spécifique, sa production et ses revenus (Tzanatos et al., 2006).

La notion de métier peut paraître limitée pour certains auteurs (Boonstra & Hentati-Sundberg, 2014), d'autres concepts de catégorisation existent : les styles de pêche, qui prennent en compte les dimensions comportementales, sociales et écologiques (Boonstra & Hentati-Sundberg, 2014), les tactiques de pêche, qui incluent le métier et y ajoutent le comportement du pêcheur (traditionnel vs explorateur, stationnaire vs mobile, aléatoire vs agrégatif) ou encore les stratégies de pêche, qui sont la somme des tactiques de pêche à l'échelle annuelle (Marchal et al., 2006). Quoiqu'il en soit, il y a un consensus qui admet qu'une classification supérieure au type d'engin est nécessaire pour la gestion (Ulrich et al., 2009). En effet, le découpage par métier permet d'identifier les changements dans l'effort de pêche, dans les coûts et profits de l'activité et dans la composition des captures (Salas et al., 2019).

Dans le cas de notre étude, nous avons utilisé une définition étendue du métier (au sens de Mesnil et Shepherd, 1990) comme une entité fonctionnelle cohérente en termes de type et taille d'embarcation, d'engin de pêche, d'espèces (ou groupes d'espèces) ciblées et

d'habitudes de spatiales et temporelles, mais nous y avons ajouté le facteur communautaire (nationalité et/ou ethnie) qui façonne le visage de pêche artisanale au Gabon.

Plusieurs stratégies existent pour définir les métiers de pêche, certains auteurs s'appuient sur la composition des captures (Deporte et al., 2012 ; Ndour et al., 2016), sur un inventaire de la flotte accompagné d'interviews (Marchal, 2008 ; Salas et al., 2019) ou une combinaison des deux (Tzanatos et al., 2006). Ces différentes démarches montrent que dans certains cas, les notions de métiers et profil de captures sont des concepts interchangeable (Marchal, 2008).

Dans le cas du Gabon, la démarche adoptée est passée par les questionnaires, à défaut de données précises et quantifiées sur les captures. Il apparaît que les métiers de pêche sont caractérisés par leur dynamisme dans le temps. Lorsqu'un groupe change de stratégie de pêche, par opportunisme ou par obligation, l'ensemble des autres groupes peuvent recomposer leur propre stratégie en fonction des nouvelles possibilités, qui respectent néanmoins toujours la priorité d'accès donnée en premier aux autochtones, en second aux nationaux. Ceci force les allochtones et les étrangers à être plus dynamiques, plus innovants, plus adaptables, mais aussi plus conciliants (Bouju, 1999). Les métiers de pêche du Gabon sont également caractérisés par leur diversité. Cette diversité de métiers permet de limiter les risques dus aux variations saisonnières de la ressource ou encore de s'adapter à tout événement exogène qui pousserait les pêcheurs à changer de zone de pêche (Cambiè et al., 2017).

4. Conclusion

Dans un contexte international orienté vers la gestion durable des pêches, le Gabon a su tenir ses engagements et inscrire cette notion dans sa législation. A travers la mise en place de nouveaux organes étatiques et la création d'aires marines protégées (Bignoumba, 2018), le pays fait figure de leader dans les pays en voie de développement avec la protection d'environ 26 % de ses eaux marines et une stratégie de gestion des pêches des plus durables pour l'Afrique de l'ouest (Smyth & Hanich, 2019). Cette politique récente reste encore largement à mettre en œuvre.

Le secteur des pêches artisanal, par opposition au secteur industriel, alimente en grande majorité le marché local et pourvoit des emplois pour les populations côtières. Cependant, les données sur la ressource et les humains qui pratiquent l'activité étaient parcellaires et non actualisées. C'est le cas pour la plupart des pays tropicaux où la pêche artisanale est pratiquée, où elle se caractérise par une grande diversité d'espèces capturées et d'engins de pêche et tend à être extrêmement complexe (Forcada et al., 2010).

Ce chapitre a permis de remettre à jour et de compléter les connaissances sur les caractéristiques des lieux de débarquement, des outils de la pêche et des espèces capturées de la pêche artisanale maritime commerciale, au Gabon. Il a été démontré que les lieux de débarquement sont essentiellement limités aux villes, en raison d'une faible population sur de grandes portions du littoral, mais aussi en raison d'une volonté politique de centraliser les débarquements pour un meilleur suivi de la pêche et une favorisation des aménagements des lieux de débarquements. Les débarcadères sont en priorité organisés autour de la nationalité des pêcheurs, fruit de migrations provenant de l'Afrique de l'Ouest. La nationalité des pêcheurs détermine l'agencement du débarcadère avec la présence d'habitations, d'unités de transformations ou pas et il y a peu de mixité sauf dans les débarcadères aménagés par l'état qui fournissent les commodités dont les pêcheurs ont besoin. Sur une flotte d'environ 1200 pirogues, un tiers d'entre elles utilisent plus d'un engin de pêche au cours de l'année. Le filet dominant est le filet maillant de fond qui cible un assemblage d'espèces diverses. Cependant, la pêche aux petits pélagiques (filet encerclant et senne tournante) devient de plus en plus prépondérante et cible principalement *Ethmalosa fimbriata*. Les scianidés, polynemidés, lutjanidés et sphyraenidés sont la plupart du temps ciblés, quel que soit l'engin. Ce sont les espèces à haute valeur commerciale au Gabon (Kébé et al., 1996). Devant une telle diversité d'engins, dont la plupart sont multispécifiques, une évaluation et une gestion basée sur une espèce unique semblent très compliquées à mettre en place et obsolètes (Grazia Pennino et al., 2016 ; Salas et al., 2019). Par opposition à cette vision traditionnelle, le monde scientifique propose plusieurs solutions : la gestion des pêches par une approche écosystémique, qui reconnaît que la pêche est incluse dans un environnement et que les espèces sont liées entre-elles et pas pêchées indépendamment (Ramírez-Monsalve et al., 2016) ou encore la segmentation de la flotte par métiers ou stratégies de pêche (Pelletier & Ferraris, 2000 ; Cambiè et al., 2017 ; Salas et al., 2019). Cette approche, que nous avons choisie ici, reconnaît que les pirogues distribuent leur effort de pêche sur plusieurs espèces selon leur disponibilité dans le temps et dans l'espace, les prix du marché, les saisons de pêche et les conditions environnementales. Ainsi, catégoriser la complexité de la flotte par segments (ou métiers) peut aider à détecter la structure de l'allocation de l'effort de pêche (c'est ce que nous verrons au chapitre 3) (Salas et al., 2019). Nous avons ainsi obtenu 48 métiers pour toute la côte gabonaise, qui pourront constituer les unités élémentaires de gestion.

Chapitre 2 : Modélisation des mouvements des pirogues de pêche artisanale

1. Introduction

La gestion spatiale est devenue un outil important pour les gestionnaires de la pêche qui cherchent à préserver les habitats et à restaurer les stocks de poissons, ainsi que ceux qui souhaitent optimiser le rendement de la pêche (Rassweiler et al., 2012 ; Palmer & Demarest, 2018). En pêche artisanale, la ressource halieutique est capturée dans des zones connues seulement par les pêcheurs eux-mêmes et est enregistrée aux points de débarquements ou à l'endroit où se fait la première vente. Pour cette raison, les zones de pêche sont souvent difficiles à définir et à réglementer (Johnson et al., 2017). Les équipements de géolocalisation fournissant des informations spatiales sur la pêche sont largement utilisés en pêche industrielle et dans les pays développés, mais restent peu communs dans la plupart des pêches artisanales (Léopold et al., 2014). Grâce à cette technologie, les déplacements des pêcheurs sont connus, mais il est difficile d'identifier les zones où la ressource halieutique est réellement extraite du milieu, l'engin de pêche n'étant pas actif pendant toute une sortie en mer. Pour pallier cette imprécision, de nombreuses études se tournent vers la modélisation du mouvement, des méthodes qui permettent d'inférer les comportements sous-jacents des pêcheurs, à travers des bases de données de trajectoires très volumineuses (Good et al., 2007 ; Joo Arakawa et al., 2011 ; De Souza et al., 2016). Ces outils initialement conçus pour étudier les mouvements des animaux entre autres (Turchin, 1998), sont également applicables à l'humain quand il est en activité de pêche, dans le sens où les pêcheurs ont développé une stratégie spatiale strictement comparable à celle de prédateurs naturels se nourrissant sur des champs de proies spatialement hétérogènes (Lanco Bertrand, 2005).

Afin de modéliser les mouvements des bateaux de pêche, il est important de revenir sur les travaux antérieurs dans l'étude du mouvement en général. Plusieurs travaux ont décrit la théorie et réalisé un inventaire bibliographique sur le sujet, particulièrement dans le domaine halieutique où cette question a fait l'objet central de plusieurs thèses (Lanco Bertrand, 2005 ; Joo Arakawa, 2013 ; Gloaguen, 2015). C'est pourquoi nous analyserons ici les études sur le sujet, pour replacer nos choix méthodologiques parmi les connaissances existantes. La définition du mouvement, les différents modèles utilisés pour l'analyse des trajectoires de pêche, les différents paramètres et choix méthodologiques seront décrits. Puis la cohérence de la méthode sélectionnée sera testée sur un échantillon de trajectoires de pêche artisanale au Gabon.

2. Modélisation du mouvement des bateaux de pêche

2.1. L'étude du mouvement

2.1.1. Un suivi individuel pour comprendre une population

La dynamique des populations s'intéresse à la distribution et l'abondance des organismes. Les études focalisées sur la distribution ignorent fréquemment l'aspect temporel, en prenant un instantané de la distribution spatiale d'une population à un moment donné. De la même façon, les travaux qui s'intéressent à l'abondance omettent souvent la composante spatiale et se focalisent sur les variations du nombre d'organismes dans le temps, pour un lieu donné (Turchin, 1998). L'étude du mouvement permet de réconcilier ces deux aspects. Elle dépend de la position de l'observateur. (Turchin, 1998) catégorise les façons de modéliser le mouvement selon deux points de vue : le cadre Eulérien et le cadre Lagrangien. Cette distinction trouve son origine en mécanique des fluides, où l'observation est centrée, soit au niveau de la particule (système Lagrangien), soit en un point fixe de l'espace (système Eulérien). Par exemple, pour calculer la vitesse des bateaux sur une rivière à moment donné, l'approche Eulérienne consisterait à se placer sur un pont surplombant la rivière pour donner la vitesse « d'écoulement des bateaux », tandis que l'approche Lagrangienne suivrait la trajectoire d'un bateau en particulier pour connaître sa vitesse.

En écologie, ces différentes approches se matérialisent par l'étude du mouvement des populations d'un côté (Euler) et du mouvement de chaque individu (Lagrange). Historiquement, l'approche eulérienne était favorisée et reste encore utilisée, notamment pour les organismes transportés passivement, mais l'approche lagrangienne est maintenant privilégiée (Nathan et al., 2008), en partie grâce aux avancées technologiques qui permettent le suivi de chaque individu. Certains travaux ont combiné ces deux approches (Black & McKane, 2012 ; Wang et al., 2016) pour exploiter les avantages des deux méthodes.

En halieutique, la modélisation des comportements des navires de pêche entre dans ce cadre aussi et est habituellement faite au travers d'un cadre lagrangien, c'est-à-dire en considérant les mouvements individuels des bateaux (Lanco Bertrand, 2005 ; Joo Arakawa, 2013 ; Gloaguen, 2015). A notre connaissance, aucune étude n'a été faite dans le cadre eulérien. Cependant, des généralisations au niveau de la population (la flotte de navires) peuvent-être faites sur la base des comportements individuels. Bastardie et al. (2010) utilisent un modèle basé sur les individus (« Individual-based Model : IBM ») en argumentant que ce modèle inclut délibérément l'hétérogénéité entre les individus. Ainsi, regrouper des comportements individuels au sein d'une population n'est pas forcément un mélange subjectif de pratiques hétérogènes, mais permet de faire émerger les tendances des données.

2.1.2. Une modélisation discrète pour rendre compte d'un processus continu

La trajectoire définit le mouvement d'un organisme dans l'espace et dans le temps (Lanco Bertrand, 2005). Cependant, il est important de distinguer la trajectoire réelle et son observation (Gloaguen, 2015). L'espace ne constitue pas souvent une contrainte dans l'observation d'une trajectoire, mais il en est autre pour le temps. Par exemple, il est souvent impossible de suivre un individu toute sa vie (Joo Arakawa, 2013) et le mode de collecte des données correspond souvent à une succession de positions, enregistrées lors de l'échantillonnage (Lanco Bertrand, 2005 ; Joo Arakawa, 2013 ; Gloaguen, 2015). Ce formalisme discret découpe la trajectoire en segments ou « pas » (Turchin, 1998). Si le choix de représenter une trajectoire de façon discrète est souvent inhérent à la méthode d'échantillonnage, il amène plusieurs biais (Turchin, 1998) :

- La réduction d'une trajectoire en une succession de segment peut modifier la longueur de la trajectoire, car des segments linéaires remplacent des courbes. Cela est démontré avec la méthode des diviseurs, qui consiste à estimer la longueur de la trajectoire en l'approximant comme la somme de segments ou diviseurs de longueur fixée. Ainsi, selon le choix de la longueur des diviseurs, la longueur totale de la trajectoire varie (Lanco Bertrand, 2005 et Figure 21).
- La variation de la longueur des segments modifie également la dimension fractale de la trajectoire. La dimension fractale peut être vue comme la mesure de sa propension à couvrir une surface plane (dans le cas d'une trajectoire en 2 dimensions) (Joo Arakawa, 2013).

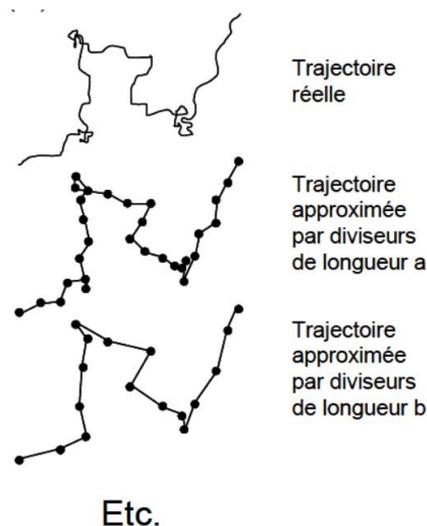


Figure 21 : Une trajectoire échantillonnée à des temps de résolution différents (inspiré de Lanco Bertrand, 2005)

- Lors du choix de l'unité temporelle, deux risques majeurs existent (Turchin, 1998). Soit il peut y avoir sous-échantillonnage et le risque est alors de perdre certains

événements, soit il peut y avoir suréchantillonnage et certains événements seront artificiellement séparés. Il est évidemment plus facile de résoudre un problème de suréchantillonnage en agrégeant les segments par exemple.

- Le choix d'un découpage irrégulier peut aussi poser problème. Classiquement, la trajectoire peut être découpée par intervalles de distance ou de temps réguliers. Cependant, en télémétrie, il n'est pas rare que l'acquisition des données soit irrégulière. Dans ce cas, pour se ramener au cadre du modèle, un choix important est à faire de la part de l'utilisateur concernant le prétraitement des données (interpolation, suppression de points) (Gloaguen, 2015).

Ainsi, le choix de l'échelle spatio-temporelle est crucial et doit être fait en fonction des phénomènes à étudier (Nathan et al., 2008).

Concernant la trajectoire des navires de pêche, les données sont généralement collectées de manière discrète, grâce au « Global Positioning System » (GPS). L'enjeu est ici aussi de choisir la bonne échelle spatio-temporelle et de s'affranchir des irrégularités dans les données. Classiquement, c'est un voyage de pêche qui est utilisé comme unité de trajectoire (c'est-à-dire du départ du port jusqu'à son retour au port) et la collecte des positions se fait sur la base d'intervalles de temps réguliers pouvant varier des minutes aux heures (Lee et al., 2010). Les études précédemment menées sur la segmentation des voyages de pêche sont beaucoup plus nombreuses en pêche industrielle grâce à l'usage répandu du VMS (voir encadré). Dans le cas d'une pêche artisanale sur des embarcations non motorisées par exemple, l'échelle temporelle ne pourrait être la même, car les opérations de pêche sont plus courtes (Katara & Silva, 2017 ; Mendo et al., 2019).

2.1.3. Une modélisation stochastique pour comprendre des comportements déterminés

La volonté de modéliser le mouvement en écologie est souvent guidée par le besoin d'en comprendre les causes et les effets. Nathan et al. (2008) proposent un canevas composé de quatre composantes mécanistes qui ont pour effet le mouvement d'un organisme : l'état interne (pourquoi bouger ?), la capacité motrice (comment bouger ?), la capacité de navigation (où et quand bouger ?) et les facteurs extérieurs. Cependant, comme Gloaguen (2015) l'explique, même en admettant de rester dans une vision mécaniste (c.-à-d. dans des conditions identiques, les mêmes causes produisent les mêmes effets), il est impossible de reproduire des conditions identiques hors laboratoire : le nombre de facteurs internes et externes est trop important pour être décrit de manière exhaustive. Ainsi, pour modéliser le mouvement, il est fréquent de s'intéresser à une liste restreinte de paramètres et de considérer les autres facteurs comme une variabilité stochastique, car ils ne sont pas mesurés.

La stochasticité est donc un choix méthodologique, par commodité, pour modéliser le mouvement grâce aux paramètres qui nous intéressent.

Une trajectoire peut être caractérisée dans son ensemble ou être découpée en unités plus petites. Pour la trajectoire considérée comme un tout, des statistiques de base peuvent donner des indications précieuses : distance parcourue, temps de trajet, indice de sinuosité, dimension fractale, etc. (Benhamou, 2004 ; Lanco Bertrand, 2005 ; Joo Arakawa, 2013). Une autre approche est de considérer la trajectoire comme une marche aléatoire (« random walk »). La marche aléatoire est une succession de pas, chacun ayant une direction et une longueur aléatoire. Ce type de modélisation est souvent utilisé en biologie (Codling et al., 2008) et a plusieurs variantes (marche aléatoire de type brownien, de Lévy, de type poisson, biaisée et/ou corrélée) (Lanco Bertrand, 2005 ; Joo Arakawa, 2013).

Dans le cas du suivi des navires de pêche, Bertrand et al. (2005) proposent une statistique descriptive μ , pour choisir entre une trajectoire de type brownien et une marche de Lévy. Les auteurs concluent que les navires suivent une marche aléatoire de Lévy, caractérisée par la présence de mouvements particulièrement longs et rares, ce qui correspond à l'alternance des phases de recherche du poisson et de pêche. La statistique μ indique le degré de regroupement des points visités. Dans la continuité, Bertrand et al. (2015) utilisent la Distribution Pareto Généralisée pour choisir le modèle de marche aléatoire qui décrit le mieux les mouvements des navires.

Actuellement, l'approche de plus en plus utilisée pour décrire les mouvements des navires est de découper la trajectoire en unités correspondant à des comportements distincts. En théorie, les mouvements d'un individu peuvent être séparés selon le comportement sous-jacent au déplacement tel que : la marche, la recherche de nourriture, le repos, la recherche de partenaires, etc. En pratique, le mouvement est échantillonné grâce à une série de position d'intervalles qui sont réguliers ou pas. Evidemment, le découpage pratique ne correspond pas souvent au découpage théorique, c'est-à-dire aux comportements que l'on souhaite étudier. Ainsi, comme dit précédemment, une résolution très fine d'échantillonnage permettra d'avoir plusieurs positions qui formeront un comportement unitaire. Il y a deux manières de procéder pour identifier les différents comportements dans une trajectoire : soit les segments sont découpés grâce à des caractéristiques similaires et rassemblés pour faire émerger le comportement correspondant, soit les comportements auxquels on s'attend sont choisis à priori et les segments correspondants y sont associés. Joo Arakawa (2013) fournit des exemples des deux choix méthodologiques.

Les travaux cherchant à faire le lien entre les observations au cours du temps et les comportements sous-jacents sont regroupés sous le terme de modèles espace d'états

(« State-Space Models ») (Gloaguen, 2015). Ainsi, choisir le nombre de comportements (« états ») différents est un équilibre délicat entre le réalisme et la faisabilité. Le choix des variables caractérisant l'état requière, non seulement de connaître la biologie de l'animal, mais aussi la qualité des données et la nature du problème d'estimation statistique (Jonsen et al., 2013).

Les différents systèmes de suivi satellitaires des navires de pêche

Le système mondial de positionnement ou « Global Positioning System » (GPS) est un système de positionnement par satellites qui permet à un utilisateur de connaître sa position à toute heure et en tout lieu, grâce aux signaux qu'il reçoit par les satellites. Le GPS se compose de trois groupes d'éléments : des satellites en orbite autour de la Terre ; des stations de contrôle au sol ; et les récepteurs GPS des utilisateurs. Dans le contexte de la pêche maritime, connaître la position d'un navire peut avoir plusieurs applications :

- La surveillance, notamment en détectant la présence d'un navire dans une zone interdite, une activité lors d'une restriction temporelle, des activités de transbordement lorsque deux navires sont proches pour une période assez longue. Les informations de positionnement recueillies peuvent aussi permettre de planifier et cibler les patrouilles en mer des organes de surveillance.
- La sécurité, lorsque le système GPS s'accompagne d'un moyen de communication vers les autres navires ou les autorités. Le système permet alors de prévenir les collisions entre navires, ou encore, d'envoyer une position précise en cas de détresse pour faciliter le sauvetage.
- L'aide à la gestion de la ressource, en déterminant l'activité probable du navire (objet du chapitre 4), en quantifiant l'effort de pêche par zones (objet du chapitre 5) et, en liant les informations géographiques aux captures. Cela peut permettre d'avoir une meilleure connaissance de la distribution spatiale et temporelle des biomasses.

Les systèmes majoritaires actuels utilisés dans le monde pour le suivi de la pêche commerciale sont le système de surveillance des navires ou « Vessel Monitoring System » (VMS) et le système d'identification automatique ou « Automatic Identification System » (AIS).

Le VMS est un système de suivi satellitaire qui donne la position d'un navire à intervalles réguliers aux autorités nationales des pêches. Une balise est placée sur le navire, couplée au GPS de bord. Elle émet des messages à intervalles réguliers (généralement chaque heure) vers des satellites de communication qui, à leur tour, transmettent vers une station terrestre. Les messages arrivent alors au centre de surveillance des pêches nationale ou/et régionale (Figure 22).

L'AIS est, pour sa part, un système d'échange automatisé de message par radio VHF entre navires ou entre un navire et un récepteur AIS à terre. Les informations transmises contiennent aussi la position du navire et se font à intervalles réguliers (toutes les 2 à 10 secondes). Du fait de la portée limitée des communications radio (30 à 50 milles), les informations peuvent être transmises de navire à navire pour arriver à une antenne à terre, qui peut à son tour envoyer les informations au centre de surveillance des pêches (Figure 22). Ce système n'est pas limité à la pêche et a en fait été créé pour éviter les collisions entre navires.

Si de nombreuses législations existent sur le suivi obligatoire des navires de pêche industriels, les plus petites embarcations de pêche ne tombent pas sous l'obligation d'un suivi satellitaire. Particulièrement en pêche artisanale, où il peut ne pas y avoir d'électricité à bord et aussi en raison du coût élevé du système. De nouvelles technologies se développent pour y remédier, grâce à des systèmes alimentés par le solaire et une transmission par le réseau téléphonique (qui convient pour une pêche côtière). Dans le cas du suivi des embarcations ou « Vessel Tracking System » (VTS), la transmission ne se fait pas forcément en temps réel et dépend de la disponibilité du réseau, mais, les données sont stockées et envoyées dès que possible. Le système conçu par Pelagic Data Systems par exemple envoie les données toutes les 6 heures en moyenne, mais les positions sont collectées toutes les secondes (Tableau 12). Des solutions hybrides se développent aussi, par exemple avec les données AIS qui peuvent être transmises par satellite ou encore des solutions développées pour mixer les transmissions par satellite ou par le réseau téléphonique, quand cela est possible, pour diminuer les coûts.

Au Gabon, le VMS est obligatoire sur tous les navires de pêche industrielle (arrêté 0368 MEFPA/DGPA du 8 mai 2009). Ce même arrêté stipule que « les embarcations de pêche artisanale sont soumises à l'obligation d'un dispositif de positionnement et de localisation par satellite ». Dans les faits, tous les navires de pêche industrielle ont effectivement le système VMS. Concernant la pêche artisanale, différents systèmes ont été testés au cours de cette étude et la volonté actuelle gouvernementale penche pour un système hybride VTS qui peut transmettre par satellite lorsque le réseau téléphonique est indisponible. Le Ministère des Pêches et de l'Aquaculture espère déployer ce système à toute la flotte en 2021.

Tableau 12 : Caractéristiques des différents moyens de suivi satellitaire des navires de pêche (inspiré de (Pelagic Data Systems, 2020)

	Système d'identification automatique (AIS)	Système de surveillance des navires (VMS)	Suivi des embarcations (VTS)
Usage principal	Eviter les collisions entre navires et réguler le trafic maritime	Suivre les navires de pêche commerciale pour les organes de gestion des pêches	Suivre les embarcations qui ne peuvent pas recevoir les autres systèmes
Type de navires	Obligatoire pour les navires internationaux au tonnage brut supérieur à 300 et navires destinés au transport des passagers	Variable selon les zones géographiques, mais en général, obligatoire pour les navires de pêche commerciale avec une taille minimum (15 mètres en Europe par exemple)	Pour les embarcations de plus petites tailles, particulièrement ceux qui n'ont pas d'alimentation électrique
Fréquence d'enregistrement	Environ toutes les secondes	Environ toutes les heures	Environ toutes les secondes
Fréquence de transmission	Environ toutes les secondes	Environ toutes les heures	Environ toutes les 6 heures selon la disponibilité du réseau
Alimentation	Electricité à bord	Electricité à bord ou batteries rechargeables	Solaire
Mode de transmission	Principalement par radio VHF	Par satellite	Par réseau téléphonique
Coûts	Elevé	Très élevé	Faible
Informations transmises	<ul style="list-style-type: none"> - Identifiant du navire - Position et heure (dont découlent les vitesses et directions) - Statut de navigation - Type de cargaison - Dimensions du navire - Position de l'antenne AIS sur le bateau - Type d'instrument de positionnement satellitaire : GPS ou DGPS - Tirant d'eau - Destination - Estimation de l'heure d'arrivée à destination - Nombre de personnes à bord 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifiant du navire - Position et heure (dont découlent les vitesses et directions) - Rarement les rapports de captures 	<ul style="list-style-type: none"> - Identifiant du navire - Position et heure (dont découlent les vitesses et directions)

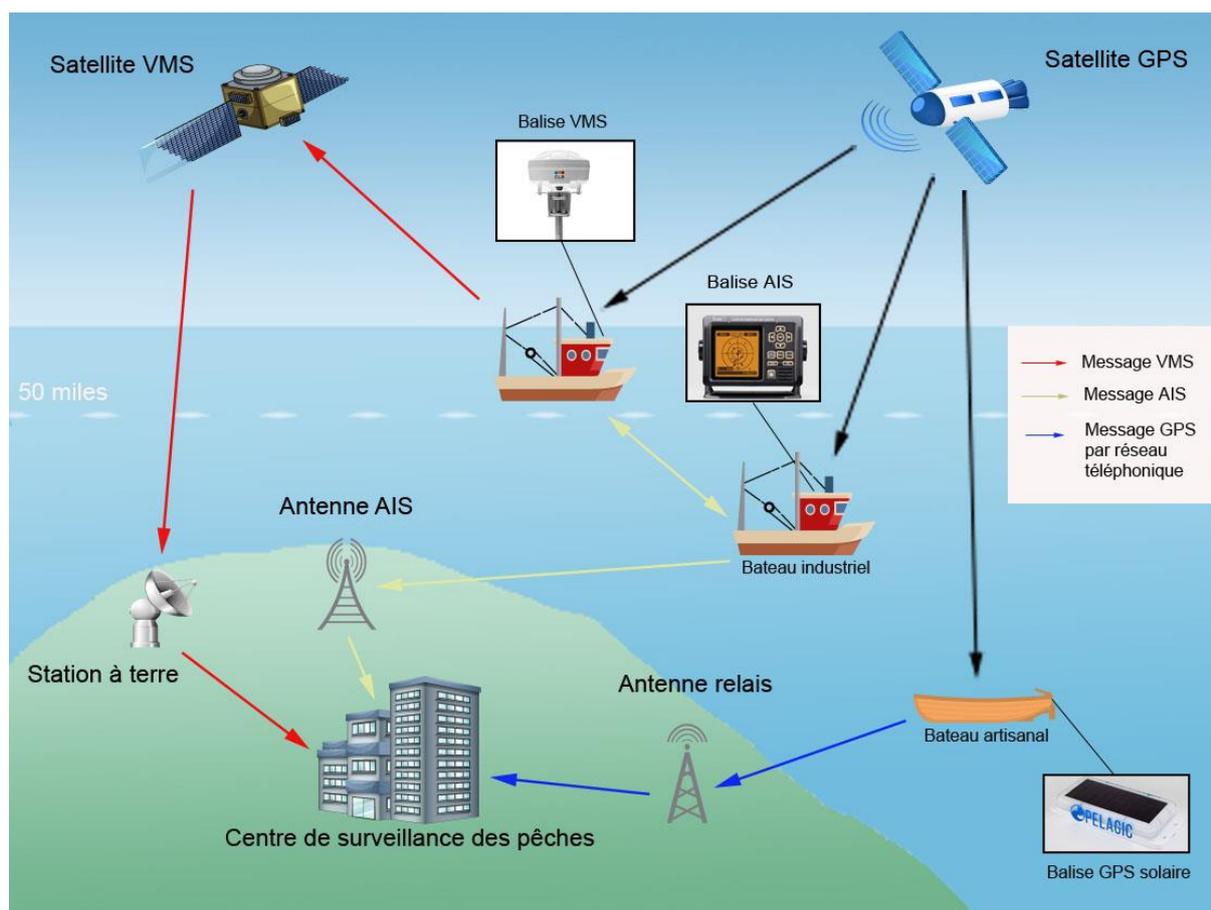


Figure 22 : Architecture des systèmes de suivi de positionnement des navires de pêche

2.2. La modélisation par apprentissage automatique appliquée à la pêche

2.2.1. Les concepts

Face aux quantités importantes de données, la modélisation a fait face à de nouveaux challenges au cours des dernières années. Afin d'extraire les informations pertinentes recherchées dans des bases de données de plus en plus conséquentes, une série d'outils est regroupée dans une discipline appelée « fouille de données » (« data mining » en anglais). Ce terme générique englobe des techniques variées et s'applique à de nombreux domaines, dans le monde industriel et dans la science (Tuffery, 2012). La nature des données analysées varie beaucoup également et inclut les séries temporelles, qui sont caractérisées par des bases de données massives, une dimensionnalité élevée et des mises à jour continues (Fu, 2011). En ajoutant la dimension spatiale, caractéristique du mouvement, le data mining s'applique alors sur des séries spatio-temporelles dont les objectifs peuvent être résumés par : le regroupement des données (clustering), l'analyse prédictive (predictif learning), la détection de ruptures (change detection), la fouille de motifs fréquents (frequent pattern mining), la détection d'anomalie (anomaly detection) et l'association (relationship mining) (Atluri et al.,

2017). Dans le cas de la détection des évènements de pêche, l'objectif peut donc s'apparenter à un regroupement de données, ou classification, où les groupes correspondent aux différents comportements des navires.

Pour identifier des comportements sous-jacents à des observations, combiné au fait qu'il y a peu de données de vérification, les études récentes se tournent vers des algorithmes prédictifs. Un nouveau champ d'études a émergé : l'apprentissage automatique (« machine learning »), qui permet au modèle d'apprendre des données et de se réajuster en fonction de ce qu'il a « appris ». Selon la disponibilité de données déjà étiquetées, l'apprentissage est qualifié de supervisé ou non supervisé.

Devant la diversité des modèles existants, une façon de les regrouper s'appuie sur la manière dont ils classent les données : ainsi, pour les modèles discriminants, la probabilité d'un évènement est déterminée par une barrière de décision, tandis que pour les modèles génératifs, cette probabilité est estimée par la distribution des données (Figure 23).

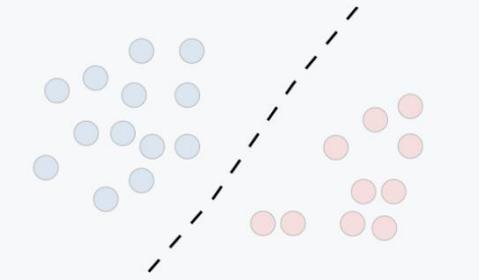
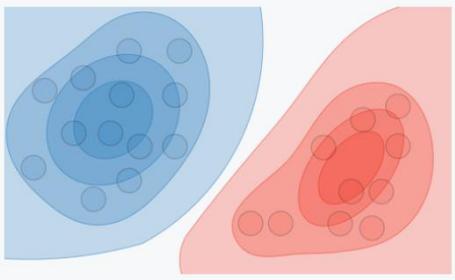
	Modèle discriminant	Modèle génératif
But	Estimer directement $P(y x)$	Estimer $P(x y)$ puis déduire $P(y x)$
Ce qui est appris	Frontière de décision	Distribution de probabilité des données
Illustration		

Figure 23 : Les deux grandes classes de modèles pour la classification (Amidi & Amidi, 2018)

Dans les sections suivantes, les méthodes utilisées dans la littérature pour détecter des évènements de pêche en effectuant une classification, à partir de données discrètes, des manières les plus simples jusqu'à l'apprentissage automatique, qu'il soit supervisé ou pas, seront décrites. Les différentes méthodes seront classées selon qu'elles soient discriminantes ou génératives. Un inventaire des variables utilisées sera également réalisé. La littérature citée, si elle se veut complète, n'est pas forcément exhaustive.

2.2.2. Les modèles discriminants

2.2.2.1. Détection de seuil

La méthode la plus simple et communément utilisée pour séparer les événements de pêche des autres activités (telles que le déplacement vers la zone de pêche par exemple) consiste à filtrer la vitesse du navire. Les auteurs utilisant cette méthode partent du postulat qu'en dessous d'une certaine vitesse, le navire est en opération de pêche et qu'au-dessus de la vitesse seuil, le navire ne pêche pas. Cette vitesse seuil est souvent décidée grâce à une connaissance fine de la pêcherie étudiée (Deng et al., 2005 ; Walter et al., 2007), à des données collectées par des observateurs à bord qui permettent de calculer cette vitesse (Murawski et al., 2005 ; James et al., 2018) ou encore grâce à la littérature existante (Lee et al., 2010 ; Jennings & Lee, 2012 ; De Souza et al., 2016). Certaines études utilisent différentes vitesses seuils selon le type de pêche (Fock, 2008 ; Lee et al., 2010).

D'autres auteurs utilisent deux vitesses seuil qui délimitent les opérations de pêche. Ainsi, il y a une vitesse minimale et maximale. Cela permet d'exclure les locations où le navire est à l'arrêt par exemple. Ces valeurs seuil peuvent être déterminées en observant la distribution des fréquences de vitesse (Eastwood et al., 2007 ; Witt & Godley, 2007 ; Stelzenmüller et al., 2008a ; Gonzalez-Mirelis et al., 2014 ; Katara & Silva, 2017 ; Navarrete Forero et al., 2017), en utilisant les données des observateurs à bord (Gerritsen & Lordan, 2011) ou encore grâce à une connaissance approfondie de la pêcherie (Snape, 2019).

Ces filtres par vitesse peuvent être combinés à un filtre sur les changements de direction (Mills et al., 2007) ou encore à la bathymétrie (Coro et al., 2013). Des exclusions peuvent également être appliquées par zones ou par période, la nuit par exemple quand une pêcherie ne se pratique pas dans ces conditions (Deng et al., 2005 ; Witt & Godley, 2007 ; De Souza et al., 2016). Lee et al. (2010) ont compilé une bibliographie intéressante sur ces méthodes.

La détection de seuil est utilisée de manière plus poussée par (Alvard et al., 2015) avec ce qu'ils appellent la méthode des sommes partielles. Cette méthode est basée sur la somme cumulée des déviations à la moyenne de la vitesse. Ainsi, pour un voyage de pêche, les déviations positives à la vitesse moyenne du trajet montrent un comportement de voyage tandis que les valeurs négatives représentent les recherches en zone restreinte (« area-restricted search », ARS). Ces ARS sont assimilées aux comportements de pêche. Ainsi, lorsque les valeurs des sommes cumulées sont maximums ou minimums, elles représentent des seuils qui indiquent un changement de comportement.

2.2.2.2. Régression logistique

La régression logistique permet de prédire une variable souvent binaire (pêche ou pas pêche dans notre cas) à l'aide de multiples variables explicatives. Comme les variables explicatives sont quantitatives, la régression logistique permet de donner des probabilités en faveur d'un état ou d'un autre (Kleinbaum et al., 2002). La probabilité, comprise entre 0 et 1 peut s'écrire de manière générale ainsi :

$$p(X) = e^{(b_0 + b_1 \times X)} / (1 + e^{(b_0 + b_1 \times X)})$$

Où p est la probabilité et b_0 et b_1 sont des coefficients qui s'appliquent aux variables explicatives X .

En prenant $p = 0,5$ comme valeur de séparation, deux classes peuvent être déterminées.

Cette méthode a été utilisée pour détecter des événements de pêche dans une pêcherie à la ligne dans les eaux du sud-est des Etats-Unis (Baker et al., 2016). Elle est comparée à une méthode par filtre de vitesse et obtient de meilleurs résultats dans le cadre de cette pêcherie. Les variables explicatives utilisées dans le modèle sont la vitesse et l'heure de la journée.

Les modèles linéaires généralisés (GLM) sont une généralisation souple de la régression linéaire et incluent les régressions logistiques. Ils permettent d'introduire des variables explicatives qui n'ont pas une distribution normale. Muench et al. (2018) utilisent des GLM sur différentes pêcheries : la drague à coquille Saint-Jacques, le filet de fond et le chalut de fond à panneaux aux Etats-Unis. Le nombre de variables explicatives est plus important que dans l'étude citée précédemment et ces variables découlent de la vitesse, la profondeur de l'océan, l'angle, les caractéristiques du navire (puissance/longueur) et des variables temporelles (année, mois, jour, heure, phase de la lune). Ici aussi, la régression logistique donne de meilleurs résultats que le filtre par vitesse et les auteurs précisent que cela est d'autant plus vrai pour les engins qui emploient des techniques stationnaires ou avec des temps de pose de courtes durées.

Une autre étude utilise également la régression logistique en la liant avec un modèle additif généralisé (GAM) (Watson et al., 2018). Le GAM est utilisé lorsque l'on suspecte qu'il n'y a pas de relation linéaire entre les variables explicatives et la variable expliquée. La pêcherie étudiée ici est une pêche à la palangre démersale dans le golfe du Mexique. Les variables explicatives incluaient : la distance à la côte, la profondeur, la date, l'heure, la vitesse, la distance entre les positions, la longitude, la latitude et des combinaisons de ces différentes variables.

2.2.2.3. Réseau de neurones artificiels

Les réseaux de neurones artificiels (« Artificial Neural Networks », ANN) s'appuient sur la structure des neurones biologiques du cerveau humain. Ils peuvent être décrits comme des systèmes composés d'au moins deux couches de neurones - une couche d'entrée et une couche de sortie - et comprenant généralement des couches intermédiaires cachées. Plus le problème à résoudre est complexe, plus le réseau de neurones artificiels doit comporter de couches (Bishop, 1995). Les ANN sont supervisés lorsque le réseau est forcé à converger vers un état final précis.

Le perceptron est un ANN à apprentissage supervisé qui effectue une classification binaire, c'est-à-dire que le résultat en sortie du modèle appartiendra à une classe ou à l'autre (pêche ou pas pêche dans notre cas). Une fonction d'activation sépare les variables entrées du résultat en sortie du modèle. Dans le cas de perceptron multicouche (« MultiLayer Perceptron », MLP), il existe n couches de neurones entre les variables en entrée et les résultats en sortie. Dans une étude sur la pêche à la senne tournante de l'anchois au Pérou, un MLP à 3 couches a été utilisé : la couche d'entrée, une couche cachée et la couche de sortie (Bertrand et al., 2008). La couche d'entrée comporte 5 « neurones » qui correspondent aux variables alimentant le modèle : la vitesse, l'heure, le changement absolu de direction, la vitesse précédente et la vitesse suivante. La couche en sortie est bimodale (en pêche ou pas). Le modèle est entraîné grâce à des données labélisées et un algorithme de rétropropagation qui ajuste les poids et les biais du réseau pour minimiser les erreurs. Le MLP obtient de meilleurs résultats qu'une régression logistique ou qu'un simple filtre par vitesse dans cette pêcherie spécifique. Cette étude, effectuée sur une région limitée géographiquement, a été étendue à toute la côte péruvienne et sur une période plus grande (Joo Arakawa et al., 2011). En réajustant le modèle grâce à de plus nombreuses données labélisées, le MLP obtient toujours de bons résultats, mais les auteurs soulignent l'importance de la disponibilité de données importantes pour l'apprentissage. Sur cette même pêcherie, un MLP avec cette fois-ci une couche de sortie à 3 neurones (voyage, recherche du poisson et pêche) a également été testé (Joo Arakawa, 2013). Si les résultats sont toujours satisfaisants, il est dépassé par un modèle de semi-Markov caché.

Le réseau neuronal convolutif (« Convolutional neural network », CNN) est un type de réseau de neurones artificiels assez proche du MLP, mais il en diffère du fait qu'il prend en compte la connectivité locale des neurones, réduisant ainsi le nombre total de paramètres à évaluer par le modèle. Ce modèle a été utilisé pour analyser les données AIS mondiales de la pêche industrielle entre 2012 et 2016 (Kroodsma et al., 2018). Utilisé aussi bien pour classer les types de navires que pour détecter les événements de pêche (avec une sortie bimodale : pêche ou pas pêche), le modèle inclut de nombreuses variables en entrée. Un réseau différent

est créé pour 4 catégories d'engin de pêche : les palangres dérivantes, les sennes tournantes, les engins fixes et les chalutiers et les résultats sont pertinents pour chaque catégorie.

Une autre catégorie de réseau de neurones artificiels, les auto-encodeurs, est testée par (Jiang et al., 2016). Les auto-encodeurs consistent toujours en deux parties : un encodeur et un décodeur. L'encodeur convertit les données d'entrée en représentation des caractéristiques et le décodeur convertit cette représentation pour reconstruire les données d'entrée en réduisant leur dimension. Dans cette étude, c'est un apprentissage non supervisé qui utilise la machine de Boltzmann restreinte. La particularité de cette approche est d'assimiler les trajectoires, obtenues par AIS, à un ensemble de fenêtres sur la trajectoire linéarisée, et de considérer ces fenêtres comme des représentations graphiques. Le choix d'appliquer ici des techniques de reconnaissance d'images se justifie par l'échantillonnage temporel qui est hétérogène. Les auteurs comparent cette méthode aux machines à vecteur support et aux forêts aléatoires et concluent que les auto-encodeurs ont une performance égale, voire supérieure à ces deux méthodes. Cette méthode est reprise par (Hu, 2016).

2.2.2.4. Machine à vecteur support

Les machines à vecteur support (« Support Vector Machines », SVM), encore appelées séparateurs à vaste marge, sont des classificateurs à apprentissage supervisé, qui reposent sur deux idées clés : la notion de marge maximale et la notion de fonction de noyau. La marge maximale est la distance entre la frontière de séparation et les échantillons les plus proches. Si la frontière de séparation n'est pas linéaire, l'idée des SVM est de changer l'espace de représentation des données afin de trouver une séparation linéaire dans ce nouvel espace de plus grande dimension (Boser et al., 1992). Ceci est réalisé grâce à une fonction noyau (polynomiale, gaussienne, sigmoïde ou laplacienne par exemple).

Cette méthode a été appliquée aux données VMS de la pêche à la senne tournante de l'anchois au Pérou (Joo Arakawa et al., 2013), en utilisant une fonction noyau gaussienne, pour séparer deux classes (pêche et pas pêche). Si les résultats sont toujours satisfaisants, les performances du SVM sont dépassées par un modèle de semi-Markov caché, malgré que le temps de calcul soit légèrement plus rapide.

Jiang et al. (2016) testent aussi les SVM avec deux fonctions noyaux différentes, sans préciser lesquelles, mais ils obtiennent des performances moindres qu'avec les auto-encodeurs. Ils ne précisent pas non plus sur quelles pêcheries ces méthodes sont testées.

Marzuki (2017) emploie les SVM avec une fonction de base radiale comme noyau, mais obtient de meilleures performances avec un modèle de Markov caché.

2.2.2.5. Forêt d'arbres décisionnels

Les forêts d'arbres décisionnels ou forêts aléatoires (« Random Forest », RM) sont basées sur les arbres de décision, qui découpent l'espace des variables explicatives en groupes homogènes, grâce à un apprentissage supervisé. Les forêts aléatoires consistent à faire tourner en parallèle un grand nombre d'arbres de décisions construits aléatoirement, avant de les moyenner (Breiman, 2001).

Joo Arakawa et al. (2013) testent cette méthode en minimisant les variances intragroupes et en maximisant les variances intergroupes. Cependant, ici encore les performances du modèle de semi-Markov caché sont meilleures.

Jiang et al. (2016) emploient également un RM en optimisant le nombre d'arbres décisionnels. Sans expliciter avec précision la méthode, ils trouvent qu'elle reste moins efficace que les auto-encodeurs.

O'Farrell et al. (2017) utilisent aussi une forêt aléatoire sur des données VMS de la pêche au moulinet dans le golfe du Mexique. Utilisant 7 variables différentes, ils justifient le choix du RM par le fait que les variables peuvent être resélectionnées aux nœuds successifs de chaque arbre décisionnel, permettant ainsi de prendre en compte des interactions complexes et non linéaires.

2.2.2.6. Champ aléatoire conditionnel

Le champ aléatoire conditionnel (« Conditional Random Field », CRF) est un modèle graphique probabiliste non orienté (voir encadré), utile pour la représentation et l'inférence des distributions de probabilités multivariées. Un modèle particulier des CRFs est le champ aléatoire conditionnel à chaîne linéaire. Les CRFs à chaîne linéaire ont donc une structure en chaîne, qui modélise les relations entre les séquences d'entrée et les séquences de sortie. Les séquences de sortie sont modélisées sous forme de chaîne avec un lien de connexion entre chaque élément adjacent, et chaque élément de sortie est lié à son élément d'entrée correspondant (Hu, 2016). Cela correspond particulièrement bien à des données temporelles discrètes, où chaque variable observée à un temps t est suivie d'une variable à un temps $t+1$. Les liens entre variables observées et variables explicatives et entre variables observées entre elles sont assurés par les fonctions locales. Ainsi, les CRFs peuvent être vus comme une version séquentielle de la régression logistique.

Hu (2016) emploie les CRFs sur les données AIS de plusieurs pêcheries industrielles : la palangre et le chalut. Il compare cette méthode aux modèles de Markov cachés, à une combinaison de modèles qu'il appelle « data mining » (De Souza et al., 2016) et aux auto-encodeurs pour la palangre tandis qu'il la compare uniquement aux modèles de Markov

cachés pour les chalutiers. Les résultats indiquent que les CRFs sont les plus performants dans tous les cas.

2.2.2.7. Combinaison de méthodes discriminatives

Il est possible de combiner plusieurs méthodes discriminatives et les auteurs, appliquant ce processus aux données de mouvements des navires palangriers, l'appellent de façon générique « data mining » (De Souza et al., 2016 ; Hu, 2016). Dans ce cas, ils utilisent dans l'ordre :

- Un algorithme de Lavielle, qui permet de détecter les points où ont lieu les changements de comportements (c'est le même objectif que la détection de seuil par la méthode des sommes partielles), en utilisant un estimateur du contraste minimum (Lavielle, 1999).
- Une détection de seuil sur les angles pour chaque segment obtenu précédemment pour ne garder que les segments considérés comme « pêche ».
- Une détection de seuil sur la variance de la densité du premier temps de passage (Fauchald & Tveraa, 2003), combinée à une loi de probabilité (Worton, 1995), appliquée aux segments obtenus précédemment. Les auteurs précisent que cette étape augmente de 1 à 2 % la performance de la méthode.

Les deux études employant cette méthode la trouvent performante pour analyser la pêche à la palangre, mais cette performance est dépassée par les CRFs (Hu, 2016).

Notions clés

Modèles graphiques probabilistes : Ce sont des modèles qui réunissent la théorie des graphes et les lois probabilistes. Le modèle graphique probabiliste est un graphe qui représente les dépendances entre les variables aléatoires. Il est dit orienté lorsque cette dépendance a une direction (Airoldi, 2007). Dans les modèles graphiques probabilistes, peuvent être catégorisés les régressions logistiques, les réseaux naïfs bayésiens, les CRF et les HMM. Les CRF sont non orientés tandis que les HMM sont orientés (Figure 24).

Réseau Bayésien : c'est un modèle graphique probabiliste représentant un ensemble de variables aléatoires sous la forme d'un graphe orienté acyclique. L'inférence bayésienne est la probabilité a posteriori d'une (ou plusieurs) variable(s) du réseau conditionnellement aux variables observées (Airoldi, 2007).

Propriété de Markov : Cette propriété est vérifiée si, et seulement si, la distribution conditionnelle de probabilité des états futurs, étant donné les états passés et l'état présent, ne dépend en fait que de l'état présent et non pas des états passés (absence de « mémoire ») (Zucchini & MacDonald, 2009).

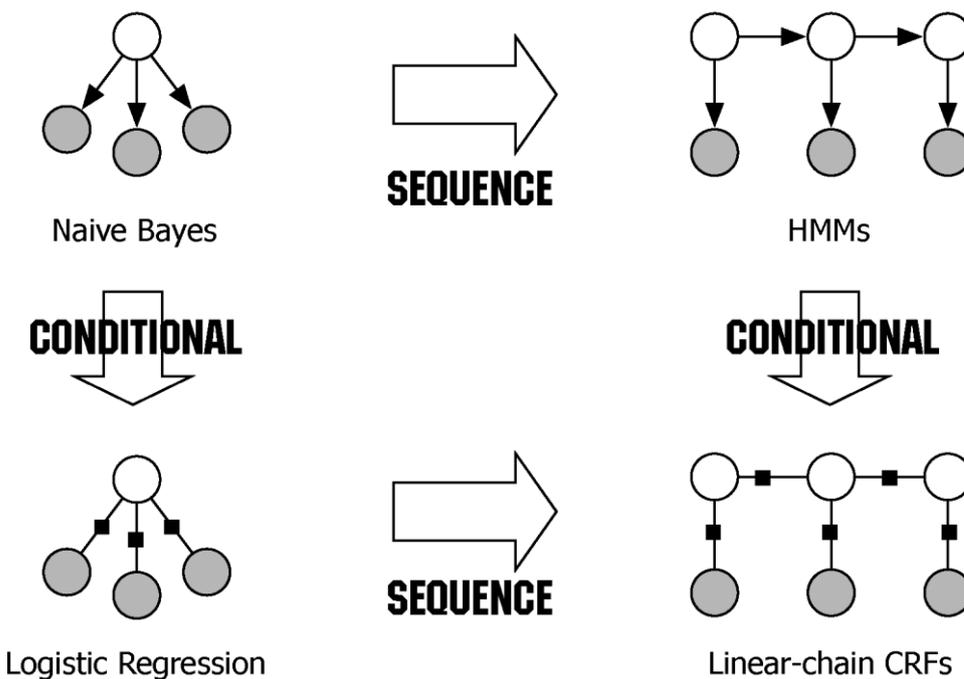


Figure 24 : Représentation des relations entre les modèles graphiques probabilistes génératifs (en haut) et discriminants (en bas). Les carrés noirs représentent les fonctions locales et les cercles, les variables. Lorsqu'ils sont grisés, ce sont des données observées (adapté de Sutton, 2012)

2.2.3. Les modèles génératifs

2.2.3.1. Modèle de mélange gaussien

Le modèle de mélange gaussien (« Gaussian Mixture Model », GMM), dans sa forme la plus simple, cherche à estimer la distribution d'une variable explicative en la modélisant comme la somme de plusieurs distributions gaussiennes, il est alors univarié. Il est possible de le complexifier en utilisant plusieurs variables explicatives et ainsi, d'avoir un modèle multivarié. Les GMM sont non supervisés dans le sens où ils peuvent modéliser les distributions sans avoir de données labélisées. Les distributions gaussiennes sont caractérisées par leurs moyennes, variances et amplitudes et, afin d'optimiser ces paramètres, un algorithme d'espérance-maximisation est utilisé.

Cette méthode a été utilisée sur les données GPS d'une pêcherie artisanale écossaise aux nasses et casiers (Mendo et al., 2019). Les auteurs ont testé des modèles univariés sur les vitesses et bivariés sur les vitesses et angles entre chaque point des trajectoires des embarcations et les ont comparés également à un modèle de Markov caché. Les résultats de cette étude montrent que le GMM univarié sur la vitesse, appliqué à chaque voyage de pêche, obtient les meilleures performances et, ceci avec le meilleur temps d'analyse.

2.2.3.2. Modèle de Markov caché

Les modèles de Markov caché (« Hidden Markov Model », HMM) sont des réseaux bayésiens qui représentent des probabilités de distribution sur des observations séquentielles. Ces observations sont le résultat d'états cachés, respectant la propriété de Markov (voir encadré). Le HMM est donc particulièrement adapté pour déterminer des comportements sous-jacents qui s'enchainent dans le temps. Dans le cas de l'inférence des comportements des navires à partir de données GPS, c'est un processus stochastique, à temps discret et séquentiel, dans un temps et un espace finis (Rabiner, 1989 ; Zucchini & MacDonald, 2009).

Mathématiquement, un HMM se décrit par 5 paramètres (Rabiner, 1989). Nous prendrons ici l'exemple d'un HMM de premier ordre (c'est-à-dire qui ne prend en compte que l'observation précédente) qui modélise les changements de comportements d'un navire de pêche, à partir de deux variables, la distance et l'angle entre 2 observations à intervalles de temps réguliers :

(1) N : le nombre d'états. L'état est noté $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ et l'état au temps t est q_t ;

(2) M : le nombre d'observations.

L'observation est noté $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\} = \{(D_i, C_j) : 1 \leq i \leq m_D, 1 \leq j \leq m_C\}$

où $D = \{D_1, \dots, D_{m_D}\}$ est un ensemble de distances et $C = \{C_1, \dots, C_{m_C}\}$ est un ensemble d'intervalles d'angles ;

(3) Π : la matrice des probabilités de départ [$1 \times N$], c'est-à-dire les probabilités $(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$ de démarrer dans chacun des N états où $\pi_i = P [q_1 = S_i], \quad 1 \leq i \leq N$;

(4) A : la matrice des probabilités de transition [N×N], c'est-à-dire les probabilités (a_{11} , a_{12} , ..., a_{nn}) de passer d'un état à l'autre où $a_{ij} = P [q_{t+1} = S_j | q_t = S_i]$, $1 \leq i, j \leq N$;

(5) B : la matrice des probabilités d'émission [N×M], c'est à dire les probabilités ($b_1(j)$, $b_1(2)$, ..., $b_1(n)$) pour l'état j, d'émettre chacune des observations possibles où

$$b_j(k) = P [V_{kt} | q_t = S_j], \quad 1 \leq j \leq N$$

$$1 \leq k \leq M;$$

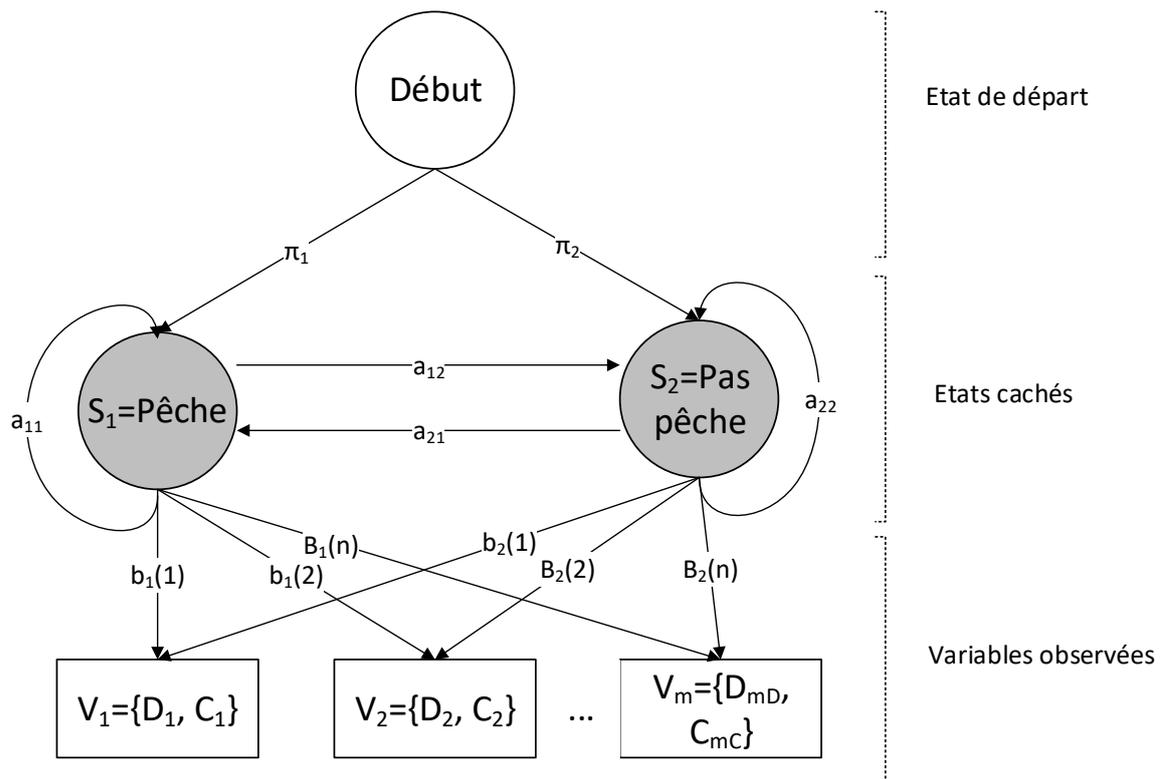


Figure 25 : Schéma d'un modèle de Markov caché à 2 états et 2 variables d'observation (inspiré de Kosović et Fertalj, 2014)

L'estimation des paramètres du HMM (A et B) peut être obtenue en maximisant une fonction de vraisemblance. Pour cela, une option est d'utiliser un algorithme récursif (« the forward algorithm », Patterson et al., 2017), qui est une façon efficace de considérer toutes les séquences d'états possibles qui seraient apparues selon la série d'observations. Pour initier la maximisation numérique de l'estimation de vraisemblance, des valeurs des paramètres doivent être choisies au départ. Ce choix est crucial et l'algorithme pourrait ne pas trouver le maximum de la fonction de vraisemblance si ces valeurs initiales sont mal choisies (Michelot et al., 2016, 2018). C'est la méthode utilisée dans le package R moveHMM (Michelot et al., 2017 ; R Core Team, 2018).

Une alternative pour estimer les paramètres existe avec l'algorithme EM (« Expectation-Maximisation »), qui fournit une estimation des maximums de vraisemblance à partir de l'algorithme de Baum-Welch (Zucchini & MacDonald, 2009). Cependant, MacDonald (2014) ne voit pas de raisons évidentes de préférer cette méthode à la précédente.

Ensuite, pour déterminer la séquence d'états la plus probable, l'algorithme de Viterbi peut être utilisé (Zucchini & MacDonald, 2009). Il met en œuvre le concept de décodage global.

La première application des HMM sur les trajectoires de pêche est testée en Australie sur les données VMS de la pêche chalutière à panneaux (Good et al., 2007). Il s'agit d'un modèle à 5 états (« à l'ancre », « en déplacement », « en pêche », « en sortie du port » et « en entrée du port ») et les performances des modèles par bateau sont particulièrement satisfaisantes (Peel & Good, 2011). L'algorithme de Baum-Welch est appliqué pour estimer les paramètres. Ils comparent le HMM à un filtre sur la vitesse et à un GMM. Le HMM est considérablement plus performant que les deux autres méthodes, en particulier pour détecter les entrées et sorties de port.

Les HMM sont également utilisés sur les données VMS d'une pêcherie pélagique en France (Vermard et al., 2010). Les auteurs considèrent 3 états différents : « en déplacement », « en pêche » et « à l'arrêt » et remarquent que la fréquence d'acquisition des points de géolocalisation doit être plus importante que la fréquence de changement de comportement. L'étude révèle aussi que des données manquantes faussent rapidement le modèle.

La même année, les HMM sont testés sur les données VMS des senneurs français aux Seychelles (Walker & Bez, 2010). Ils considèrent également 3 états : « en déplacement », « en recherche » et « à l'arrêt » (incluant la pêche et les arrêts pour d'autres raisons). Ils montrent que le HMM est plus performant que le simple filtre par vitesse et démontrent l'importance d'avoir des données provenant des observateurs à bord pour (1) choisir les valeurs spécifiques pour les fonctions de densité de probabilité des vitesses, (2) avoir des données antérieures informatives pour les paramètres de la matrice de transition, (3) choisir le seuil pour distinguer les événements de pêche des arrêts et (4) valider les données résultantes du modèle.

De Souza et al. (2016) cherchent à identifier les comportements de pêche au niveau mondial grâce aux données AIS et s'intéressent en particulier à 3 types de pêche : les chalutiers, les palangriers et les senneurs. Ils testent les HMM sur les données AIS des chalutiers, mais indiquent préférer le « data mining » (voir le paragraphe « Combinaison de méthodes discriminatives » pour une description) pour les palangriers, car la distribution des vitesses ne montre pas une distribution évidente. Ils préfèrent également utiliser une autre méthode basée

sur le seuil de vitesse pour les senneurs. Le HMM est construit sur 2 états (« en pêche » et « pas en pêche ») et est ajusté grâce à un apprentissage sur des données labélisées par des experts. Pour vérifier la performance des différentes méthodes, les résultats des modèles sont comparés également à des données labélisées par des experts et les 3 méthodes obtiennent des performances élevées.

Dans une autre étude, les HMM sont utilisés sur les données VMS d'une pêcherie au crabe dans le golfe du Saint-Laurent (Charles et al., 2014). Le modèle comprend 3 états : « en déplacement », « en pose de casier » et « en relevé de casier ». Une des originalités de cette étude est de construire le HMM sur la base d'un temps continu et également d'incorporer des covariables dans le modèle. Les données provenant de plusieurs années, les auteurs démontrent que l'année et les captures associées à un voyage de pêche sont des covariables significatives.

Joo Arakawa et al. (2013) emploient une variante du HMM en partant du postulat que la décision de changement de comportement des pêcheurs ne se fait pas à chaque pas. Un modèle semi-Markov caché (« Hidden Semi-Markov Model », HSMM) permet de s'affranchir de cette contrainte en considérant les suites de pas identiques consécutives et en les regroupant en « segment ». La probabilité de changement d'état prend alors en compte la durée déjà passée dans le comportement présent. Ce sont ici 3 états qui sont considérés : « en déplacement », « en recherche » et « en pêche ». Comme vu précédemment, cette méthode obtient des résultats plus performants qu'une série de méthode discriminative (RF, SVM, ANN), mais aussi que le HMM classique.

Gloaguen et al. (2015) adapte également un HMM à deux états (« pêche » et « pas pêche ») en le couplant avec un processus autorégressif. Cette méthode est appliquée sur des données GPS de 4 voyages de pêche dans la Manche, correspondant à 3 engins de pêche : pêche à la drague, chalutier à panneaux et pêche au trémail. Les auteurs calculent une variable alliant la vitesse et le changement de direction, qu'ils intitulent « vitesse ». Le processus autorégressif est appliqué sur les 2 composantes de cette variable. Cette méthode permet d'avoir une unique distribution gaussienne sur la vitesse à la place de deux distributions différentes pour la vitesse et l'angle et, ainsi rendre la modélisation de l'autocorrélation plus facile.

Cette méthode est reprise par Guillot et al. (2017) sur les données VMS de chalutiers de fond en Suède. Ils trouvent que la méthode de Gloaguen et al. (2015) avec 2 états obtient de moins bonnes performances qu'un modèle de mélange gaussien dépendant de k variables.

Les HMM appliqués sur des données VMS de palangriers en Indonésie (Marzuki, 2017) sont comparés à d'autres méthodes : filtre sur la vitesse, SVM et RF. Les HMM obtiennent de

manière générale les meilleures performances et c'est le HMM non supervisé de premier ordre à 4 états (« déplacement », « pose de l'engin de pêche », « relevé de l'engin » et « immersion de l'engin ») qui est le meilleur. L'originalité de l'approche est de considérer avec un paramétrage GMM des modèles d'observation.

2.2.4. Les variables

Dans les travaux cités précédemment, de nombreuses variables sont intégrées aux modèles et leur pertinence est testée en comparant les performances des modèles selon les variables ou la combinaison de variables choisies. Ne sont présentées ici que les variables qui ont été sélectionnées en fin d'étude, dans les modèles les plus performants.

2.2.4.1. La vitesse

La vitesse du navire est la variable la plus utilisée pour caractériser les changements de comportements sur un voyage de pêche (

Tableau 13). Intuitivement, il paraît évident que lors d'un voyage de pêche, les vitesses varient selon l'activité (en arrêt au port, en déplacement ou en action de pêche, etc.).

Les données GPS, qu'elles proviennent du VMS, de l'AIS ou de tout autre système, contiennent les informations sur la longitude, la latitude et la date/heure de relevé de chaque point. En général, le VMS et l'AIS transmettent également la vitesse, tandis que les GPS plus simples n'incluent pas cette donnée. Cependant, à partir des positions et des heures, il est aisé de calculer la distance et la durée entre 2 points. Le calcul de la vitesse en découle naturellement. Dans la littérature existante sur l'inférence des comportements de pêche à partir de données GPS, il existe des nuances dans la méthode de calcul de la vitesse. Certains auteurs prennent en considération les points au temps t et $t+1$ (Rijnsdorp et al., 1998 ; Stelzenmüller et al., 2008a) tandis que d'autres utilisent les points au temps $t-1$ et t (Murawski et al., 2005 ; Walter et al., 2007). Cela ne semble pas faire de grandes différences et certaines études indiquent simplement de vitesse entre deux points adjacents (Deng et al., 2005 ; Navarrete Forero et al., 2017 ; James et al., 2018 ; Snape, 2019). La vitesse transmise est associée à un point, tandis que la vitesse calculée est associée à un segment, cependant les auteurs assimilent cette vitesse calculée indifféremment aux points de début ou de fin du segment. Dans d'autres approches, la vitesse est laissée associée au segment (Bertrand et al., 2008 ; Joo Arakawa et al., 2013, 2015). Marzuki (2017) compare la vitesse transmise à la vitesse calculée dans les HMM et conclut que le modèle est plus performant avec la vitesse calculée.

D'autres variables utilisées dans les modèles découlent de la vitesse, telles que la vitesse au carré (Muench et al., 2018), les différences de vitesse entre les segments adjacents (Joo

Arakawa et al., 2011, 2013, 2015 ; O'Farrell et al., 2017 ; Muench et al., 2018) ainsi que la vitesse moyenne entre 3 points (O'Farrell et al., 2017 ; Muench et al., 2018). Muench et al. (2018) associe même la vitesse avec les caractéristiques du navire (puissance et longueur) pour créer une nouvelle variable. Lorsque la fréquence d'acquisition des points GPS se fait de manière régulière, il est alors possible de considérer la longueur du segment entre deux points comme un proxy de la vitesse (Vermard et al., 2010 ; O'Farrell et al., 2017 ; Kroodsma et al., 2018 ; Watson et al., 2018). Gloaguen et al. (2016) calculent la vitesse par rapport à la masse d'eau (opposée à la vitesse par rapport au sol, typiquement fournie par les GPS) et remarquent que cela n'a pas d'incidence sur la classification des comportements.

2.2.4.2. Le changement de direction

Le changement de direction au cours d'un voyage de pêche semble aussi être un bon indicateur d'un changement de comportement (

Tableau 13). Selon le type de pêche, le déplacement, avant le déploiement de l'engin, peut être droit (Muench et al., 2018 ; Mendo et al., 2019) ou alors sinueux s'il s'accompagne d'une recherche active d'une concentration de poissons (Gerritsen & Lordan, 2011). De la même façon, l'action de pêche en elle-même peut être droite, notamment dans le cadre d'un chalutage (Russo et al., 2011 ; Gloaguen et al., 2015) ou alors sinueuse lorsqu'il s'agit de poser plusieurs engins par exemple (Russo et al., 2011 ; Mendo et al., 2019). Quoiqu'il en soit, le passage d'un état à un autre est souvent caractérisé par un changement dans la sinuosité de la trajectoire.

De la même façon que pour la vitesse, le changement de direction peut être obtenu grâce aux coordonnées géographiques de chaque point enregistré. Certains auteurs privilégient la valeur absolue de l'angle entre 2 segments (Bertrand et al., 2008 ; Joo Arakawa et al., 2011 ; O'Farrell et al., 2017) tandis que dans d'autres travaux, cet angle peut prendre des valeurs négatives (Vermard et al., 2010 ; Walker & Bez, 2010 ; Kroodsma et al., 2018 ; Muench et al., 2018). Joo Arakawa et al. (2013, 2015) prennent en compte la direction cardinale d'un segment, l'angle entre le segment précédent et actuel ainsi que l'angle entre le segment actuel et le suivant. L'idée de considérer plusieurs points consécutifs est étendue avec l'idée de fenêtre sur la trajectoire (Mills et al., 2007). Pour caractériser le changement de direction, ils calculent la déviation d'angle moyenne et la longueur moyenne du segment sur une fenêtre (entre 4 et 8 points successifs).

2.2.4.3. La vélocité

Gloaguen et al. (2015) introduisent un concept qui englobe la vitesse et le changement de direction. Ils le nomment « vélocité » et il est composé de deux variables : V^p (la vitesse de persistance) et qui correspond à la tendance à se maintenir dans la direction précédente et V^r

(la vitesse de déviation) qui correspond à la tendance à tourner. Elles sont mathématiquement définies ainsi :

$$V_t^p = V_t \cos(\psi_t)$$

$$V_t^r = V_t \sin(\psi_t)$$

Où V_t est la vitesse moyenne entre les positions X_{t-1} et X_t et ψ_t est l'angle dérivé de X_{t-2} , X_{t-1} et X_t , avec $\psi_1 = 0$.

Guillot et al. (2017) mixent aussi la vitesse et le changement de direction dans une variable qui indique la vitesse de changement de direction par unité de temps, la vitesse angulaire. L'intérêt souligné par les auteurs de ramener un changement de direction à une vitesse est qu'ainsi la distribution de la variable étudiée devient gaussienne.

2.2.4.4. Autres variables et covariables

D'autres variables sont introduites dans les modèles dans une fréquence moindre. Une catégorie de variables est celle liée à la temporalité du point échantillonné : année (Muench et al., 2018), mois (Kroodsma et al., 2018 ; Muench et al., 2018 ; Watson et al., 2018), jour de la semaine (Muench et al., 2018), heure de la journée (Bertrand et al., 2008 ; Baker et al., 2016 ; O'Farrell et al., 2017 ; Kroodsma et al., 2018 ; Muench et al., 2018 ; Watson et al., 2018). Un point sur la trajectoire peut également être pondéré selon qu'il soit en début et fin de voyage ou alors plus au milieu (Muench et al., 2018).

D'autres variables sont prises en compte, notamment quand elles sont connues pour influencer les distributions des poissons et par ricochet, le comportement des pêcheurs : la bathymétrie (Muench et al., 2018 ; Watson et al., 2018), la phase de la lune (Muench et al., 2018), la distance à la côte (Kroodsma et al., 2018 ; Watson et al., 2018).

Les caractéristiques des navires peuvent également être introduites dans les modèles, par exemple la puissance et la longueur (Muench et al., 2018) ou encore le nombre de navires se trouvant à moins d'un kilomètre et la distance au point d'ancrage le plus proche (Kroodsma et al., 2018).

Avec les HMM, il est possible d'introduire des covariables qui influent moins que les variables elles-mêmes. C'est ce que fait (Charles et al., 2014) en ajoutant l'année et la Capture Par Unité d'Effort (CPUE).

Tableau 13 : Synthèse des variables utilisées selon les modèles utilisés

Méthode	Variables	Références
Champ aléatoire conditionnel	Vitesse transmise	(Hu, 2016)
Détection de seuil	Vitesse calculée	(Rijnsdorp et al., 1998 ; Deng et al., 2005 ; Murawski et al., 2005 ; Walter et al., 2007 ; Stelzenmüller et al., 2008a ; Navarrete Forero et al., 2017 ; James et al., 2018 ; Snape, 2019)
	Vitesse calculée Angle moyen et la longueur du vecteur moyen sur une fenêtre	(Mills et al., 2007)
	Vitesse transmise	(Eastwood et al., 2007 ; Witt & Godley, 2007 ; Fock, 2008 ; Lee et al., 2010 ; Gerritsen & Lordan, 2011 ; Jennings & Lee, 2012 ; Gonzalez-Mirelis et al., 2014 ; Katara & Silva, 2017 ; Amoroso et al., 2018)
	Sommes partielles de la vitesse calculée	(Alvard et al., 2015)
Forêt d'arbres décisionnels	Longueur du segment Angle absolu entre 2 segments Différences de vitesse entre les segments adjacents (t-1/t, t/t+1) Vitesse moyenne entre 3 points Heure du jour	(O'Farrell et al., 2017)
Modèle de Markov caché	Vitesse transmise	(Good et al., 2007 ; Peel & Good, 2011 ; De Souza et al., 2016 ; Mendo et al., 2019)
	Longueur du segment Angle entre 2 segments	(Vermard et al., 2010)
	Vitesse calculée divisée par la vitesse maximum de chaque navire Angle entre 2 segments	(Walker & Bez, 2010)
	Vitesse calculée	(Charles et al., 2014)
	Vitesse de persistance Vitesse de déviation	(Gloaguen et al., 2015)
	Vitesse de persistance Vitesse de déviation	(Marzuki, 2017)
	Vitesse calculée Vitesse angulaire	(Guillot et al., 2017)
	Vitesse calculée Différences de vitesse entre les segments adjacents (t-1/t, t/t+1) Direction Angle entre les segments adjacents (t-1/t, t/t+1)	(Joo Arakawa et al., 2013, 2015)
Régression logistique	Vitesse transmise Heure du jour	(Baker et al., 2016)

	Vitesse calculée Vitesse au carré Différences de vitesse entre les segments adjacents (t-1/t, t/t+1) Vitesse moyenne entre 3 points Angle entre 2 segments Profondeur de l'océan Différence de profondeur entre 2 points Poids de la position Distance accumulée Distance accumulée au carré Caractéristiques du navire (puissance/longueur) Caractéristiques du navire couplées à la vitesse (puissance/longueur x vitesse) Année, mois, jour, heure Phase de la lune	(Muench et al., 2018)
	Mois, heure du jour Profondeur Différences de vitesse entre les segments (t-1/t, t/t+1) Distance à la côte Moyenne des longueurs de segments des 5 valeurs précédentes Moyenne des longueurs de segments des 5 valeurs suivantes	(Watson et al., 2018)
Réseau de neurones artificiels	Vitesse calculée Heure Différences de vitesse entre les segments adjacents (t-1/t, t/t+1) Angle absolu entre 2 segments	(Bertrand et al., 2008)
	Vitesse transmise Angle absolu entre 2 segments Différences de vitesse entre les segments (t-1/t, t/t+1)	(Joo Arakawa et al., 2011)
	Durée d'un segment Longueur d'un segment Vitesse transmise Vitesse calculée Angle entre 2 segments Heure du jour Mois Angle entre les segments adjacents (t-1/t, t/t+1) Distance à la côte Distance au point d'ancrage le plus proche Temps écoulé pour aller au point d'ancrage le plus proche Nombre de navires à moins d'un kilomètre	(Kroodsma et al., 2018)

2.2.5. Le choix d'un modèle adéquat pour la pêche artisanale au Gabon

Il apparait donc qu'il existe une multitude de méthodes pour inférer les comportements de pêche à partir de données GPS. De plus, un modèle peut être adéquat pour une pêcherie et pas pour une autre (De Souza et al., 2016). Il s'agit donc de trouver le modèle qui correspond le mieux aux données GPS collectées sur les pêcheries gabonaises.

Concernant les modèles discriminants décrits précédemment, certains d'entre eux requièrent de nombreuses observations déjà étiquetées pour la phase d'apprentissage (ANN, SVM, RM).

Aussi, ces modèles tendent à sous-estimer la durée des modes, en raison d'une sursegmentation (Joo Arakawa et al., 2013). Les différentes régressions logistiques sont particulièrement intéressantes pour pouvoir inclure des variables environnementales (Baker et al., 2016 ; Watson et al., 2018). Dans notre cas, le faible nombre de données labélisées et l'absence de données environnementales excluent ces modèles (Muench et al., 2018).

Hu (2016) trouve que les CRF ont des performances légèrement meilleures que les HMM. Cette méthode uniquement utilisée dans cette étude, à notre connaissance, mériterait d'être testée sur d'autres pêcheries. En effet, dans les différentes études menées, les auteurs calculent des indices de performance, qui peuvent servir à comparer des modèles entre eux au sein de l'étude, mais les différentes méthodes de calcul de ces indices rendent impossible la comparaison de plusieurs études entre-elles. Quoiqu'il en soit, grâce aux comparaisons intraétudes, il paraît évident que la méthode par détection de seuil est toujours dépassée par les autres méthodes.

Concernant les modèles génératifs, ce sont les modèles de Markov cachés qui sont les plus communément utilisés (

Tableau 13). Les GMM sont également des modèles intéressants, avec parfois de meilleures performances que les HMM (Mendo et al., 2019) et parfois l'inverse (Good et al., 2007). Si Mendo et al. (2019) obtiennent de meilleures performances avec les GMM, comparés aux HMM, ils indiquent que cela est propre à la pêcherie étudiée. Ils soulignent l'intérêt des HMM, en particulier pour des pêcheries où le changement de direction est à inclure dans le modèle. D'autre part, dans d'autres études, les HMM surpassent les RF, SVM et ANN (Joo Arakawa et al., 2013), les SVM et RF (Marzuki, 2017).

Les HMM semblent donc être de bons candidats, du fait de leur utilisation déjà ajustée à travers de nombreuses études et leurs bonnes performances en général. Les variantes de ces modèles (HSMM, couplés avec un processus autorégressif et avec des mélanges gaussiens) sont des approches intéressantes permettant de prendre en compte la diversité de chaque pêcherie. Ils obtiennent des performances meilleures que les HMM classiques (Joo Arakawa et al., 2013 ; Gloaguen et al., 2015), mais parfois pas (Charles et al., 2014).

Il est également à noter que le choix du nombre d'états est vraiment propre à chaque pêcherie (de 2 à 5 états dans les publications existantes) et qu'une connaissance fine de la pêcherie concernée est nécessaire.

Concernant le choix des variables, la vitesse (et ses variantes) est vraiment la variable de base, commune à toutes les études. Ensuite, le changement de direction est fréquemment utilisé. Dans le cas de la pêche artisanale au Gabon, une connaissance fine de ces pêcheries

permet de dire que ce changement de direction est une caractéristique importante, du fait de la petite taille des embarcations et de leur maniabilité.

La méthode testée sur les données de pêche artisanale gabonaise sera donc un modèle de Markov caché avec pour variables la vitesse et le changement de direction.

3. Test de la faisabilité de l'utilisation de modèles de Markov cachés pour détecter les évènements de pêche dans la pêche artisanale gabonaise

La méthode à tester dans le contexte gabonais ayant été identifiée, la section suivante présente l'expérimentation de cette méthode. Ce travail a donné lieu à une publication dans la revue scientifique PLOS ONE en juin 2020. Des modèles de Markov cachés sont utilisés pour détecter les comportements de pêche dans le cas de l'utilisation de sept engins de pêche différents. Les modèles sont comparés à des informations collectées par des observateurs à bord et, à une plus grande échelle, à une méthode d'interprétation visuelle. Des modèles utilisant des résolutions d'échantillonnage différentes sont aussi testés.

“Too Big To Ignore”: a feasibility analysis of detecting fishing events in Gabonese small-scale fisheries

Floriane Cardiec^{1,2}, Sophie Bertrand³, Matthew J. Witt⁴, Kristian Metcalfe⁵, Brendan J. Godley⁵, Catherine McClellan⁶, Raul Vilela², Richard J. Parnell², François le Loc'h¹

3.1. Introduction

In many developing countries, small-scale fisheries are the mainstay of the fisheries sector (Béné, 2006). Approximately 50 million people worldwide are employed directly in fishing, of which 22 million (44%) are associated with small-scale fisheries (Teh & Sumaila, 2013). This sector, therefore, makes a considerable contribution to local and national economies due to its important role in food security, employment, and as a potential route to poverty alleviation. It has been demonstrated that in comparison to large-scale industrial fishing, small-scale

¹ IRD, Univ Brest, CNRS, Ifremer, LEMAR, France

² Wildlife Conservation Society, Gabon Program

³ IRD, UMR Marbec, Univ Montpellier, CNRS, Ifremer, France

⁴ Hatherly Laboratories, College of Life and Environmental Sciences, University of Exeter, UK

⁵ Centre for Ecology & Conservation, College of Life and Environmental Sciences University of Exeter, UK

⁶ ONG Manga, Gabon

fisheries provide more employment, have lower production costs, produce fewer discards (Thomson, 1988), and may be more likely to promote the sustainable use of marine species, as they respond dynamically to resource fluctuations (Allison & Ellis, 2001). Despite this, small-scale fisheries are often under-studied in comparison to large-scale industrial fleets (Pauly, 1997 ; Zeller et al., 2006 ; Chuenpagdee, 2012 ; Weeratunge et al., 2014).

Among the main challenges to describing and quantifying the spatial distribution and pressures associated with small-scale fisheries are: (1) a lack of resources directed towards data collection; (2) the distant and dispersed nature of fisheries (e.g. remote landing sites); (3) a scarcity of fine-scale spatial data on fishing effort; and (4) a lack of stakeholder engagement and participation in data collection (Alfaro-Shigueto et al., 2010 ; Stewart et al., 2010). This paucity of information, together with the complex socio-economic conditions of communities involved in this sector can have two important and negative consequences. First, the lack of data can lead to an underestimation of fishing effort and hence overexploited fisheries (Weeratunge et al., 2014). Second, it can marginalise communities from decision-making processes and so lead to increased conflict, particularly with government agencies (Alfaro-Shigueto et al., 2010).

As fishing effort varies with location and season, it is important to design spatial management plans for stocks and fisheries (Babcock et al., 2005 ; Bastardie et al., 2010 ; Carson et al., 2017 ; Kroodsmas et al., 2018). However, creating a spatiotemporal footprint of coastal fisheries is often more challenging than for industrial fleets that are frequently tracked using Vessel Monitoring Systems (VMS) or Automatic Identification Systems (AIS) (Witt & Godley, 2007 ; Lee et al., 2010 ; James et al., 2018). As such, the tracking of small-scale fleets tends to require the use of novel approaches. A number of such approaches have been developed including interviews (Lima et al., 2017), participatory mapping (Thiault et al., 2017), at-sea transects (Pet-Soede et al., 2001), modelling using generalised behaviour rules such as distance from the shore and fishing depths (Dunn et al., 2010), number of boats and coastal populations (Johnson et al., 2017) or a combination of these methods (Witt et al., 2012 ; Yates & Schoeman, 2013 ; Breen et al., 2014 ; Kavadas et al., 2015).

Recent advances in remote monitoring technologies, have led to an increase in the use of GPS tracking devices to study small-scale fisheries (Alvard et al., 2015 ; Baker et al., 2016 ; Metcalfe et al., 2016 ; Navarrete Forero et al., 2017). Despite requiring more frequent intervention for downloading data and for servicing, small GPS tracking devices are capable of collecting similar data to VMS and AIS systems and are more appropriate for small vessels without dedicated electrical systems. Several studies have attempted to understand fishing behaviour using VMS data, by separating fishing activity from other activities (cruising, searching,

transiting, hauling) based mostly on simple thresholds on speed (Deng et al., 2005 ; Witt & Godley, 2007 ; Fock, 2008 ; Lee et al., 2010 ; Jennings & Lee, 2012 ; Coro et al., 2013) and sometimes combined with turning angles (Mills et al., 2007 ; Bastardie et al., 2010). In the last decade, more refined approaches have been investigated using Generalised Linear Models (Muench et al., 2018), Gaussian Mixture Models (Marzuki et al., 2015 ; Mendo et al., 2019), Random Forest (O'Farrell et al., 2017) and, Neural Networks (Bertrand et al., 2008 ; Joo Arakawa et al., 2011 ; Russo et al., 2011). In the case of data with temporal dependence, a generative model such as Hidden Markov Model (HMM) is appropriate. When part of the data is available for training (De Souza et al., 2016) and sampling is done with a regular time interval (Muench et al., 2018), HMMs are the generally preferred methodology (Vermard et al., 2010 ; Walker & Bez, 2010 ; Peel & Good, 2011 ; Charles et al., 2014 ; Gloaguen et al., 2015, 2016 ; Walker et al., 2015) and have been shown to provide accurate detections of fishing patterns, especially when speed and turning angle are chosen as variables (Joo Arakawa et al., 2013 ; Mendo et al., 2019).

Small-scale fisheries in Gabon are a perfect illustration of the gap between the importance of the sector and the level of active research and management. The most recent published statistics from 2014 indicate that while industrial fisheries produced 7,026 tons, small-scale marine fisheries produce 18,076 tons (i.e. 72% of the national production - DGPA, 2015). With approximately 1,200 wooden boats along the coast, Gabonese small-scale fisheries are characterised by a great diversity of fishing gears and techniques, practised by a variety of different communities (Bignoumba, 1998). While VMS is mandatory for industrial vessels in Gabon, little has been achieved with regard to spatially mapping of small-scale fisheries. In this experimental study, GPS trackers were used to address this knowledge gap. As technology develops and management issues arise, deployment of GPS devices in small-scale fisheries is anticipated to increase. With no electrical power on most small fishing boats, devices are still limited by battery life and/or data storage capacity. Given these limitations, it is important to gain a better understanding of the potential artefacts, limitations and benefits of differing sampling strategies resulting from working on these often geographically remote, exposed and more logistically challenging fishing environments.

Using small-scale fisheries in Northern Gabon, we examined two approaches to processing tracking data (expert interpretation of fishing tracks and the use of Hidden Markov Models) and investigated the most effective sampling strategies to make use of low-cost tracking solutions for this fleet.

3.2. Materials and Methods

3.2.1. GPS data collection and pre-processing

Between February 2013 and September 2014, GPS devices (Model 1: Garmin Etrex 20, n = 31; Model 2: Mobile Action GT600 motion sensing tracker, n = 6) were deployed on 99 individual fishing trips undertaken by small-scale motorised fishing boats from 6 landing sites in Libreville and Cocobeach (Figure 26). Devices were programmed to record positions at high frequency (5-second intervals), to collect fine scale spatiotemporal data and allow subsequent degradation of the time interval during analysis. Small-scale fisheries are defined here according to Gabonese regulations, as boats that require little financial or technical investment, and which principally rely upon manual manipulation of fishing gear (République Gabonaise, 1994, 2005). Fishing gears utilised varied within and between the communities using each landing sites. Each trip was, therefore, assigned to one of seven fishing gears: (1) surface drifting gillnet, (2) bottom gillnet, (3) purse seine, (4) circling gillnet for sardines, (5) circling gillnet for mullets, (6) longline and (7) handline.

The average deployment duration of each GPS unit ranged between 1 and 10 days before needing to be recharged and/or replaced with a new unit. The number of individual fishing trips recorded for each gear ranged between 8 and 32 (mean \pm SD number of trips recorded per gear: 14 ± 8 ; n = 7 gears). Once each GPS unit was retrieved, the recorded data were downloaded and processed to remove possible erroneous location data, which included: (1) removing pre- and post-deployment locations associated with travel to and from the landing sites; (2) removing locations that were within 3 km of landing sites as these are associated with transiting and are areas where fishing is prohibited; and (3) applying a speed filter to remove locations with a speed $> 50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. This threshold was based on maximal speed of 40 HP engines typically used by small-scale fisheries. In a time series of locations, time interval standardised data are a prerequisite for Hidden Markov Models, therefore, GPS data for each fishing trip were standardised to 5-second intervals to avoid time lag and to eliminate missing locations from poor satellite coverage using speed-based linear interpolation.

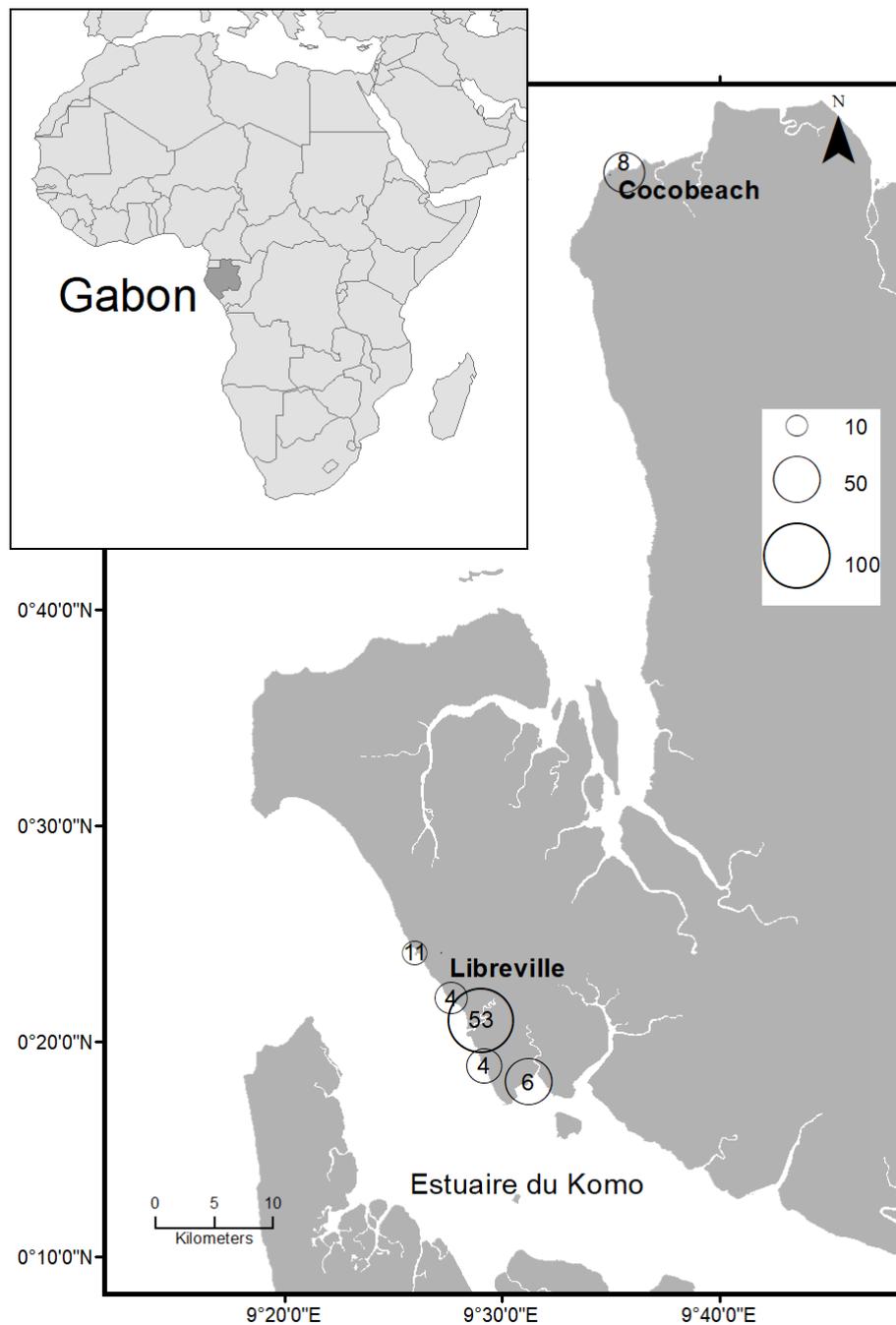


Figure 26: Map of the North of Gabon showing the size of the fleet and the number of fishing trips sampled by landing site. Size of circles represents estimated number of boats by landing site and number inside is the count of fishing trips sampled in this location.

After processing, the resulting dataset comprised of 99 tracks, and 818,747 vessel locations (longitude and latitude decimal degrees, WGS84). To gain an insight into the general operating behaviour of small-scale fisheries in the region, information on total trip duration and total distance were calculated and summarised for each individual gear type. Data were processed in R using *adehabitatLT*, *rgdal*, *geosphere* packages in R (Calenge, 2011 ; R Core Team, 2018).

3.2.2. Characterising Behavioural fishing states

We investigated two approaches to identify fishing behaviour within GPS tracking data (n=99), using data from on-board observers (n=7) regarding fisher behavioural changes as reference: (1) visual interpretation based on several characteristics of fishing behaviour determined by on-board observers and (2) application of Hidden Markov Model to GPS tracking data. Due to the low sample of trips with observers on-board, the visual inspection was employed as the truth against which to assess the accuracy of HMM.

3.2.3. On-board observers

For each fishing gear (n = 7), an observer accompanied a single fishing trip recording fishing practices and behaviours such as: time of departure, start and end time of gear deployment, start and end time of gear retrieval (e.g. hauling), and time of return to the landing site.

From these data and associated GPS tracks, the unique fishing “signature” for each fishing gear was characterised (i.e. typical shape, speed and turning angle; Appendix 7, Fig. S1.A). Artisanal fishers in Gabon transit to fishing grounds upon which the crew actively search for signs at the sea surface before deploying their gear. In other studies, each fishing trip could be divided into distinct behaviours: transiting, searching, setting, fishing and hauling (Vermard et al., 2010). In our study, as the typical engine used is relatively low-powered (i.e. 40 HP), vessel speed is maintained during the searching phase. For all fishing operations, there is a phase of gear deployment (i.e. fishing commences). For the following gear types: longline, drifting and bottom gillnet, fishers wait with the gear while it soaks and fish are caught. The gear is then retrieved from the water (i.e. fishing ceases) and a transiting phase follows as boats return to the port, or to commence further fishing operations.

3.2.4. Visual interpretation

These signatures were used to identify fishing operations for remaining tracks that did not have on-board observers (n=99 trips). This process involved 3 experts (including FC) who have > 10 years of experience working on artisanal fisheries in Gabon and so have a detailed understanding of fishing practices and behaviours displayed by distinct communities. Each expert analysed tracks from communities they know the best and, therefore, each track has been analysed only by one expert. They visualised the track shape and pattern along with information on speeds to distinguish each individual fishing operation. This method based on expert knowledge has already been used in a previous study (De Souza et al., 2016). Each location in a track was subsequently classified as either ‘fishing’ or ‘non-fishing’. When vessel speed was less than 7 km.h⁻¹ and the typical shape of a fishing operation was observed, the start and end time of the fishing operation were recorded.

3.2.5. Hidden Markov Model Theory

To identify fishing activity from track metrics, a Hidden Markov Model was applied. HMMs are commonly used as discrete time-series models to represent probabilities of hidden states (Patterson et al., 2009 ; Zucchini & MacDonald, 2009 ; Langrock et al., 2012 ; Joo Arakawa et al., 2013 ; Kosović & Fertalj, 2014 ; Heerah et al., 2017) and are increasingly being employed to analyse fishing vessel movements (Vermard et al., 2010 ; Walker & Bez, 2010 ; Peel & Good, 2011 ; Charles et al., 2014 ; De Souza et al., 2016 ; Boerder, 2018).

According to (Rabiner, 1989), a HMM is characterised by:

- (1) N , the number of states in the model. In this case study, those states correspond to fisher behaviour, for instance being at anchor, travelling, fishing, etc. The individual state is noted $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ and the state at time t is q_t .
- (2) M , the number of distinct observations. Here, it is the number of segments (steps) between two successive positions in a track. The individual observation is noted as $V = \{V_1, V_2, \dots, V_M\}$
- (3) The state transition probability distribution $A = \{a_{ij}\}$ where

$$a_{ij} = P [q_{t+1} = S_j | q_t = S_i], \quad 1 \leq i, j \leq N$$

In our case, it's the probability to switch, for instance, from a fishing activity to transiting between t and $t+1$. It's one of the main characteristics of HMM that q_{t+1} depends on q_t but is completely independent of the previous state q_{t-1} .

- (4) The observation probability distribution in state j , $B = B \{b_j(k)\}$ where

$$B_j(k) = P [v_{kt} | q_t = S_j], \quad \begin{matrix} 1 \leq j \leq N \\ 1 \leq k \leq M \end{matrix}$$

Here, it is the probability for a segment V_k to be in a specific state S_j .

- (5) The initial state distribution $\pi = \{\pi_i\}$ where

$$\pi_i = P [q_1 = S_i], \quad 1 \leq i \leq N$$

The initial state corresponds to the state the first observation takes.

3.2.6. Choice of observed variables, number of states and initial parameter values

To determine fishing activity within tracking data, speed is commonly used (Muench et al., 2018) as well as turning angles (Marzuki et al., 2015 ; Gloaguen et al., 2016 ; O'Farrell et al., 2017), as these characteristics of movement change with fisher activity. When transiting to a fishing ground, the GPS track tends to produce a straighter trajectory with a higher speed as opposed to when it is fishing, when the trajectory tends to be more sinuous with a lower speed

in artisanal fisheries in Gabon (as seen in Appendix 7, Fig. S1.B). Distance between each location (step) and turning angles were used as observed variables in the model. The choice of the number of states for the model is crucial and depends on the study system (Pohle et al., 2017). To choose the number of states, the distribution of speeds for each gear was observed and integrated with existing knowledge about fishing techniques.

In HMMs, seed values for the model parameters need to be specified. In this case, data from on-board observers were used to provide initial parameter values. Step lengths followed a gamma distribution, and angles a Von Mises distribution (Photopoulou, 2017). For each gear type, mean and standard deviation of step lengths and concentration of angles were calculated for each state (fishing and non-fishing), to determine initial parameter values.

3.2.7. HMM fitting

The R package MoveHMM was used to determine fishing and non-fishing states from the GPS tracking data (Zucchini & MacDonald, 2009 ; Michelot et al., 2016). A Hidden Markov Model was fitted for each gear type, using the forward algorithm (Michelot et al., 2016). To determine the most probable state sequence, a Viterbi algorithm was used. Pseudo-residual distributions from the HMM process were visually inspected to confirm normal distribution.

3.2.8. Method Performance Evaluation

Confusion matrices were used to determine the performance of the HMM and visual interpretation approaches. Using the confusion matrix, several performance measures were calculated, these included: (1) sensitivity, which is the probability that a test will indicate 'fishing' among those which were actually fishing; (2) specificity which is the probability that a test will indicate 'non-fishing' among those which were actually not fishing; (3) fishing prediction which indicates the probability of true fishing positions among fishing positions detected by the model; and (4) non-fishing prediction which indicates the probability of true non-fishing positions among non-fishing positions detected by the model (Altman & Bland, 1994).

For trips with observers on-board (n=7), observed data on the occurrence of fishing activity were compared to fishing detected during expert interpretation and from the HMM process. Visual interpretation and HMM approaches were also compared. Since for the rest of tracks (n=99), fishing trips did not have an observer on-board, the visual interpretation was used as the truth against which to assess the accuracy of HMM. To test the utility of this approach on datasets with different temporal sampling resolutions, the HMM was fitted to data regularised at different time intervals (i.e. 10, 20, 30, 40, 50 and 60 seconds, and each of 2 to 10 minutes at 60-second intervals). Ten minutes was the maximum time step tested as it was typically the shortest duration of a fishing operation, especially for handlines.

To assess the most efficient method for detecting fishing activity within GPS tracking data (i.e. minimum analytical time), three time-based metrics were calculated: (1) the mean duration of a fishing trip hosting an on-board observer, (2) the mean duration required to visually inspect tracking data during the expert interpretation process, and (3) the mean duration required to complete the execution of the HMM.

3.3. Results

3.3.1. Cleaned data characteristics

Fishing characteristics (e.g. trip duration and distance covered) varied with fishing gear type (Figure 27). Some fishing techniques occurred during a single day such as sardine circling gillnets, mullet circling gillnets and purse seines; the minimum trip duration was 02:19 hours for purse seines. Other techniques, however, extended through day and night (longlines, bottom gillnets) or even several days per trip (surface drifting gillnets, handlines); the maximum trip duration was 76:11 hours for surface drifting gillnets.

Variation among gear types was also observed with the total trip distance, with up to 165 km covered for surface drifting gillnet trips, or with more coastal fishing methods like purse seines where the minimum trip distance was 26 km.

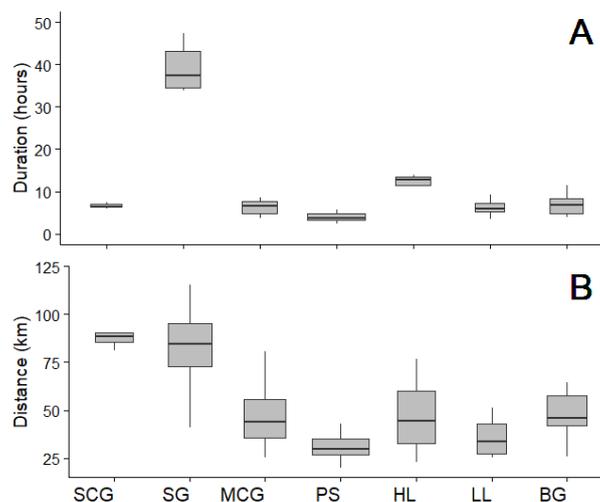


Figure 27: Boxplots of trip duration (A) and distance covered (B) for n trips by gear type. SCG=Sardine Circling Gillnet (n=10), SG=Surface Drifting Gillnet (n=14), MCG=Mullet Circling Gillnet (n=12), PS=Purse Seine (n=32), HL=Handline (n=12), LL=Longline (n=8) and BG=Bottom Gillnet (n=11).

3.3.2. Behavioural states

In this study, behavioural states were simplified to “fishing” and “non-fishing” activities. Indeed, speed distributions for each gear type (Figure 28) revealed a bimodal distribution and, as such, a two states HMM modelling process was considered the most parsimonious approach.

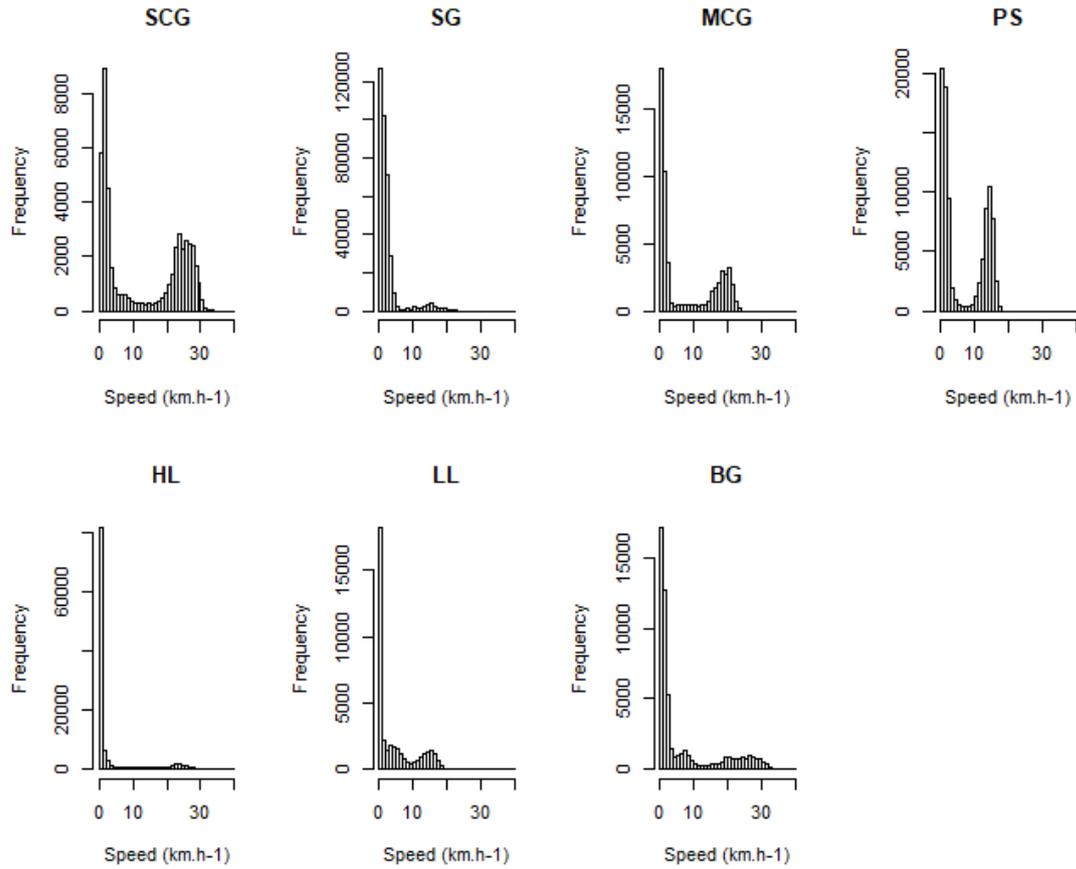


Figure 28: Distribution of vessel speed for each gear type. SCG=Sardine Circling Gillnet, SG=Surface Drifting Gillnet, MCG=Mullet Circling Gillnet, PS=Purse Seine, HL=Handline, LL=Longline and BG=Bottom Gillnet.

For each gear type, one track was split into different behaviours thanks to an observer on-board. These observed data were used to calculate initial values to fit the HMM for each gear type (Appendix 7, Table S1.A), and the shape of a fishing operation within the GPS track was memorised as a “fishing signature” (Appendix 7, Fig. S1.A), which was then used to recognise fishing patterns (combined with vessel speed) in the visual interpretation method (Figure 29).

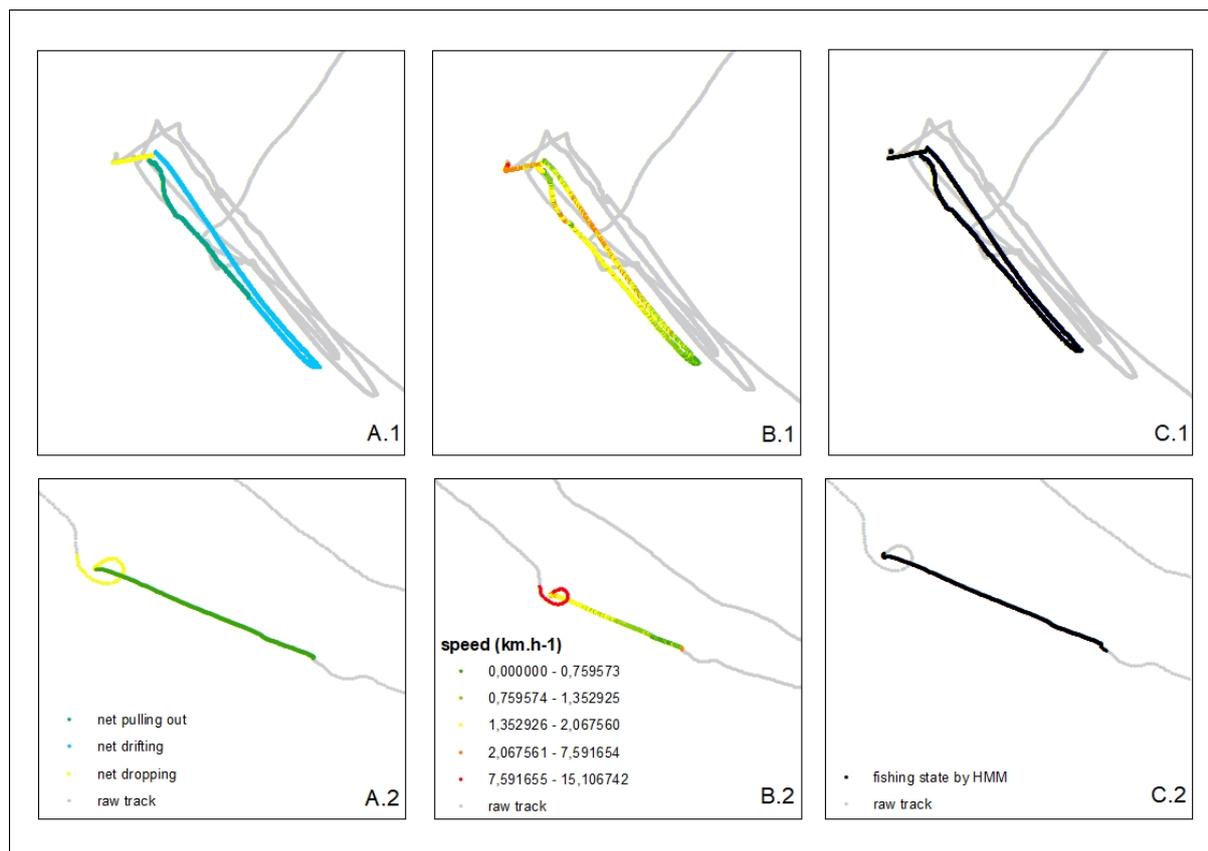


Figure 29: Mapping of 2 different methods used to identify a fishing event on a fishing trip (B: visual interpretation, C: HMM) compared to observed data (A: on-board observer) for two different gear types (1: surface drifting gillnet, 2: purse seine)

Table 14: Performance measures between on-board observers and visual interpretation for each gear type.

	Accuracy	Sensitivity	Specificity	F prediction	NF prediction
Sardine circling gillnet	0.90	0.98	0.87	0.77	0.99
Surface drifting gillnet	0.98	0.99	0.85	0.98	0.89
Mullet circling gillnet	0.96	0.96	0.95	0.96	0.95
Purse seine	0.95	0.97	0.92	0.97	0.92
Handline	0.90	0.95	0.46	0.94	0.48
Longline	0.95	0.94	0.97	0.97	0.93

Bottom gillnet	0.96	1.00	0.63	0.96	1.00
MEDIAN (MAD)	0.95 (±0.00)	0.97 (±0.02)	0.87 (±0.08)	0.96 (±0.01)	0.93 (±0.04)

Analysis was conducted on the seven trips with observers on-board, with data collected on-board taken as the truth. The sensitivity expresses the fishing detection and the specificity, the non-fishing detection. (F=fishing, NF=non-fishing, MAD=Median Absolute Deviation)

Table 15: Performance measures between on-board observers and HMMs.

	Accuracy	Sensitivity	Specificity	F prediction	NF prediction
Sardine circling gillnet	0.72	1.00	0.59	0.52	1.00
Surface drifting gillnet	0.80	0.79	0.92	0.99	0.32
Mullet circling gillnet	0.80	0.99	0.51	0.75	0.98
Purse seine	0.97	0.97	0.97	0.99	0.92
Handline	0.91	0.90	1.00	1.00	0.52
Longline	0.75	0.98	0.49	0.69	0.96
Bottom gillnet	0.82	0.81	0.89	0.98	0.37
MEDIAN (MAD)	0.80 (±0.05)	0.97 (±0.03)	0.89 (±0.11)	0.98 (±0.02)	0.92 (±0.08)

Analysis was conducted on the seven trips with observers on-board, with data collected on-board taken as the truth. The sensitivity expresses the fishing detection and the specificity, the non-fishing detection. (F=fishing, NF=non-fishing, MAD=Median Absolute Deviation)

Table 16: Performance measures between visual interpretation and HMMs.

	Accuracy	Sensitivity	Specificity	F prediction	NF prediction
Sardine circling gillnet	0.79	0.98	0.66	0.65	0.98
Surface drifting gillnet	0.80	0.80	0.91	0.99	0.30
Mullet circling gillnet	0.79	0.99	0.50	0.75	0.97
Purse seine	0.95	0.96	0.95	0.98	0.89
Handline	0.81	0.84	0.51	0.94	0.25
Longline	0.71	0.96	0.45	0.65	0.92
Bottom gillnet	0.80	0.80	1.00	1.00	0.26
MEDIAN (MAD)	0.80 (±0.01)	0.96 (±0.03)	0.66 (±0.22)	0.94 (±0.06)	0.89 (±0.09)

Analysis was conducted on the seven trips with observers on-board, with visual interpretation considered as the truth. The sensitivity expresses the fishing detection and the specificity, the non-fishing detection. (F=fishing, NF=non-fishing, MAD=Median Absolute Deviation)

Based upon the confusion matrix, accuracy was assessed between observed data (when an observer was on-board) and the visual interpretation classification (Table 14). Median accuracy was 0.95 and, values were higher for fishing detection (sensitivity) and fishing prediction than for non-fishing detection (specificity) and non-fishing prediction. Sardine circling gillnets and handlines experienced the lowest accuracy (0.90). When comparing observed data with HMM predictions (Table 15), the median accuracy was 0.80. The fishing prediction was better than the non-fishing prediction. The sardine circling gillnets produced the lowest accuracy (0.72), with a weak specificity (0.59), followed by longlines with the 0.75 accuracy due to the lowest specificity (0.49). Other gear types produced accuracies greater than 0.8. Comparison between visual interpretation and HMM predictions (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) produced a median accuracy of 0.8, whereby the lowest accuracies were for longlines (0.71), sardine circling gillnets (0.79) and mullet circling gillnets (0.79).

3.3.3. Modelling versus visual interpretation

When HMM was applied to all the data and compared to the visual interpretation method considered as truth, the median accuracy was 0.75, and performance varied depending on the gear type (Table 17). The lowest accuracy (0.69) was obtained for surface drifting gillnets. The best accuracy (0.85) was achieved by the purse seines. The median sensitivity was higher than the median specificity and the median non-fishing prediction was higher than the median fishing prediction. The percentage of time spent fishing during a fishing trip was also compared between methods. Fishing time was greater for each gear type when calculated from HMM results than for visual interpreted states, except for longlines and bottom gillnets (Table 17).

Table 17: Performance measures of the HMM compared to visual interpreted states for all tracks (n=99) and percentage of trip duration spent fishing (F=fishing, NF=non-fishing)

	Performance measures					% of trip fishing	
	Accuracy	Sensitivity	Specificity	F prediction	NF prediction	visual interpretation	HMM
Sardine circling gillnet	0.78	0.96	0.66	0.66	0.96	41	59
Surface drifting gillnet	0.69	0.76	0.57	0.76	0.58	64	64
Mullet circling gillnet	0.75	0.95	0.57	0.67	0.92	48	68
Purse seine	0.85	0.94	0.77	0.79	0.94	47	57
Handline	0.74	0.85	0.43	0.80	0.51	73	77
Longline	0.75	0.96	0.43	0.72	0.88	60	38
Bottom gillnet	0.75	0.75	0.75	0.94	0.36	84	67
Median	0.75	0.94	0.57	0.76	0.88	60	67

Surface drifting gillnets is the gear type that resulted in the lowest accuracy of all, and corresponds to 13 fishing trips and 372,378 points (Figure 30). Fishing and non-fishing state accuracies were 0.76 and 0.56, respectively. Results for other gears are presented in Appendix 7, Fig. S1.B.

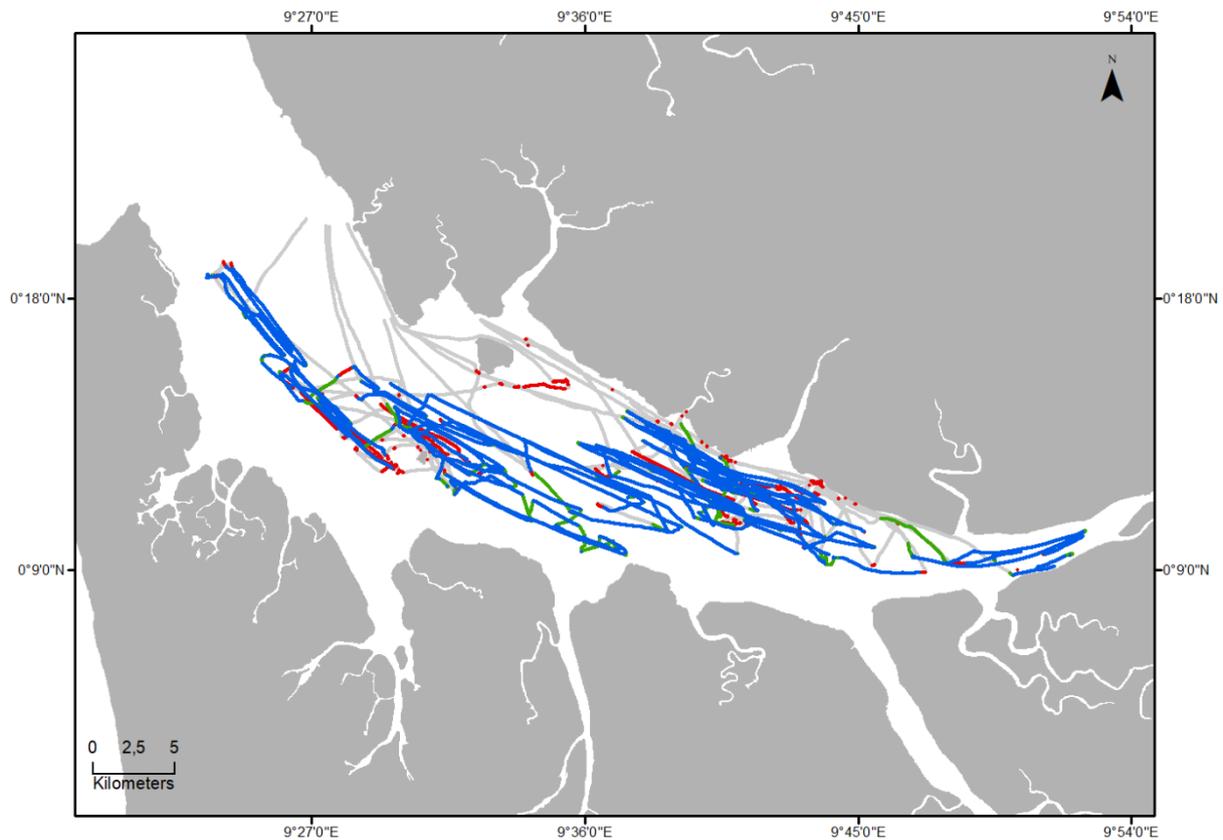


Figure 30: Map of all tracks for surface drifting gillnet gear type and fishing areas identified by visual interpretation and HMM methods (In grey: both methods predicted non-fishing, in blue: both methods predicted fishing, in red: only HMM predicted fishing, in green: only visual interpretation predicted fishing)

3.3.4. Performance measures with different sampling intervals

Performance metrics were examined for different sampling intervals, revealing substantial variation by gear type. For most gears, accuracy decreased with increasing time intervals between locations, with the exception of bottom gillnets, which increased (Figure 31A, Appendix 7, Table S1.B). Accuracy was highest for bottom gillnets. Gears with consistently high sensitivity values (between 0.8 and 1), included: purse seines, sardine circling gillnets, bottom gillnets and mullet circling gillnets. Other gears produced lower sensitivity values that tended to decrease with increasing time steps, such as surface drifting gillnets, longlines and handlines (Figure 31B). Some gears showed decreasing specificity with increasing time steps, such as purse seines, mullet circling gillnets and sardine circling gillnets, while other gears

such as handlines and surface drifting gillnets tended to show increasing specificity. Longlines and bottom gillnets showed varied specificity by first decreasing and then increasing (Figure 31C). The fishing prediction values for bottom gillnets were consistently high across time steps, while they tended to decline with time steps for purse seines, sardine circling gillnets and mullet circling gillnets. Other gears such as handline, longline and surface drifting gillnet seems to be stable (Figure 31D).

The optimal value for sampling frequency to achieve high accuracy and sensitivity was 120 seconds, 300 seconds for specificity, 5 seconds for fishing prediction, 60 seconds for non-fishing prediction (dashed lines in Figure 31).

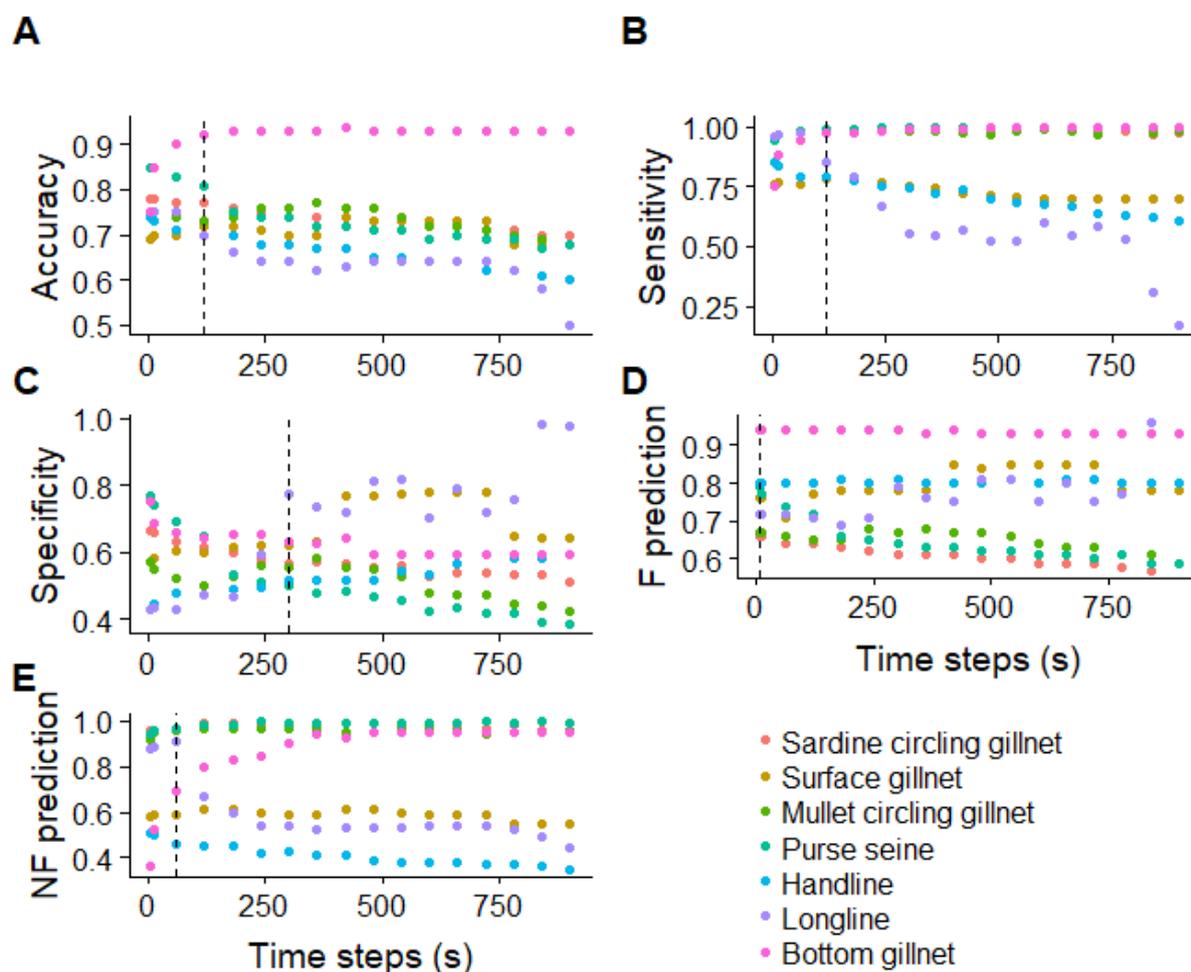


Figure 31: Accuracy, sensitivity, specificity, fishing prediction and non-fishing prediction across different time steps for each gear type. The dashed line shows the time step where values were highest. Values can be found in S2 Table.

3.3.5. Comparison of methods

When the two methods were compared to having on-board observer data, regarding the time spent conducting analysis, the HMM method was the quickest, about 30 times less than the visual interpretation method and 720 times less than when an observer was on-board (Figure 32). The HMM method also required use of one software package (R), while the visual interpretation method required two software packages (R and a GIS). Median accuracy across gears was 95% for the visual interpretation method and 80% for the HMM method.

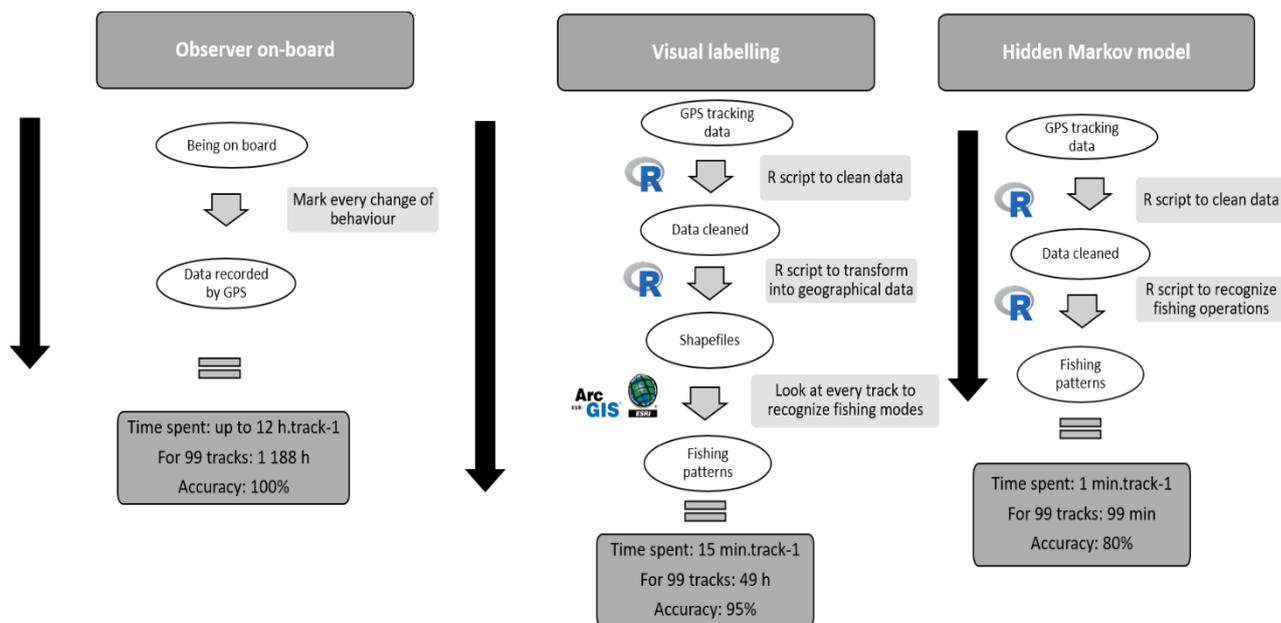


Figure 32: Stepwise overview of the processes of the two methods. Their time investment and estimated accuracy (%) are compared to having an on-board observer.

3.4. Discussion

3.4.1. Accuracy of methods

This study describes a way to identify and to map fishing behaviours for small-scale fisheries in Central Africa using Hidden Markov Models. We chose to develop models by gear type due to the large variation among their trip characteristics. Our visual interpretation approach had a high accuracy (0.95) when compared to data collected by on-board observers. The HMM results suggested that model accuracy was good enough to have an idea of actively-fished areas (median=0.75) and proved to be about 30 times faster than visual interpretation of fishing states.

It was important to validate visual interpretation before comparing it to HMM. As having an on-board observer is expensive and not always possible, the visual interpretation approach has

been accepted in similar studies (De Souza et al., 2016 ; Boerder, 2018). Here, results show a high performance accuracy (0.95), but a lower performance for specificity (0.87), meaning that the visual interpretation method is not as good at detecting non-fishing behaviours. More precisely, when the comparisons were made by gear, non-fishing detection and prediction were low for handline fishing in this study. Indeed, when using this gear, fishermen slowed down to put the line in water, let it soak for a few minutes (10 min), moved the boat a short distance and put the line again in water. Those short moves between two fishing events were difficult to recognise visually. This weakness was, however, also found using HMM; the non-fishing prediction was low. The same issue was observed in bottom gillnet data, with the visual interpretation being weak at detecting non-fishing states. In those cases, transition between two fishing events could be classified as fishing by visual interpretation and by HMM.

Accuracy of the HMM became weaker when applied to a larger dataset but it is possible that the accuracy of the visual interpretation decreases also. To assess this tendency, more data from on-board observers would be necessary. Those data would also allow to have more precise model parameters but in a context of working with fishing communities, gaining trust takes time and observers are not always accepted. This is why the sample size was low and this should be addressed in future studies when trust is well established. Lower model performance accuracy occurred for fishing gears where fishermen let the gear soak longer in the water. In these cases, time was spent drifting and sometimes fishers left their gear in place and moved the boat to another area. In fact, the model was better at predicting fishing behaviours than it was at predicting non-fishing behaviours. During non-fishing patterns, fishermen could decrease speed and change direction for various reasons (engine stops, meeting with another boat, etc.). This was confirmed by comparing time spent fishing per trip among methods; the HMM over-detected fishing states (except for bottom gillnets). Still, accuracy was good enough to detect fishing areas, since high precision was not essential when gear length can be as much as 3 km long. A similar level of accuracy has been found when HMM was applied to data from VMS compared to those from on-board observers (Joo Arakawa et al., 2013). The model performance accuracy could be increased by adding covariates to the model, such as bathymetry and/or landing sites of origin, given that fishing methods depend on water depth and also on the fishing community. This should be explored in future studies.

3.4.2. Understanding fishing techniques

Some fishing trips, such as those using surface drifting gillnets or longlines, typically result in a stay at-sea for several days, while fishers deploying other gears undertake fishing trips of less than 24 hours in duration. It is frequently related to the soak time of the gear, as drifting

nets or longlines (passive gears) can be set for multiple hours as opposed to active gears, such as purse seines, where circling a school of fish can take as little as 30 minutes. One of the important results of this study was obtaining the fishing signatures for each gear type, via on-board observers, allowing us to identify fishing patterns post-hoc from the shape of a GPS track visualised in GIS software. Moreover, this characterisation of the fishing gears enabled initial parameterisation of the HMMs. In this study, two states were chosen, as this fit the bimodal distribution of boat speeds, but it would be interesting to test a model with three or four states in future studies, as some fishing techniques can be divided into four different activities: travelling, setting, soak time and hauling.

The maps showing fishing states identified by both methods (Figure 30 and Appendix 7, Fig. S1.B) provided insights into the idiosyncrasies of some gears. For all gears, the model predicted a few fishing steps completely outside the fishing locations, probably due to decreasing speed (which could reflect engine problems, meeting with other fishermen, etc.) that was corroborated by performance measures, which were weaker when the model tried to detect and to predict non-fishing states.

Surface drifting gillnet. On rare occasions, the model missed some fishing states. One of the characteristics of this fishing technique is that the boat stays attached to the net while it drifts. Occasionally, fishermen can leave the net for a few minutes (i.e. meeting with other fishermen, surveillance controls) and then, the track recorded is not the position of the fishing net but that of the boat, even if the net is still in the water.

Mullet circling gillnet. Here, the HMM doesn't detect states visually interpreted as fishing by experts, mainly when the boat is close to the shore. Usually, boats decrease their speed when they approach the coast and may even stop, to rest. Interpretation errors could occur, as this gear, targeting mullets (*Mugilidae*) that feed on mud banks (Cardona, 2015) in shallow water.

Purse seine. This fishing technique is peculiar because fishermen encircle a school of sardines and, consequently, sometimes decrease their speed to detect a school before fishing. The HMM could interpret those changes in speed as fishing. Despite those errors, it should be noted that this gear produced the best performance measures.

Handline. The model under-detected fishing identified by the expert. Because this fishing technique is characterised by short moves between fishing operations of short duration, it can be difficult to recognise visually and this bias could be associated with manual interpretation errors. It may be possible that models outperform visual interpretation in certain cases (Camerer & Johnson, 1997).

Bottom gillnet. The model under-detected fishing events compared to expert validation. Bottom gillnet fishermen have five to six different nets in the boat. They set all the nets successively (with some increases in speed between each net), wait a while, and then pull out all the nets successively. Determination of the exact position of the gear is problematic since the GPS records the boat's track, and in this case, the boat is not attached to the gear the entire time. Experts included moves between each net as fishing time because nets were still in the water. The model identified those moves as non-fishing operation. Again, when bearing in mind the scale of the fisheries (nets extending to 1 km in length) and the fact that nets are set near each other, this difference would be negligible for a generalised view of fishing locations, however it makes a difference in time spent fishing during the trip. Due to the peculiarity of this fishing technique, a 3-state model should be tested (non-fishing, setting and hauling).

3.4.3. GPS sampling interval

When the sampling interval between each location was increased, model prediction accuracy varied by gear type. For the majority of gears, accuracy decreased with the exception of bottom gillnets, where accuracy increased. Not surprisingly, accuracy increased at shorter time steps for gears with the shortest fishing operations (i.e. handlines, longlines, purse seines, sardine and mullet circling gillnets). Indeed, some fishing techniques, such as handlines can last just 10 minutes and, if the time step is larger, then a fishing operation would not be highlighted by the model. For other gears like surface drifting gillnets, the gear can remain in the water for several hours, which explains why a change of time step (between 5 seconds and 10 minutes) has little impact on the accuracy of the model.

Although it may be easy to recognise the gear employed when looking at a track from a fishing trip, it is more difficult to predict which gear will be used by a given boat type, as fishermen in this study regularly change their fishing techniques. For this reason, it would be useful to have a maximum time step to set up GPS trackers in the future. Taking into account the shortest fishing events (i.e. handlines with 10 minutes), and the requirement that a minimum of 3 points are necessary to describe a fishing event (due to angle calculations), a maximum sampling interval would be 200 seconds for the gears evaluated in this study. The best sampling interval was 120 seconds, as it produced the best accuracy and sensitivity. Based on these findings we suggest that a GPS with an autonomous battery should be set to sample locations between 120 and 200 seconds, as this will improve the model prediction accuracy as well as extend battery life during deployment.

3.5. Conclusion

In the context of fisheries management in Gabon, utilisation of HMM has allowed a considerable insight into how spatiotemporal patterns of small-scale fisheries could be assessed in the absence of VMS/AIS, and where adequate personnel and other resources cannot be guaranteed. This study provides advice to managers in such situation who would want to detect fishing events from GPS data, i.e. having a stratified sampling by gear and set up sampling time interval between 2-3 minutes. Using HMM is also a promising approach associated with a participatory data collection process. Indeed, fishermen are often interested in new technologies that allow them to map their fishing grounds, to know their real-time position and be able to check if they are, for example, within a protected area. It also allows fishers to actively demonstrate to management authorities where they actually fish. This role is particularly important when decisions are being made on fishing area closures at a governmental level. In 2014, the Gabonese government announced a program to protect at least 23% of Gabonese Exclusive Economic Zone (EEZ). Knowledge of where fishing was occurring helped the design of a new Marine Protected Area network in 2017, which finally covered 26% of the EEZ.

Finally, neighbouring countries (Congo and Equatorial Guinea) have already started to deploy GPS trackers on their small-scale fisheries boats (Metcalf et al., 2016), following the example of the Gabonese MPA project. This labour-efficient method of analysis could be shared with those countries and any nation sharing Gabon's characteristics and challenges.

Chapitre 3 : La répartition spatiale de l'effort nominal de pêche

1. Introduction

Pour quantifier l'impact de la pêche sur la ressource, la mesure la plus communément relevée est la quantité de captures. Cela s'explique en partie, par le fait que c'est une donnée relativement accessible, qui peut être collectée aux débarquements (McCluskey & Lewison, 2008), que c'est une donnée qui est souvent enregistrée par les pêcheurs et leurs partenaires économiques pour un suivi des échanges de capitaux et que parfois, c'est une information obligatoire dans le cas de respect de quotas de pêche. Or si l'objectif est l'évaluation de la santé du stock, les données de captures sont insuffisantes et doivent être associées à l'effort de pêche (Hilborn & Walters, 1992), ce qui est communément appelé les Captures par Unité d'Effort (CPUE). L'information sur l'effort de pêche est nécessaire pour interpréter les changements dans les quantités de captures et également pour réguler l'efficacité de la pêche en maximisant les profits et en minimisant la surpêche (Branch et al., 2006). Cependant, limiter l'effort de pêche à une variable ajustable pour réguler la pêche et ne lui garder qu'un rôle législatif et de gestion, serait manquer une composante importante des connaissances qui peuvent être déduites de l'effort de pêche (Gelchu & Pauly, 2007). En effet, l'effort de pêche peut également être utilisé pour suivre les changements du marché (coûts et profits pour les pêcheurs), pour évaluer l'impact de nouvelles pratiques ou engins de pêche, pour délimiter et mettre en place des aires marines protégées. Pour ces raisons, quantifier et suivre les changements de l'effort de pêche est impératif pour une gestion efficace des pêches (McCluskey & Lewison, 2008). Ainsi, selon l'objectif (gestion ou état des stocks) et selon la précision des données disponibles, deux notions d'effort de pêche se distinguent : l'effort effectif et l'effort nominal. L'effort effectif mesure la pression réelle exercée sur le stock, tandis que l'effort nominal quantifie une activité humaine (Gascuel, 1993).

Au chapitre précédent, les méthodes pour identifier spatialement les opérations de pêche ont été développées. Ces opérations de pêche s'insèrent dans différentes stratégies, caractérisées par leur dynamisme (voir chapitre 1). Pour pouvoir quantifier ce dynamisme, il est nécessaire de considérer ces mouvements à l'échelle d'une flotte ou d'un espace géographique (région, pays, etc.) et cela, sur une période donnée. Si l'interprétation des données de captures et d'effort demeure une partie intégrante des processus d'évaluation de stocks pour de nombreuses pêcheries, une des limitations de cette vision est due à la non-prise en compte de la distribution spatiale de l'effort (Campbell, 2004). En effet, même si la ressource diminue, cela peut passer inaperçu dans les données de captures et d'effort, si

l'effort se concentre de plus en plus dans une zone où la ressource est présente. Ainsi, localiser l'effort de pêche et, ultérieurement les captures, est une composante cruciale pour la plupart des programmes de suivi de la pêche (Palmer & Demarest, 2018).

La notion de territoires de pêche (« fishing grounds ») est largement présente dans la littérature, mais il n'en existe pas de définition claire (Russo et al., 2013). Cependant, cette notion se retrouve dans la définition de la FAO (FAO, 1997) de l'effort de pêche, comme étant : « La quantité d'engins de pêche d'un type spécifique utilisée dans les territoires de pêche pour une période donnée ». Ainsi, les territoires de pêche peuvent être définis comme les zones où l'effort de pêche est déployé. Ces deux notions d'effort et de zone de pêche sont intrinsèquement liées et sont des variables dynamiques qui répondent aux changements temporels de façon plus ou moins prédictible (Gelchu & Pauly, 2007). Les zones de pêche sont sujettes au changement, selon la disponibilité de la ressource, l'évolution des techniques de pêche ou encore les changements de législation. La modélisation de la distribution spatiale des flottes de pêche est donc un sujet d'étude capital.

Dans ce chapitre seront donc développés la notion d'effort de pêche, sa définition et les méthodes aboutissant à sa quantification, puis les méthodes de représentation spatiale de l'effort de pêche. Finalement, l'application au cas concret de la pêche artisanale maritime du Gabon montrera comment la géolocalisation de l'effort et des territoires de pêche permet une meilleure gestion de la pression de pêche, en particulier dans un contexte de nouvelle réglementation.

2. L'effort de pêche

2.1. Effort nominal et effort effectif de pêche

L'effort de pêche peut être défini comme une variable de substitution qui englobe l'ensemble des contributions utilisées pour capturer des ressources halieutiques ou encore les moyens par lesquels les pêcheurs réalisent leurs captures sur une période donnée (Gelchu & Pauly, 2007). Pour rendre compte des différents niveaux d'information sur l'effort de pêche et de l'objectif, deux groupes se distinguent : l'effort nominal et l'effort effectif (Gascuel, 1993).

L'effort nominal correspond aux facteurs liés à l'activité de pêche sur une période donnée ou encore le volume de ressources dédiées à la pêche (que ce soit monétaire ou physique) (Padilla & Trinidad, 1995 ; Bordalo-Machado, 2006 ; McCluskey & Lewison, 2008). Gascuel (1993) en donne la définition suivante : « l'effort nominal mesure la quantité de capital et de travail mise en œuvre par les pêcheurs pour exploiter un stock pendant une unité de temps ».

L'effort effectif correspond à la pression exercée sur un stock de poisson et par extension, mesure la biomasse des poissons extraits. C'est un moyen de rendre compte de la variabilité de l'efficacité des captures (compétences du pêcheur, technologie, etc.) (Padilla & Trinidad, 1995 ; Bordalo-Machado, 2006 ; McCluskey & Lewison, 2008). Gascuel (1993) le définit par : « l'effort de pêche effectif est un paramètre d'évaluation qui mesure la pression réelle exercée par les pêcheurs sur un stock, pendant une unité de temps. »

La différence entre les deux conceptions est liée à l'objectif de formalisation de l'effort de pêche. Calculer l'effort nominal relève souvent d'objectifs liés à la gestion et nécessite une expression facilement régulable par la législation, par exemple le nombre de jours de pêche ou encore un nombre de navires, qui peuvent être traduits en nombre de licences accordées ou encore à une gestion saisonnière. Ces unités sont également utiles pour les analyses d'ordre économique, par exemple pour calculer les coûts de production. D'un autre côté, l'effort effectif a pour but d'évaluer l'impact de la pêche sur les stocks halieutiques. Ainsi, pour un intervalle de temps donné, caractérisé par une disponibilité donnée, deux efforts effectifs identiques conduisent nécessairement à la même mortalité par pêche. L'objectif ici est lié aux évaluations des impacts sur les stocks, sur son abondance ou sa structure démographique (Gascuel, 1993).

Il est tentant de trouver une relation mathématique entre ces deux types d'effort et cette relation dépend des unités choisies (et disponibles). Gascuel (1993) relie ces deux grandeurs grâce à la notion de puissance de pêche, qui regroupe l'efficacité (capacité d'un navire à trouver le poisson accessible) et l'efficacéité (capacité du pêcheur à utiliser ses moyens de pêche). La puissance de pêche englobe donc les facteurs technologiques et les facteurs humains.

Cette relation peut s'écrire simplement : $Fe = Fn \times P$

Où Fe est l'effort effectif, Fn est l'effort nominal et P est la puissance de pêche.

D'autres auteurs simplifient ces relations en ne considérant que l'aspect technologique de la puissance de pêche. Gelchu & Pauly (2007) définissent Fn comme le nombre de navires multiplié par le nombre de jours de pêche et P comme la puissance du navire en chevaux. Cette réduction de la puissance de pêche à la puissance en chevaux est reprise par (Belhabib et al., 2018). Cependant, la puissance des moteurs n'est pas une mesure adéquate dans tous les contextes, particulièrement dans le cadre d'une pêche artisanale faiblement motorisée. Dans ce cas, la dimension humaine est prépondérante et la dimension technologique est plus liée aux caractéristiques des pirogues et des engins de pêche.

Ainsi, la caractérisation de l'effort de pêche dépend de l'objectif fixé, mais aussi de la disponibilité des données. (Piet et al., 2007) définissent 4 niveaux d'indicateurs : (1) la capacité de la flotte (nombre de navires par métiers), (2) l'effort de pêche qui est la capacité de la flotte multipliée par son activité (nombre de navires, mais aussi parfois le tonnage ou la puissance du navire multiplié par le nombre d'heures ou de jours en mer), (3) la pression de pêche qui ajoute aux définitions précédentes des informations sur les pratiques de pêche et les caractéristiques des engins, ainsi que des informations sur la distribution spatiale de l'effort et (4) l'impact de pêche qui s'apparente à la mortalité de pêche annuelle et requière des informations d'évaluation de stocks.

2.2. Méthodes pour calculer l'effort nominal : niveau d'information recherché et/ou disponible

Avec le développement du suivi VMS, il devient plus fréquent d'avoir un suivi exhaustif des voyages des navires de pêche. Le suivi VMS permet d'avoir des informations sur les dates et heures des voyages de pêche pour tous les navires équipés. Ces informations, couplées aux registres (« logbook ») des navires ou aux données des observateurs à bord, permettent de couvrir une flotte entière sur une ou plusieurs années (Piet et al., 2007 ; Piet & Quirijns, 2009 ; Russo et al., 2013). Dans ces situations idéales, l'effort de pêche nominal inclut une unité de temps exhaustive sur une période donnée : nombre de sorties (Padilla & Trinidad, 1995), nombre de jours en mer (Stelzenmüller et al., 2008b ; Pascual et al., 2013 ; Campbell et al., 2014), nombre d'heures en pêche (Pelletier et al., 2001 ; Bourdaud, 2017), nombre d'opérations de pêche (nombre de chalutage par exemple ; Vignaux, 1996) et une unité physique selon les besoins de l'étude : nombre de navires (Pelletier et al., 2001 ; Stelzenmüller et al., 2008b ; Campbell et al., 2014), effectif de l'équipage, nombre d'engins de pêche (Ruttan, 2003 ; Pascual et al., 2013). Le choix d'une unité appropriée peut impliquer des expérimentations, plus particulièrement lorsqu'il faut tenir compte à la fois des propriétés des engins de pêche et de leur efficacité (Bordalo-Machado, 2006). Par exemple, dans le cas de pêcheries utilisant des engins différents, la simple addition du nombre de navires serait une approximation faussée de l'effort total de pêche (Padilla & Trinidad, 1995).

Dans les cas où un suivi exhaustif de l'activité de la flotte n'est pas possible, plus particulièrement en pêche artisanale, où le nombre de débarcadères et d'embarcations peut être important et leur répartition géographique dispersée, les données sont plus parcellaires. Comme les mesures directes de l'effort de pêche sont rarement rapportées, les gestionnaires doivent compter sur des méthodes de quantification indirectes (McCluskey & Lewison, 2008). Une solution communément utilisée par les chercheurs est d'obtenir ces données à partir de

questionnaires adressés directement aux pêcheurs (Neis et al., 1999 ; Dicken et al., 2006 ; Leleu, 2012 ; Muallil et al., 2013 ; Pascual et al., 2013 ; Léopold et al., 2014 ; Saldaña et al., 2016 ; Gill et al., 2019). Lorsque les interviews des pêcheurs ne sont pas possibles, d'autres auteurs établissent des relations entre les caractéristiques des populations, navires ou habitats et l'importance de la flotte. Johnson et al. (2017) estiment un effort de pêche prédit, en prenant en compte la taille de la population côtière et l'aire d'influence présumée de la flotte. Greenstreet et al. (2009) prennent en considération les temps d'absence au port liés à des coefficients d'activité pour chaque type d'engin. Stewart et al. (2010) utilisent le nombre de bateaux, leur longueur et les limites spatiales de la pêcherie pour en déduire l'effort de pêche. Dans le cas d'analyses à grandes échelles (régionales ou mondiales), la littérature existante est utilisée et sert à l'extrapolation pour les régions où les données sont manquantes (Gelchu & Pauly, 2007 ; Dunn et al., 2010).

Dans toutes ces situations de données manquantes, l'importance de stratifier la flotte par engin, type de pêche (Léopold et al., 2014) ou aires géographiques (Neis et al., 1999 ; Dicken et al., 2006) est soulignée, afin d'extrapoler des données pour des cas similaires. Ainsi, le plan d'échantillonnage des questionnaires obéit souvent à cette contrainte et la stratification est souvent liée aux métiers de pêche (Leleu, 2012 ; Pascual et al., 2013 ; Russo et al., 2013). Le choix des personnes interrogées est ensuite fait de manière aléatoire (Leleu, 2012) ou par effet boule de neige (Muallil et al., 2013 ; Gill et al., 2019). Ce sont également les recommandations faites par la FAO pour le suivi de terrain de la pêche artisanale (Stamatopoulos, 2009).

L'effort est alors exprimé en nombre d'engins de pêche utilisés (Neis et al., 1999), nombre de jours de pêche (Dicken et al., 2006 ; Muallil et al., 2013 ; Gill et al., 2019), nombre de voyages de pêche (Leleu, 2012 ; Pascual et al., 2013 ; Léopold et al., 2014 ; Saldaña et al., 2016) ou le nombre d'opérations de pêche et les dimensions des engins (Leleu, 2012).

Les données provenant de questionnaires peuvent être extrapolées pour des zones non échantillonnées selon la similarité entre les zones de pêche et la représentativité de l'échantillonnage. Cependant, il existe des limitations à cette approche, inhérentes à la facilité d'accès aux communautés et à leur niveau de confiance. Cela dépend aussi de leur compréhension des questions, de la pertinence de leurs réponses et de leur volonté de coopération. Malgré ces limitations, les questionnaires représentent la meilleure approche disponible pour les zones avec des données insuffisantes (McCluskey & Lewison, 2008).

2.3. Quelle méthode pour le Gabon ?

Dans le cadre de notre étude sur la pêche artisanale au Gabon, l'objectif est dans un premier temps de quantifier l'effort de pêche dans un but de gestion, pour permettre à l'administration des pêches de réguler cet effort sur la base d'unités simples et concrètes. Ces décisions devraient également s'appuyer sur des informations sur l'état des stocks, mais ce sont des données indisponibles actuellement qui devraient faire l'objet d'études futures. Il s'agit donc ici de connaître l'effort nominal et plus précisément, d'arriver au niveau 3 défini par Piet et al. (2007), à savoir intégrer la dimension spatiale de l'effort de pêche nominal.

Les données préalables sur l'effort de pêche au Gabon sont parcellaires. En effet, ces informations n'ont pas été soit collectées, soit publiées ou encore pas analysées pour chaque année. La dernière publication officielle de l'administration des pêches fait état de nombres de jours de pêche annuels, entre 2007 et 2014 (DGPA, 2015), mais la pêche industrielle et artisanale y sont mélangées. La distinction entre les 2 types de pêche est faite en 2014 avec une estimation de 4586 jours de pêche annuels pour la pêche industrielle domestique (correspondant à 27 navires), à 971 jours de pêche annuels pour la pêche industrielle hauturière (correspondant à 40 navires), à 1 355 803 jours de pêche annuels pour la pêche artisanale maritime (correspondant à 763 pirogues) et à 32 531 jours de pêche annuels pour la pêche artisanale continentale (correspondant à 2161 pirogues). Les efforts sont également donnés par mois et par engin pour la pêche artisanale (18). Il n'y a ensuite aucune donnée publiée pour les années suivantes.

Dans le reste de la littérature, Belhabib (2015) reconstruit les efforts de pêche à partir du nombre d'embarcations et des efforts publiés par (Badjina Egombengani, 2011 ; Ekouala, 2013). Ici, il n'y a pas de distinction par engin ou métier et l'effort est estimé à 99 744 jours pour 1995, 157 510 jours pour 1999 et 26 710 jours pour 2010. S'il y a des variations interannuelles, les différences entre ces chiffres peuvent aussi s'expliquer par les différentes sources d'informations et des méthodes de calcul différentes selon les auteurs. Ainsi, si l'on fait le calcul du nombre de jours moyen de pêche par embarcation, selon la DGPA (2015), il est de $1\,777 \text{ jours.an}^{-1}.\text{pirogue}^{-1}$ (ce qui est tout bonnement impossible !), selon Ekouala (2013), il est de $99 \text{ jours.an}^{-1}.\text{pirogue}^{-1}$ et selon Badjina Egombengani (2011), il est de $152 \text{ jours.an}^{-1}.\text{pirogue}^{-1}$.

Engin	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Total
Filet à Mulet	1 308	1 209	1 454	1 193	1 209	1 139	1 665	1 439	1 624	1 400	1 616		15 256
Filet maillant de fond	33	80	98	86	261	78	58	57	38	60	36	33	923
	841	518	521	198	034	186	356	787	639	147	759	156	140
Filet maillant surface		15	7 952	7 668			15	19		36	46	28	178
		904					904	525		806	008	627	395
Filet sardine	685	742	6 982	6 469	6 161	9 412	10	10	11	34	36	34	167
							542	950	026	112	420	112	611
Filet Sardine (Tiré tiré)					4 923	3 623	6 890	4 225	4 984	6 320	4 729	6 019	41 711
Ligne de fond		5 366	2 981	5 031	6 261		2 484	1 398	1 025	1 118	2 907	1 118	29 689
Total général	35	103	117	106	279	92	95	95	57	139	128	103	1 355
	834	739	890	559	587	360	841	323	297	903	438	032	803

Tableau 18 : Evolution mensuelle des efforts de pêche par type d'engin en 2014 (nombre de jours) (DGPA, 2015)

Cela montre à suffisance la nécessité d'actualiser ces données et de suivre une stratification par métiers. Etant donné la dispersion géographique des débarcadères (voir chapitre 1), un suivi exhaustif de toutes les sorties de pêche semble difficile et c'est pourquoi l'administration de questionnaires est une alternative raisonnable et pratique.

3. Représentation spatiale de l'effort de pêche

3.1. Objectifs et descripteurs

La représentation spatiale de la distribution de l'effort de pêche répond à plusieurs objectifs. Elle permet de connaître les zones de pêche et par extension la ressource halieutique prélevée dans ces zones. La distribution des poissons n'est pas aléatoire et homogène et des zones à forte concentration sont le signe d'un habitat qui peut supporter cette forte densité. Il paraît alors naturel que les pêcheurs aient tendance à se focaliser sur ces zones à forte densité, en minimisant les coûts et en maximisant les captures (Carson et al., 2017). Cependant, cette vision simplifiée ne correspond pas toujours à la réalité empirique et cela, encore moins dans le cas de la pêche artisanale (Salas & Gaertner, 2004). En effet, Abernethy et al. (2007) observent même que la distribution des pêcheurs n'est pas homogène et ne permet pas des captures moyennes égales pour tous les individus ; que les pêcheurs n'ont pas forcément une bonne connaissance de la ressource ; que leur but n'est pas que de maximiser le profit et ; que leur choix de zone de pêche est limité. Cela s'explique par l'influence d'autres variables, incluant : (1) les facteurs biologiques et environnementaux tels que la disponibilité des stocks, la météo et les variations saisonnières (2) les facteurs sociaux et historiques tels que les règles de gestion locales, les délimitations géographiques traditionnelles et les vols de matériel de pêche (3) les facteurs économiques tels que les coûts et les profits de la pêche, mais aussi

les conditions du marché et les niveaux de compétition (4) les facteurs de gouvernance tels que les règles de gestion, les restrictions d'accès à certaines zones et des quotas mis en place au niveau de la communauté (5) les facteurs personnels tels que les compétences du pêcheur, son expérience, sa perception, ses objectifs, ses préférences (d'engin, de zone, d'espèces), sa familiarité avec les zones de pêche, son niveau d'acceptabilité du risque et de son temps de disponibilité pour la pêche (Wallace Coombs, 2012).

Ainsi, si la gestion spatiale de la pêche n'est pas nouvelle (cf. les normes d'usage traditionnelles), elle suscite un regain d'intérêt et fait l'objet d'un nombre croissant d'études scientifiques, en particulier parce que les aires marines protégées sont de plus en plus mises en avant comme un outil clé de la gestion des pêches. En effet, les objectifs de maximiser les rendements et de se focaliser sur les espèces ciblées ont basculé vers la vision actuelle de la gestion basée sur l'écosystème (Ramírez-Monsalve et al., 2016). Ainsi, entre 1980 et 2004, le nombre de publications scientifiques sur la pêche s'intéressant à la dimension spatiale a été multiplié par 20 (Smith et al., 2007). Cette approche permet de définir des zones de gestion (des AMP, mais aussi des zones d'exploitation régulées) et les objectifs peuvent être alors de : protéger certains habitats des impacts de la pêche (particulièrement les fonds marins), de protéger certaines espèces emblématiques et/ou menacées, de rétablir des stocks de poissons surpêchés et de rassembler un maximum d'informations sur un même support (Gelchu & Pauly, 2007 ; Smith et al., 2007 ; McCluskey & Lewison, 2008).

Pour décrire la répartition spatiale des activités de pêche, deux concepts principaux sont utilisés : l'espace couvert et la densité. La première notion fait appel à l'étendue sur laquelle se déroulent les opérations de pêche et s'exprime donc en unités surfaciques. La deuxième notion cherche à quantifier les activités selon l'espace géographique où elles se déroulent et s'exprime donc en nombre d'unités (nombre de bateaux, nombre d'engins, nombre d'opérations de pêche, nombre d'unités de temps, etc.) pour une surface donnée. Ainsi, l'effort nominal par surface peut être utilisé. Ainsi, l'étendue et la densité spatiale des activités (« spatial extent » et « spatial grain », Miller et al., 2004) sont complémentaires et fondamentales pour caractériser la distribution spatiale de la pêche.

3.2. Méthodes et représentations cartographiques

3.2.1. Définition d'un domaine vital

Les deux notions évoquées précédemment sont équivalentes à l'aire de répartition et à la distribution de l'utilisation en écologie animale. La notion d'aire de répartition (« home range ») est apparue pour la première fois pour définir l'aire occupée par un animal, autour de « sa maison » lors de ses différentes activités : recherche de nourriture, reproduction et soin aux jeunes. Les sorties occasionnelles en dehors de cette zone, qui peuvent être de nature exploratoire, ne sont pas considérées comme faisant partie de l'aire de distribution de l'animal (Burt, 1943). L'idée s'est ensuite développée en ajoutant aux contraintes biologiques, la représentation cognitive de l'environnement de l'animal, dans le sens où il a une perception spatiale de la ressource, des zones de passage, des zones dangereuses, des zones d'abri et de la présence de congénères (Gloaguen, 2015). A cela s'ajoute l'idée que le domaine vital est dynamique, spatialement et dans le temps (Powell & Mitchell, 2012). Le concept peut être étendu à une espèce entière pour connaître la zone utilisée par l'ensemble des individus d'une même espèce ou encore pour étudier les interactions entre individus ou espèces (Fieberg & Börger, 2012). Il en découle ainsi des méthodes et modèles géostatistiques pour définir les limites de ces aires.

Cette conception de domaine vital s'applique principalement aux animaux, mais sur bien des niveaux et dans le contexte de la pêche, l'homme peut être considéré « un animal comme les autres » à l'échelle d'un voyage de pêche. En effet, les pêcheurs recherchent la ressource (le poisson qui est de l'alimentation et une ressource monétaire), évitent les endroits dangereux (endroits rocheux ou avec des courants par exemple), minimisent les coûts (en carburant par exemple). Les êtres humains font même des choix irrationnels, retrouvés chez d'autres animaux (Powell & Mitchell, 2012). Pour exclure l'être humain de l'étude des écosystèmes, ses caractéristiques telles que la culture, la coopération, la division du travail, la technologie ou la capacité de communication sont souvent invoquées (Lanco Bertrand, 2005). Cependant, dans le cas d'une pêche artisanale pratiquée sur des pirogues en bois, la recherche de la ressource reste assez individuelle et revêt un caractère aléatoire, dans le sens où la localisation exacte des proies n'est pas connue (encore moins qu'en pêche industrielle qui peut utiliser des moyens technologiques supérieurs tels que les sonars). La connaissance des zones de pêche ressemble à la carte cognitive d'un prédateur naturel. Ainsi, la délimitation spatiale des zones de pêche peut s'apparenter la définition d'une zone fondamentale (« core area ») qui inclut la majeure partie des activités de pêche. Pour cela, la notion de densité entre en compte : il faut connaître la distribution de l'utilisation pour pouvoir exclure les zones de moindre importance.

Les outils méthodologiques traditionnellement employés sont les estimateurs du polygone convexe minimum (« Minimum Convex Polygon », MCP), de l'enveloppe convexe locale (« local convex hull », LoCoH) et de densité de noyaux (« kernel density », KD) (Fieberg & Börger, 2012) (voir encadré). Deng et al. (2005) utilisent le polygone convexe minimum pour calculer l'aire pêchée par des chalutiers crevettiers en Australie, et ils remarquent que des biais dus aux erreurs d'échantillonnage augmentent la surface. Ils appliquent donc un « épiluchage » (« peeling ») pour enlever les points extérieurs où les navires ne sont passés qu'une fois. Metcalfe et al. (2016) emploient les MCP pour chaque voyage de pêche tandis que Mazzarella et al. (2014) les utilisent également, mais appliqués à des clusters de points représentant les opérations de pêche.

Les estimateurs à densité de noyaux permettent de représenter la distribution des activités de pêche en lissant la densité (Johnson et al., 2017 ; James et al., 2018 ; Lawrence & Bhalla, 2018). Ils ont également un intérêt pour déterminer le « domaine vital » en combinant la distribution d'utilisation (densité) et la surface utilisée. Les zones à plus forte densité sont délimitées selon le pourcentage d'utilisation souhaité. Ce principe est utilisé dans certaines études sur la répartition des activités de pêche. Harrington et al. (2007) testent des contours à 25, 50, 75 et 95 %. Le Guyader et al. (2017) délimitent les zones de pêche grâce à un contour à 95 %.

3.2.1. Autres méthodes et facteurs environnementaux

Malgré l'utilisation grandissante de la technologie de suivi satellitaire, des limitations dans le suivi des navires peuvent exister : tous les navires ne sont pas forcément équipés, ou encore des périodes ou des zones d'échantillonnage peuvent manquer. Dans ces cas, la représentativité de l'échantillonnage est capitale pour s'approcher au maximum de l'étendue spatiale maximum et la connaissance de l'effort de pêche nominal permet de s'approcher de la densité de pêche réelle. Ainsi, les données manquantes peuvent être extrapolées grâce à des caractéristiques connues de la flotte, telles que la consommation en carburant et la longueur du navire, pour en déduire la distance à la côte (Kroodsma et al., 2018). Connaître la taille de la flotte entière est un facteur déterminant pour extrapoler des données de positions et, si l'échantillonnage est suffisant, cet élément peut être utilisé pour pondérer l'effort par zones de débarquement (Metcalfe et al., 2016 ; Snape, 2019) ou par zones de pêche (Stelzenmüller et al., 2008b).

Le polygone convexe minimum est le polygone le plus petit qui contient tous les points de location et qui n'a aucun angle interne supérieur à 180° (Burgman & Fox, 2003). Il présente cependant des limitations inhérentes à la taille de l'échantillonnage : la probabilité de sous-estimer l'aire de répartition augmente avec un échantillonnage faible et la probabilité de surestimer l'habitat vital d'un animal augmente avec de grands échantillons (Fieberg & Börger, 2012). Dans le cadre de la pêche, cet estimateur est à considérer pour ce qu'il est : un descripteur de l'étendue spatiale des activités, obtenue par l'échantillonnage. Cette méthode est utile pour calculer une aire totale de pêche, mais ne prend pas en compte les différences de densité de pêche au sein de cette aire. C'est ce que les estimateurs à densité de noyaux permettent.

Les estimateurs à densité de noyaux (« Kernel Density Estimators », KDE) est une méthode non paramétrique qui permet de lisser la contribution de chaque point d'observation x_i sur un voisinage local du point x . Cette contribution dépend de la distance entre les deux points, de la forme de la fonction kernel K et de la bande passante h . Ainsi, l'estimation de la fonction d'intensité de base s'écrit :

$$\hat{F}_{kde}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

La fonction kernel K est une fonction symétrique, habituellement positive dont l'intégrale est égale à 1. Les fonctions kernel les plus communes sont : uniforme, triangle, Epanechnikov, quartic, tricube, gaussienne et cosinus (Deng & Wickham, 2011). La fonction gaussienne est la plus communément utilisée et le choix de la fonction kernel influence peu les résultats,

comparativement au choix de la bande passante (Seaman & Powell, 1996 ; Zhang *et al.*, 2006 ; Deng & Wickham, 2011).

Pour estimer l'aire de distribution d'un individu ou d'une espèce, le contour du KDE est utilisé. Les auteurs choisissent une valeur pourcentage qui définit la zone où ce pourcentage d'activité est attendu. La valeur de 95 % est souvent utilisée, car elle exclut les zones extrêmes où la probabilité d'utilisation est mal prédite, mais inclut quand même les sorties occasionnelles (Fieberg & Börger, 2012 ; Powell & Mitchell, 2012).

L'enveloppe convexe locale est une méthode non paramétrique qui construit la distribution d'utilisation en agrégeant les polygones convexes minimums pour chaque point. L'algorithme commence par identifier les plus proches voisins pour chaque point selon une des trois règles (la méthode k sélectionne les k points les plus proches, la méthode r sélectionne les points inclus dans un rayon fixe r , la méthode a sélectionne les points dont la distance cumulative au point d'origine est inférieure ou égale à a). Des enveloppes locales convexes sont construites autour de chaque point et de ses plus proches voisins et ensuite triées par densité. Après ce tri, les enveloppes sont fusionnées et selon le pourcentage de points sélectionnés, les différentes isoplèthes peuvent être obtenues. L'isoplèthe à 100 % donne l'aire de distribution totale (Getz & Wilmer, 2004). Cette méthode, pas encore utilisée dans le cadre de la spatialisation des pêcheries à notre connaissance, serait une voie à explorer.

D'autres méthodes indirectes d'acquisition de données permettent d'obtenir les positions des navires à un instant t , telles que l'analyse d'images satellitaires, des transects en bateau (Pet-Soede et al., 2001) ou encore des survols aériens. Breen et al. (2014) utilisent une combinaison de transects réalisés avec des bateaux de surveillance et des survols aériens. Ces méthodes permettent de distinguer si le navire est en action de pêche ou pas. Johnson et al. (2017) allient les survols aériens à l'analyse d'images satellitaires pour localiser la présence de pirogues. Dans ce cas, le fait que le bateau soit en pêche ou pas n'est pas pris en compte.

Lorsque les données de positions GPS n'ont pas été collectées au cours d'un voyage de pêche, des méthodes indirectes sont utilisées pour estimer la localisation des opérations de pêche. Ainsi, les pêcheurs eux-mêmes sont souvent une source d'information privilégiée. Ils peuvent préciser leurs zones de pêche via des questionnaires. La description des zones de pêche est parfois un complément de données collectées par le système VMS (Pascual et al., 2013), ou alors des questions sur les facteurs environnementaux aident les chercheurs à délimiter les zones de pêche probables. Thiault et al. (2017) utilisent les réponses des pêcheurs pour sélectionner les facteurs ayant le plus d'influence, ainsi la distance à la côte, la profondeur, la distance à la passe la plus proche, la pente du fond marin et le substrat ont été retenus par les pêcheurs comme étant les facteurs qui influencent leur choix de zone de pêche. Ils ont également donné un rang à ces facteurs pour pouvoir pondérer leur impact. Lima et al. (2017) demandent aux pêcheurs quels sont facteurs environnementaux qui les empêchent de pêcher, tels que les courants ou la présence importante d'algues dérivantes. Ces informations, liées à la saisonnalité, permettent d'exclure des zones de pêche. Dans ces cas, ce sont des cartes de zones de pêche adéquates que l'on obtient plutôt que la réelle distribution.

En pêche artisanale, la cartographie participative est une autre méthode largement utilisée (Léopold et al., 2014 ; Gill et al., 2019). Les procédés participatifs sont très variables, des plus sommaires aux plus sophistiqués. Il semble plus essentiel de caractériser l'élaboration de la représentation cartographique, c'est-à-dire la production des informations sur le territoire aussi bien que leur codification, comme le résultat d'une opération collective (Palsky, 2013). Leleu (2012) utilise la cartographie participative en demandant aux pêcheurs de localiser les calées sur une carte. Pour prendre en compte l'incertitude liée à la méthode, il rajoute une zone tampon de 50 mètres autour des points, obtenant ainsi des polygones. Yates & Schoeman (2013) obtiennent également des polygones en demandant aux pêcheurs de dessiner leurs zones prioritaires de pêche et en leur assignant des degrés d'importance et/ou d'indiquer le temps passé dans chaque zone par an.

Finalement, quand aucune des données précédentes n'est disponible, la localisation des zones de pêche est déduite des facteurs environnementaux, tels que la bathymétrie, la distance au port et la distance à la côte, la concentration en chlorophylle a, la législation, le trafic maritime et les zones interdites à la pêche (Dunn et al., 2010 ; Stewart et al., 2010 ; Kavadas et al., 2015).

Ainsi, l'utilisation de ces méthodes indirectes ne permet pas d'avoir des localisations exactes et exhaustives. Ce sont des approximations qui permettent d'obtenir des cartes illustrant soit les zones de pêche adéquates (c'est-à-dire les zones présentant les conditions idéales recherchées par les pêcheurs) ou des cartes figurant la répartition d'un effort de pêche prédictif (« fishing suitability » et « fishing capacity », Thiault et al., 2017).

3.2.2. Représentation cartographique et applications

Pour représenter la distribution spatiale de l'effort de pêche d'une flotte, dans une situation idéale, un jeu complet de données inclurait un suivi individuel des positions de chaque élément de la flotte et cela de façon constante sur une période donnée. En cela, le suivi GPS permet de s'en approcher (voir chapitre 2). Cela est d'autant plus le cas avec le VMS, quand il est obligatoire pour une partie de la flotte. Les données géographiques sont alors disponibles de façon complète (pour la flotte sélectionnée) et continue (pour une période donnée). La méthode principale retenue dans ce cas de figure est de découper la zone d'étude en unités spatiales équivalentes. L'espace couvert par les activités de pêche est alors la somme des surfaces où des activités de pêche se déroulent (Amoroso et al., 2018) et la densité est la quantification des activités dans chaque surface. La façon la plus commune est de générer une grille composée de carrés à tailles égales. Les unités peuvent être surfaciques : kilomètres carrés (Le Guyader et al., 2017) ou miles carrés (Gerritsen & Lordan, 2011), ou en système géodésique : degrés minutes (Jennings & Lee, 2012 ; Campbell et al., 2014), degrés décimaux (Walker et al., 2015 ; Marzuki, 2017 ; O'Farrell et al., 2017). Certaines études comparent différentes résolutions de grilles (Mills et al., 2007 ; Stelzenmüller et al., 2008b ; Jennings & Lee, 2012) et le choix de cette résolution doit être un compromis entre l'échelle de la zone d'étude et la fréquence d'acquisition des données.

Les unités utilisées pour représenter l'effort par unité surfacique sur une période donnée sont diverses : nombre d'heures de pêche (Jennings & Lee, 2012 ; Walker et al., 2015 ; Le Guyader et al., 2017 ; Navarrete Forero et al., 2017), nombre de jours de pêche (Murawski et al., 2005), nombre de poses d'engin de pêche (Stelzenmüller et al., 2008b ; Jalali et al., 2015), nombre de pings de position (Witt & Godley, 2007 ; Campbell et al., 2014 ; Gonzalez-Mirelis et al., 2014), pourcentage des activités de pêche (Stelzenmüller et al., 2008a), distances chalutées (Mills et al., 2007). Une bibliographie des publications antérieures à 2010 a été réalisée par

(Lee et al., 2010), en présentant les différentes résolutions de grilles et les unités d'effort utilisées. Il en découle l'identification de « hot spots » ou zones de forte densité (Le Guyader et al., 2017). Maina et al. (2018) regarde si les hot spots persistent au cours des années en utilisant un indice de persistance. En pêche artisanale, un tel suivi est rendu possible lorsque la flotte de ce secteur correspond à des navires modernes, ayant l'électricité à bord. Dans ce cas, des données AIS sont parfois disponibles. Par exemple, la pêche artisanale côtière en Ecosse a pu être cartographiée en représentant le nombre d'heures de pêche ou le nombre de navires par kilomètre carré et par mois (James et al., 2018).

Ces représentations servent alors à évaluer l'influence de facteurs environnementaux sur la distribution de la pêche : le substrat (Stelzenmüller et al., 2008a ; Campbell et al., 2014), la bathymétrie, la concentration en chlorophylle a, la distance au port (Maina et al., 2018). La distribution des activités de pêche est aussi étudiée en fonction de sa relation avec des AMP : l'influence de la distance à l'AMP (Murawski et al., 2005 ; Boerder, 2018), le déplacement induit par la création d'une AMP (Chollett et al., 2015) et la surface de pêche enlevée par l'AMP (Grech & Coles, 2011).

4. Les zones de pêche optimales pour les métiers de pêche artisanale au Gabon et leur chevauchement avec les aires marines protégées récemment créées

Suite à la description des méthodes possibles pour localiser les zones de pêche et les représenter géographiquement, le cas du Gabon est exploré en déterminant les zones de pêche adéquates, à partir de facteurs environnementaux, pour certains issus des caractéristiques des voyages de pêche échantillonnés. Ces résultats sont mis en perspectives avec le réseau d'aires marines protégées nouvellement créé. Ce travail est présenté en anglais car l'objectif est de le publier en tant qu'article dans une revue scientifique. Il est actuellement en relecture par les co-auteurs avant soumission.

Suitable small-scale fishing grounds in Gabon and their overlap with coastal regulation

4.1. Introduction

The long-term monitoring of resource exploitation is essential to assess the state of exploited resources but, also to reveal how exploitation modifies ecosystems (McClenachan et al., 2012) and how governance can influence these systems (Selgrath et al., 2018). Fisheries play a major role in modifying marine ecosystems and represent a major stake for global food security

and economy (IPBES, 2019). Fisheries products represent 17% of the protein intake for the world's population and the fisheries sector directly provides employment for about 60 million people (FAO, 2020b).

Small-scale fisheries represent about the half of global captures and produce even more than industrial sector in developing countries (Mills et al., 2011 ; FAO, 2020b). Paradoxically, small-scale fisheries are less studied than industrial fisheries (Pauly, 1997 ; Zeller et al., 2006 ; Chuenpagdee, 2012 ; Weeratunge et al., 2014) and the associated lack of knowledge can lead to over-exploitation of fisheries resources (Weeratunge et al., 2014) and marginalisation of fishers communities in management processes (Alfaro-Shigueto et al., 2010). Over-exploitation is often due to inadequate management, poor governance, limited access to resource and destructive fishing technics (Coastal Resources Center, 2006). This is particularly true in tropical areas, where total catches and Catches per Unit of Effort (CPUE) have decreased for several decades (Bender et al., 2014 ; Purcell & Pomeroy, 2015).

Sustainable fisheries imply to have durable stocks and, also that environment is minimally impacted. To this end, different approaches exist, such as to reduce or modify fishing effort, to increase fishing gears selectivity or to modify fishing technics to decrease impacts on environment (Shester & Micheli, 2011). Management measures to protect marine resources can include spatio-temporal closures often formalised through Marine Protected Areas (MPAs). In 2010, during the Convention on Biological Diversity (CBD), member states committed to protect at least 10% of marine and coastal areas by 2020. If the primary goal of MPAs is generally not to be a tool for fisheries management, their roles in ecosystem protection can contribute to conservation and reconstruction of fishes stocks threatened by fisheries (Gaines et al., 2010 ; Garcia et al., 2013). Therefore, spatial management becomes an important tool for fisheries, to protect habitats and fishes stocks but, also to optimise fisheries performances (Rassweiler et al., 2012 ; Palmer & Demarest, 2018). In small-scale fisheries, resources are caught in places only known by fishers and are often recorded in landing sites or at the place of the first sale. For this reason, fishing areas are difficult to define and to regulate (Johnson et al., 2017).

To help address this issue, monitoring agencies are increasingly exploring the application of vessel monitoring systems to monitor fisheries. Geo-tracking equipment providing spatial information on fisheries are largely used in industrial fisheries and in developed countries but remains uncommon in small-scale fisheries (Léopold et al., 2014 ; Metcalfe et al., 2016). When these data are lacking or are incomplete, indirect methods can be used to estimate fishing operation localisation: fishers are often a privileged source by answering interviews or by being involved in participatory mapping (Leleu, 2012 ; Pascual et al., 2013 ; Yates & Schoeman,

2013). In poor data scenarios, fishing grounds can also be deduced from environmental factors, such as bathymetry, distance to the coast and distance to the port (Dunn et al., 2010 ; Stewart et al., 2010 ; Witt et al., 2012 ; Metcalfe et al., 2016). Hence, instead of exact and exhaustive fishing locations, suitable fishing grounds are described, meaning areas that present ideal conditions sought by fishers, or maps showing predictive fishing effort distribution ("fishing suitability" and "fishing capacity", (Thiault et al., 2017)). Another important aspect of fisheries monitoring is to characterise behaviour for coherent segments of the sector, namely métiers, where groups of fishers share spatio-temporal habits but also types of boat, fishing behaviours, fishing gears and targeted species (Mesnil & Shepherd, 1990). Increasing understanding at the level of metier is important, as species composition, production and incomes can differ by metier (Tzanatos et al., 2006).

Gabon, a Central African country, has a fleet of approximately 1,200 wooden boats along the Atlantic coast. This fishery is characterised by a great diversity of fishing gears and techniques, practised by a variety of different communities (Bignoumba, 1998) and produce 72% of the national fish production (DGPA, 2015). MPAs have recently been created (in 2017) and a method to identify fishing location has been developed (Cardiec et al., 2020). Fishing ground identification is crucial in the context of new spatial regulations, to understand and assess MPAs efficacy to sustainably managed fisheries resources as well as on fishers behaviour, to monitor the level of compliance over the long-term. In this study, we aim to characterise the fleet by métier, to estimate the annual fishing effort and to determine suitable fishing grounds by métiers by applying a combination of methods based on interviews, GPS trackers deployment and environmental factors. As the study took place before MPAs creation, potential overlaps between fishing grounds and management areas are assessed before and after MPA implementation.

4.2. Material and methods

4.2.1. Study area and regulatory zoning

Gabon is a Central African country with 955 km of coastline and a 191,944 km² Exclusive Economic Zone (EEZ) (Pottier et al., 2016). Situated on the equator, Gabonese coastal waters are considered rich in fish, molluscs, and crustaceans (Barrett & Houston, 2014 ; Friedlander et al., 2014) and also host the world's largest nesting population of leatherback turtles (Witt et al., 2009), regionally significant nesting of olive ridley turtles (Metcalfe et al., 2015) and a variety of marine mammal species including humpback whales and endemic humpback dolphins (Collins et al., 2009). Whilst the Gabonese economy currently relies on extractive activities, notably timber, manganese, uranium and oil (BAD, 2016), the government is eager to consider alternative strategies to augment economic development, including promotion

of an ecotourism industry. This commitment is evidenced by the government's designation of 13 new national parks that comprise 11% of the country's land area (République Gabonaise, 2007). To pursue this conservation agenda and to comply with Gabon's international commitments, including the Convention on Biological Diversity (CBD), 20 Marine Protected Areas (MPA) were created in 2017, covering 26% of the surface area of the EEZ (République Gabonaise, 2017) (Figure 33). In parallel, zoning regulations for fisheries were updated (République Gabonaise, 2015), to separate industrial and artisanal fishing area and according to operators nationality (Figure 33). The implementation of the new MPA network and associated update in fisheries regulations constitutes challenges for small-scale fisheries as it is strictly prohibited to fish in National Parks and Marine Parks. Small-scale fisheries are however permitted in all but 6 Aquatic Reserves under a management plan and zone 1 is reserved for Gabonese operators except in Komo Estuary where non-Gabonese small-scale fishers can fish under a management plan. At the time of data collection for this study, MPAs were not created yet and to visualise regulation applied specifically to artisanal fisheries, zoning is shown for 2015 (Figure 34A) and currently (Figure 34B).

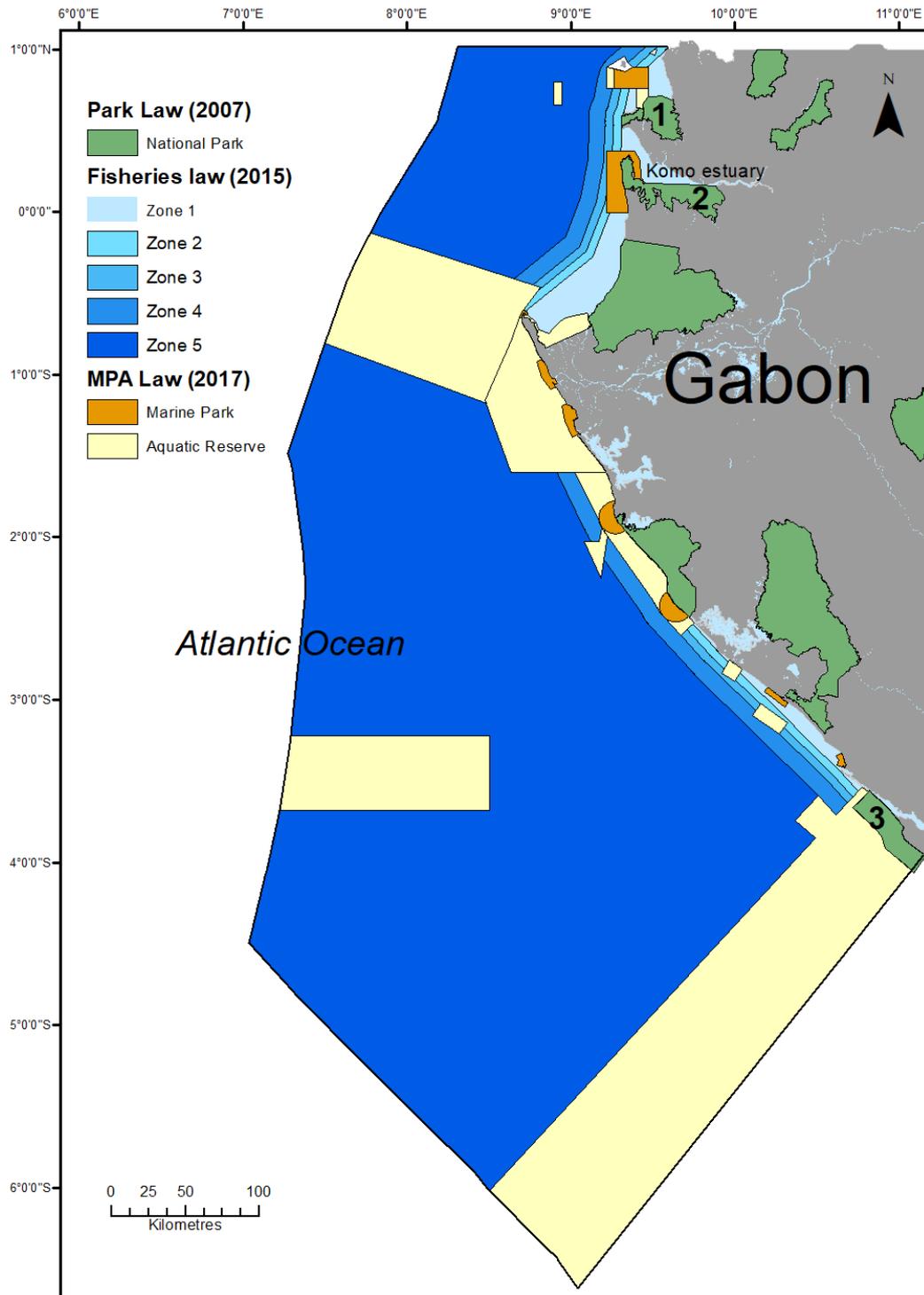


Figure 33: Superimposition of zoning regulation in Gabonese EEZ and coastal areas. National Parks with a marine area are shown with numbers (1: Akanda National Park, 2: Pongara National Park, 3: Mayumba National Park). Zone 1 and 2 are reserved for artisanal fishing while zone 3, 4 and 5 are open to both types. Zone 1 and 3 are reserved to Gabonese operators. Zone 5 is the only area opened to vessels with more than 200 gross tonnes.

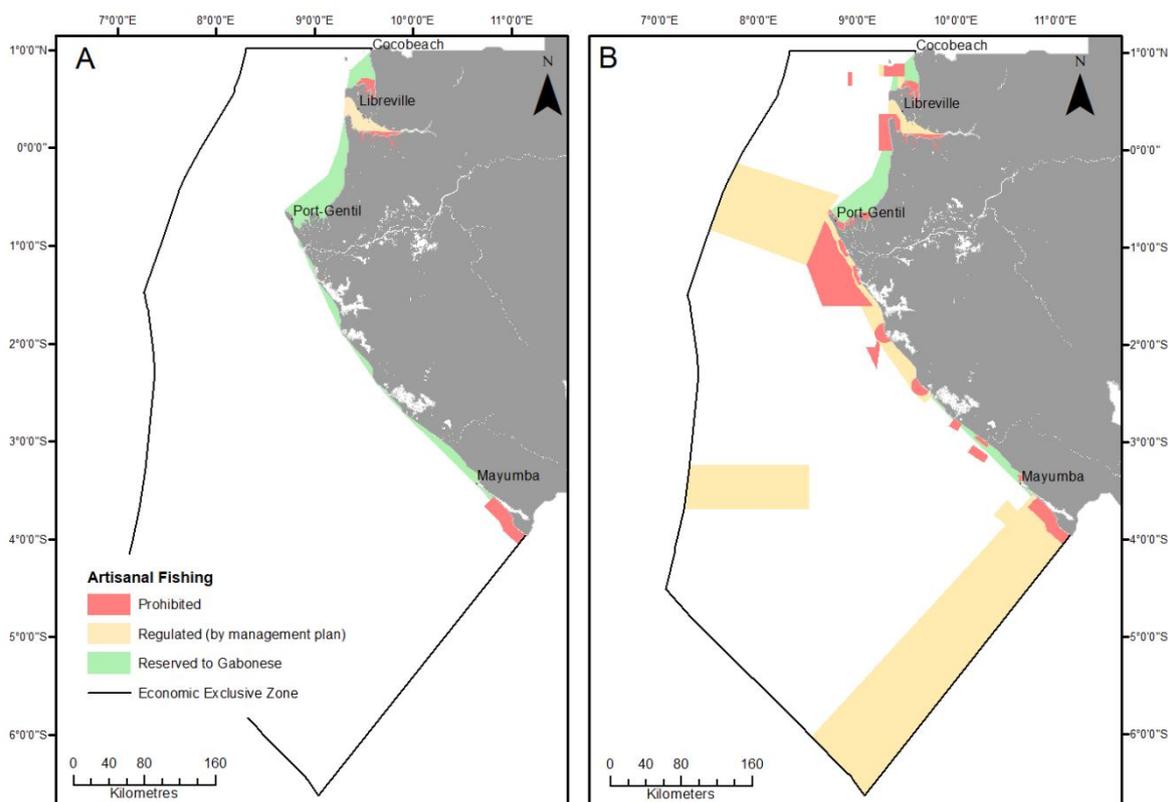


Figure 34: Zoning regulation for artisanal fisheries in Gabonese marine and coastal area in 2015 (A) and since 2017 (B).

4.2.2. Nominal fishing effort estimation

To calculate nominal fishing effort, 140 questionnaires were conducted in 41 landing sites along the Gabonese coast in 2015, encompassing all the sites engaged in maritime and commercial small-scale fisheries. Snowball sampling or chain referral method was used to identify the respondents (Begossi, 2006 ; Muallil et al., 2013 ; Moore et al., 2017 ; Gill et al., 2019). This method reached “local experts” who have established careers in fisheries, keep records and are able to transmit community knowledge of dispersed groups and sometimes in a sensitive context (Neis et al., 1999 ; Stevenson et al., 2013). In each landing site, community leaders were the first people interviewed and were asked to describe each type of fishing, then a focus group was conducted with fishers practising each fishing technique. As it appeared clearly that in each landing site, distinction by gear was not enough, questionnaires were dispatched among different métiers. Métier is a coherent and functional unit based on the type and size of the boat, gear used, species (or group of species) targeted and spatiotemporal habits (Mesnil & Shepherd, 1990).

Interviews were carried out by 6 local interviewers who already knew communities and were trained to ensure the procedure was uniform. Verbal consent was asked as many respondents were illiterate. Responses were recorded in a confidential database in surveymonkey website (<https://www.surveymonkey.com/>). Questions concerned métier definition and nominal fishing effort. Some métiers were just found in one landing site while some of them were practised in up to four landing sites. As respondents were gathered in groups by landing sites and métiers, each métier has been described from one questionnaire to four. This sampling being insufficient to exploit data in a statistical way, divergent answers are not presented here, such as gear description (length and height) and catches weight. The study presents answers which were uniform or could be categorised to describe the métier: (1) gear used, as in FAO classification (Nédélec & Prado, 1990), (2) general fishing area, (3) targeted species, as the name of species when it was a single-species fishing or a size group (small, medium and big) when it was a group of species targeted, (4) the range of duration of a fishing trip (in days), and (5) the fishing period (season or tide).

Regarding the nominal fishing effort, the aim was to quantify the amount of work set up by fishermen to exploit a stock on a certain period. Nominal fishing effort is different from effective fishing effort which quantifies the real fishing pressure on a stock on a certain period and, by extension allows measuring the exploited biomass (Gascuel, 1993 ; Bordalo-Machado, 2006 ; McCluskey & Lewison, 2008). In this study, the nominal effort has been reduced to the annual number of hours fished by year and by métier. It has been obtained by asking: the number of boats practising the métier, the number of trips by week per boat, the fishing periods, the fishing halting times and, the duration of a fishing trip (in hours). Annual fishing effort in hours were calculated for each métier as:

$$Ef = (D \times W - S) \times T \times B$$

where D is the number of fishing trips per week of a boat, W is the number of fishing weeks per year of a boat, S is the number of weeks per year a boat doesn't fish, T is the mean duration of a trip and B is the number of boats practising this métier. When there was more than one questionnaire by métier, the mean of D, W, S and T was used.

4.2.3. Métiers retained and fishing location identification

From 2013 to 2015, 512 fishing trips have been recorded with GPS devices, extending the sampling effort to all the coast from previous study (Cardiec et al., 2020). Sampling design aimed to target main métiers which were relevant for a spatial representation. Métiers which had an annual effort inferior to 10,000 hours were not taken into account, as well as métiers which did not occur in Gabonese ZEE or were practised from the beach. The number of individual fishing trips recorded for each métier ranged from 1 to 113 (mean±SD number of

trips recorded: 17 ± 23.3 ; $n = 30$ métiers). Devices were carried onboard by fishers and programmed to acquire GPS locations at 2-minute intervals. Once each GPS unit was retrieved, the recorded data were downloaded and processed following (Cardiec et al., 2020): (1) removing locations that were within 3 km of landing sites; (2) applying a speed filter to remove locations with a speed $> 50 \text{ km.h}^{-1}$; (3) standardising data to 2-minute intervals to avoid time lag and to eliminate locations from poor satellite coverage using speed-based linear interpolation; (4) two states Hidden Markov Models were fitted to GPS data for each gear, to infer fishing behaviour (fishing or not fishing).

4.2.4. Fishing ground suitability

From previous identified fishing points, suitable fishing grounds were defined by métier, considering the maximum depth, the maximum distance to the coast, and the maximum distance to the landing site. These parameters have been chosen as they have proved to be determinant in fishing location choice by fishers (Metcalf et al., 2016 ; Thiault et al., 2017). To calculate the maximum depth, bathymetry data were derived from General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO, 2009). Distance to the coast has been calculated as the direct distance between each fishing point and the closest point on the coastline. Distance to the landing site was calculated as the distance between each fishing point and the original landing site of the fishing trip. This distance was the shortest straight-line path, taken into account terrestrial feature such as islands or points of land. To validate that sampling effort was sufficient for each métier to describe these three parameters, sample accumulation curves were computed to illustrate the amount of new information gained by each additional trip (Metcalf et al., 2016). Then, suitable fishing grounds for each selected métier were defined by maximum depth, maximum distance to the coast and maximum distance to landing sites practising the métier. To have a national map of suitable fishing grounds integrating effort, a grid with cells surface area of 1 km^2 was used and efforts from each métier present in a cell were summed, to obtain a number of expected annual fishing hours. $\text{km}^{-2}.\text{an}^{-1}$. With the same grid, count of potential overlapping métiers have been done for each cell.

4.2.5. Overlap with protected areas

To calculate the overlap between suitable fishing grounds by métier and current or 2015 regulation, the percentage of the area is considered. At a national level, effort corresponding to each métier is also used to calculate the expected fishing time spent in different areas. The distinction is made between national parks, marine parks, aquatic reserves where artisanal fishing is prohibited, aquatic reserves where artisanal fishing is allowed but regulated, areas where artisanal fishing is reserved for Gabonese and areas where management plan for artisanal fisheries is compulsory. In this way, proportions of suitable fishing grounds can be

summarised between illegal fishing and regulated fishing. Regarding areas reserved for Gabonese, the métier overlapping is considered “illegal” if the community practising it, is not Gabonese. If the community is Gabonese or mixed, the overlapping is considered “regulated”.

4.3. Results

4.3.1. Segmentation by métiers and fishing effort

One hundred and forty interviews have been conducted, identifying 48 different métiers (Table 19). Community (i.e. nationality and/or ethnic group) was also considered in the métier definition as it was a factor which determines preference for fishing type. The total number of fishing boats along the coast was 1,209, several of them practising several métiers, according to the season or state of the tide (spring-neap cycle).

The effort by métier, varied between 740 and 479,520 annual hours, has a mean of 52,733 hours (Standard Deviation (SD) = 95,371). Four métiers represent a total of 50% of the total fishing effort (métiers 16, 23, 12 and 15) (Figure 35), two of them being in Port-Gentil and practising bottom gillnet and the other two being in Komo Estuary (one bottom gillnet and one surface gillnet).

Table 19: Annual effort and number of boats by métiers identified (defined by gear, fishing area, targeted species, duration of a typical trip, communities, season and landing sites). Regarding mesh size, “small” encompass bar lengths between 30 and 49 mm, “medium” between 50 and 69 mm and “large” between 70 and 110 mm, “mixed” correspond to a mix of sizes. Species are specified when specific species are targeted, otherwise, it is an assemblage of species. Yoruba and Ijaw are both Nigerian ethnic groups. Métiers retained for the following analysis are in bold.

Gear	Fishing area	Mesh size [species when relevant]	Trip duration (days)	Communities	Landing sites	Fishing period	Number of boats	Annual Effort (boat.hour)	Métier code
Bottom gillnet	Corisco Bay	Large	2 - 5	Yoruba	Bac aviation, Ambowé	All the year	59	147,840	1
		Large	1	Beninese	Massamboué	All the year	26	39,312	2
		Large	1	Gabonese	Massotie	All the year	11	3,960	3
		Medium	2 - 5	Beninese	Massamboué	All the year	8	2,400	4
		Medium	2 - 5	Gabonese	Bambouchine, Milembié	All the year	7	23,520	5
		Medium	2 - 5	Ijaw	Lémé	All the year	6	15,840	6
		Small	1	Yoruba	Lémé, Massamboué	Neap tide	44	10,736	7
		Small	1	Gabonese	Emone, Massotie	Spring tide	18	6,480	8
	Komo estuary	Large	1 - 3	Beninese Togolese	Michel marine	All the year	14	36,960	9
		Large	1 - 3	Beninese	Ozoungué	All the year	13	34,320	10
		Large	1 - 3	Ijaw	Owendo	All the year	6	19,008	11
		Small	1 - 3	Yoruba Beninese	Ozoungué	All the year	135	479,520	12
		Small	2 - 5	Yoruba	Ozoungué	All the year	33	87,120	13
	Mayumba	Large	1 - 3	Beninese	Mayumba	All the year	46	97,152	14
	Port-Gentil	Large	2 - 5	Beninese Gabonese	Matanda	Rainy season	121	191,664	15
		Medium	1 - 3	Beninese	Matanda	All the year	141	148,896	16
Large [Rays, sharks]		1	Ijaw	Iguiri	All the year	6	6,336	17	
Small		1	Beninese	Matanda	All the year	20	11,840	18	
Surface gillnet	Corisco Bay	Large	1	Ijaw	Iboundji, Lybe	All the year	9	9,000	19
		Medium	2 - 5	Beninese	Akiliba, Ambowé, Massamboué	All the year	41	75,768	20
		Medium	1	Ijaw	Bikele	Spring tide	8	4,000	21
		Medium	2 - 5	Ijaw	Lémé	All the year	5	18,480	22
	Komo estuary	Large	1 - 3	Ijaw	Owendo	All the year	136	430,848	23
		Large	1 - 3	Yoruba	Ozoungué	All the year	10	26,400	24

		Large	1 - 3	Beninese	Ozoungué	All the year	9	23,760	25
	Mayumba	Small [Sardines]	1	Beninese	Office	All the year	9	9,072	26
Circling gillnet	Corisco Bay	Small [Mullet]	1	Gabonese	Bambouchine, Massotie, Milembié	All the year	29	29,000	27
		Small [Mullet]	1	Beninese	Ambowé	All the year	3	3,780	28
		Small [Sardines]	1	Yoruba	Bac aviation, Lémé, Lybe, Massamboué	All the year	73	45,990	29
		Small [Sardines]	1	Gabonese	Emone	Neap tide	5	5,000	30
	Komo estuary	Small [Mullet]	1 -2	Beninese	Ozoungué	All the year	12	12,096	31
		Small [Sardines]	1	Yoruba	Ozoungué	All the year	105	52,920	32
Port-Gentil	Small [Sardines]	1	Beninese	Matanda	All the year	78	39,312	33	
Handline	Corisco Bay	Medium	1 -3	Gabonese	Jeanne Ebory, Cap Esterias	All the year	29	61,248	34
	Mayumba	Large	1 - 3	Beninese	office	Dry season	10	10,560	35
	Port-Gentil Komo estuary	Large	1 - 3	Gabonese Santomean	CCPAP, canal	Dry season	42	133,056	36
	Port-Gentil	Large	1	Beninese Togolese	Cap Lopez	Rainy season	20	20,160	37
Longline	Corisco Bay	Large	1	Ijaw	Iboundji, Lybe, Lémé	All the year	15	11,340	38
		Large	1	Ijaw	Bikele	Neap tide	14	7,056	39
		Large	1	Gabonese	Emone	All the year	8	2,368	40
	Komo estuary	Large	1 - 3	Beninese Ijaw	Owendo, oloumi	Rainy season	32	50,688	41
	Port-Gentil	Large	1	Ijaw	Iguiri	All the year	20	25,200	42
Beach seine	Port-Gentil	Mixed	1	Beninese Togolese	Cap Lopez	All the year	4	1,512	43
Purse seine	Corisco Bay	Mixed	1	Gabonese	Cap Estérias	Dry season	2	740	44
		Small [Sardines]	1	Beninese	Massamboué	Spring tide	2	1,260	45
	Komo estuary	Small [Sardines]	1	Beninese	Ozoungué	All the year	22	27,720	46
	Port-Gentil	Mixed	1	Gabonese	Port-Gentil	All the year	67	29,212	47
Stow net	Komo estuary	Small* [Shrimps]	1	Ijaw	CCPO	Spring tide	5	760	48
TOTAL								2,529,320	

* Stow nets have mesh size between 5 and 15 m

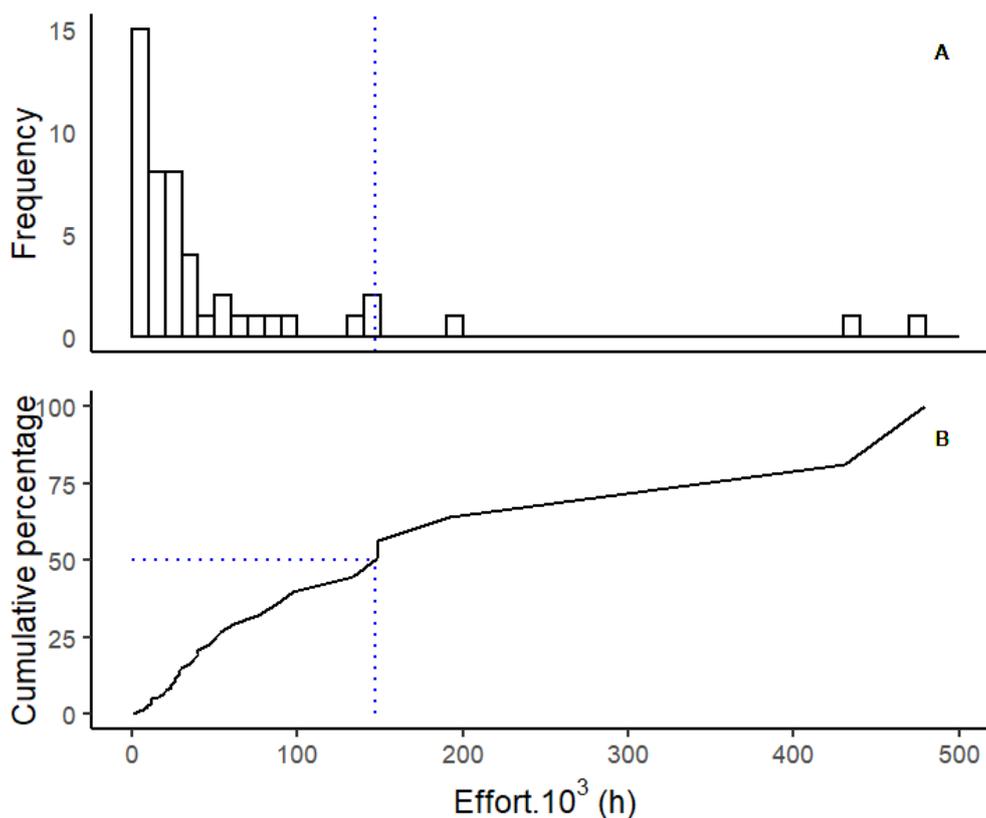


Figure 35: Métiers annual nominal effort distribution by classes of 10,000 hours (A) and cumulative percentage of total fishing effort (B). Blue dotted line shows when 50% of the effort is reached.

4.3.2. Métiers Retained and fishing grounds characteristics

On the 48 identified métiers, 15 of them (2.5% of the total annual effort) were discounted as they represented annual effort of less than 10,000 hours.year⁻¹. Five of them (3.1% of the total annual effort) didn't have suitable fishing location for this analysis as fishing areas were located in Equatorial Guinea EEZ (métiers 6, 7 and 22) or was too close to the shore – particularly in the case of beach seine and handline from the coast (métiers 37 and 43). Analyses of sampling effort revealed insufficient data for 10 supplementary métiers, to define suitable habitats (Appendix 8, Fig. S1). They were removed from the analysis (18.7% of the total annual effort). Finally, 18 métiers were retained, representing 75.7% of the total nominal fishing effort (Table 19).

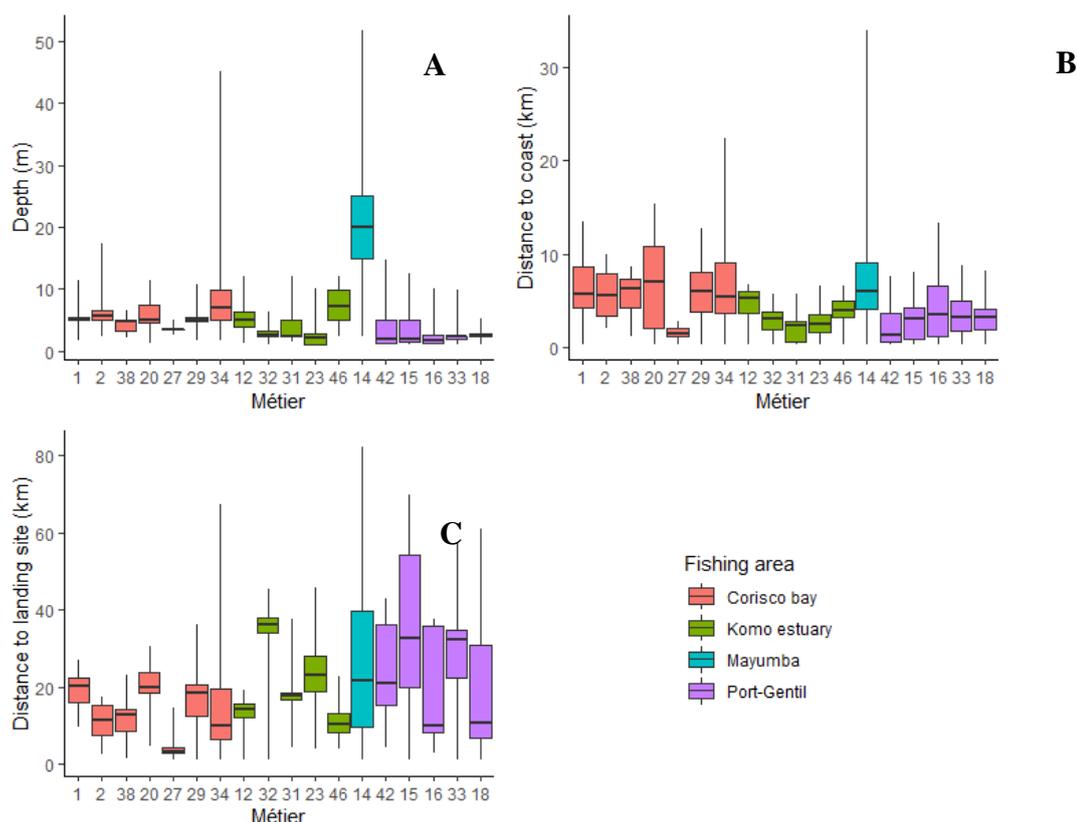


Figure 36: Boxplots of fishing grounds characteristics ((a) maximum depth, b) maximum distance to coast and c) maximum distance to the landing site) by métier, with 25th, 50th (median), and 75th percentile, with whiskers extended to show minimum and maximum values Métiers are ordered by fishing areas. See Table 19 for métier definition.

For all métiers combined, fishing depth varied between 1 and 52 m with a mean of 11 m, distance to the coast varied from 300 m to 34 km, with a mean of 5.7 km and distance to the landing site varied from 1 km to 82 km, with a mean of 20.9 km (Figure 36). When looking at maximum values, fishing depth by métier varied between 4.9 and 51.6 m with a mean of 14.6 m. Distance to the coast varied between 2.7 and 33.9 km with a mean of 10.9 km. Distance to the landing site varied between 14.4 and 82.3 km with a mean of 41 km.

4.3.3. Fishing grounds delimitation and national distribution

Eighteen fishing grounds have been delimited (see Appendix 8, Fig. S2). When they are superimposed, they cover a surface of 10,675 km² (Figure 37), representing 5.3% of the EEZ. The expected fishing hours.km⁻².year⁻¹ varied from 12 to 1,693, mean (SD) was 157 (322.5). The highest density of nominal effort was found in Komo estuary and to a lesser extent in Port-Gentil and Corisco bay. Regarding the density of métiers, it varied from 1 to 7 km⁻², mean (SD) is 1.9 (1.6). It was in Corisco bay where the higher number of métiers was found and then, in Komo estuary (up to 6 km⁻²).

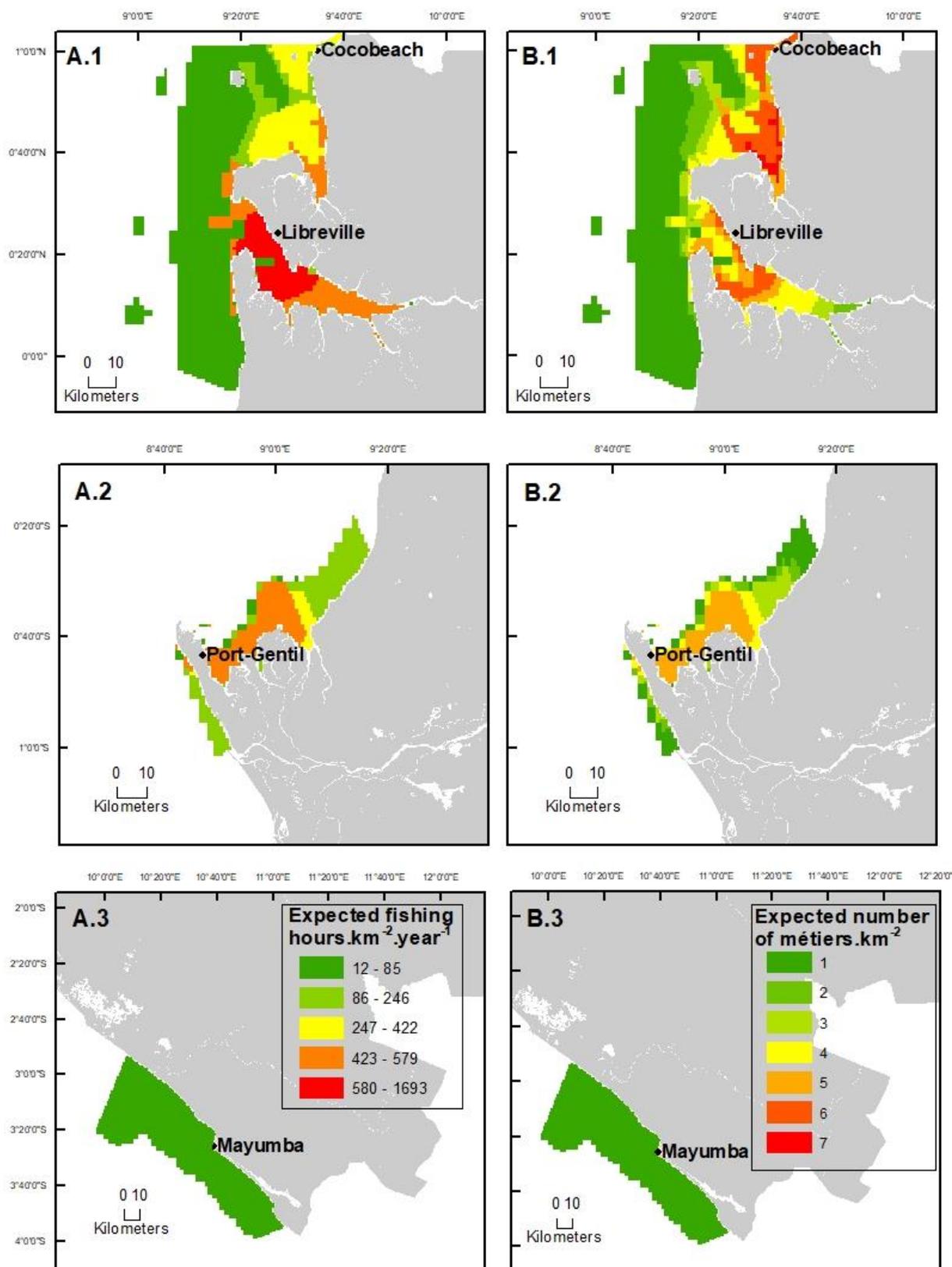


Figure 37: Distribution and density of expected fishing hours.km-2.year-1 (A) and expected number of métiers.km-2 (B) in North (1), Center (2) and South (3) of Gabon

4.3.4. Overlap with protected areas

In 2015, 9% of suitable fishing grounds were in areas where small-scale fisheries were prohibited (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). It increased of 13.2 points with the creation of MPAs, resulting in 22.2% of the surface in prohibited areas. When annual fishing effort was taken into account, the increase was slightly less, with 12.2 points, but the percentage of expected annual nominal fishing effort included in prohibited areas reached 55.1%. More than half of this value is due to the ban of foreign fishing and new MPAs count for only 16.8%. The difference between the percentage in MPAs in 2017 and the increase of prohibited areas between 2015 and 2017 is due to the fact that some fishing areas, previously prohibited by the nationality ban, became regulated areas thanks to new aquatic reserves. Regulated areas reached 30.8% of the surface of national fishing grounds whereas, when taken into account the effort, 42.2% of expected annual nominal fishing effort were in regulated areas. Hence, since 2017, 97.3% of the fishing effort was either prohibited or regulated (and 53% of the surface of fishing grounds).

Table 20: Percentage of annual nominal fishing effort and suitable fishing grounds areas in protected or regulated areas in 2015 and since 2017 on a national scale

	Prohibited Areas		Regulated Areas	
	2015	2017	2015	2017
Expected fishing hours	42.9%	55.1%	44.4%	41.4%
Fishing grounds area	9.0%	22.2%	23.3%	13.5%

When looking in detail (Figure 38), 14 métiers have seen their fishing ground surface decrease by the new legislation, while 4 had an increase in their fishing grounds surface. In general, métiers with high percentage in prohibited areas didn't have very much variation between the 2 periods. The métier 16 (bottom gillnet in Port-Gentil practiced by Beninese) had the highest percentage, with 94.5% of its suitable fishing ground in prohibited areas (34.2% in aquatic reserve and 60.3% in areas reserved for Gabonese). The métier 12 (bottom gillnet in Komo Estuary) is the less impacted with only 23.4% of its suitable fishing ground surface in prohibited areas.

Regarding regulated areas (Figure 39), 10 métiers didn't have any rules in their fishing grounds in 2015 and have seen an increase of their surface regulated. Two métiers still don't have regulation at all (métier 2 and 27: bottom gillnet and mullet circling gillnet in Corisco Bay). The 2 métiers (12 and 23) with the highest annual effort have an important part of their fishing grounds in regulated areas.

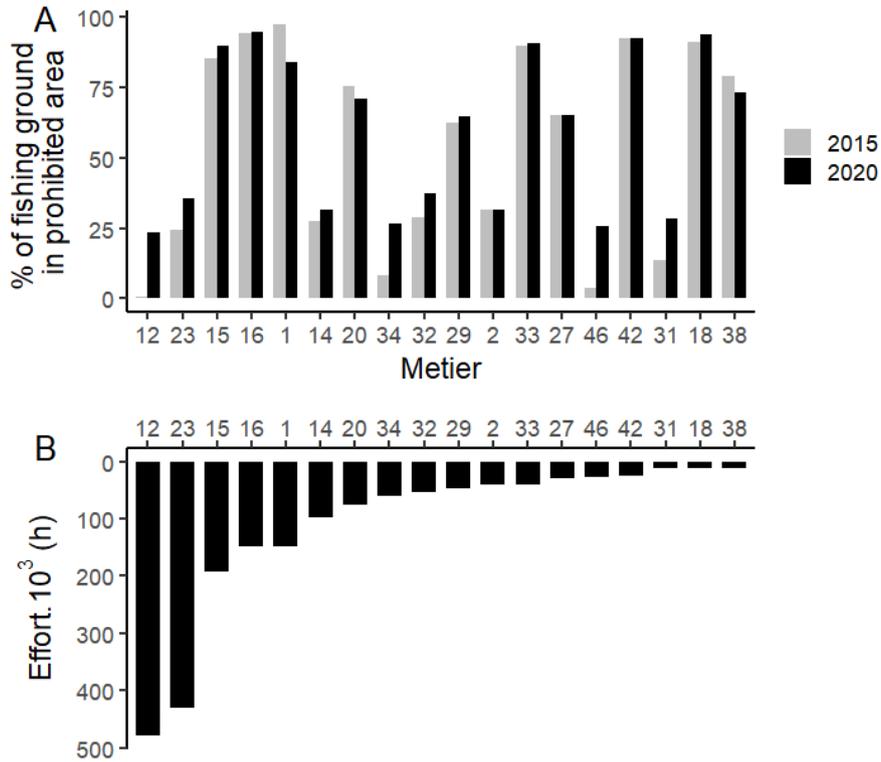


Figure 38: Histogram of fishing grounds areas percentage in prohibited areas for each métier and for 2015 and since 2017 (A). Métiers are ordered by decreasing annual effort (B)

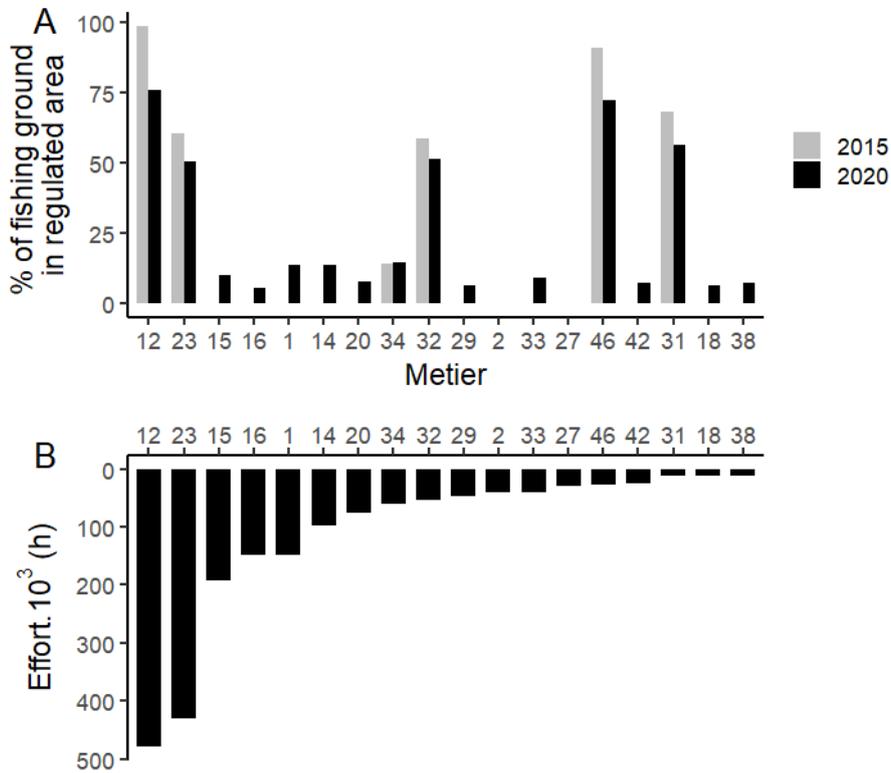


Figure 39: Histogram of fishing grounds areas percentage in regulated areas for each métier and for 2015 and since 2017 (A). Métiers are ordered by decreasing annual effort (B)

4.4. Discussion

This study is the first to describe, marine and commercial small-scale spatio-temporally mapped fisheries métiers in Gabon. Based on samples of fishing trips, suitable fishing grounds are delimited for the main métiers, allowing to have a prediction of fishing distribution on a national level. Data coming from interviews contain uncertainties, especially regarding fishing effort estimation, due to several reasons such as difficulties of access to communities in remote landing sites, level of trust from communities, understanding of questions, relevance of answers and will of cooperation. However, long-time cooperation and establishment of trust interviews can be an effective approach for areas with insufficient data (McCluskey & Lewison, 2008). Hence, in this study, fishing effort is an approximation, and reveals relative importance between métiers. Yet, the annual fishing effort assessed for all the fleet (2,529,320 hours, i.e. 105,338 days) is close to previous estimations, made for the year 1995, with all métiers and gear combined (99,744 days) and in the margin of 1999 and 2010 estimations (respectively 157,510 days and 26,710 days) (Belhabib, 2015).

Forty-eight métiers have been identified thanks to interviews. This division into coherent segments was the underpinning to determine suitable fishing grounds but is also essential to monitor catches (Marchal, 2008), economic and social aspects (Biseau & Gondeaux, 1988) and, hence to have a better management (Ulrich et al., 2009 ; Salas et al., 2019). Categorisation of Gabonese small-scale fisheries demonstrates heterogeneity of the sector (Noel & Le Sauce, 2014), with a diversity in gears employed, spatio-temporal habits, targeted species and communities involved. The variability in métiers identified in the study is common place in artisanal fisheries and can encompass a range of factors, such as geographic variability, when fishers move to follow the resource by season (Allen & McGlade, 1986 ; Hilborn & Walters, 1987) or definitely migrate (Ecoutin, 1991 ; Haakonsen & Diaw, 1991) and results in creation or disappearing of landing sites and migratory flows on national or regional scales. It can also be variability in fishing technic when boats, engines and fishing gears evolve and are exchanged between communities (Bouju, 1999). Finally, the dynamism of caught species can exist as well depending on seasons and fishing areas (Allen & McGlade, 1986). For those reasons, this study presents a situation at a given time which is likely to change quickly. However, this knowledge constitutes the first baseline to monitor small-scale fisheries in Gabon.

Four métiers are responsible for half of the total fishing effort. Three include bottom gillnets (2 in Port-gentil and 1 in Komo estuary), the other being surface gillnet in Komo estuary. They are practised by Beninese and Gabonese communities in Port-Gentil and by Nigerian and

Beninese communities in Komo estuary. Focusing management on those métiers would have a great impact on resources, especially if catches are proportional to fishing effort.

In this study, the delimitation of suitable fishing grounds is assessed for 76% of the total fishing effort. Métiers not represented could slightly change the national distribution of fishing effort, especially métiers 36, 13 and 41 which represent respectively 5, 3 and 2% of the total fishing effort. Métier 36 corresponds to handline fishing, practised by Saotomean and Gabonese communities and catches are landed in Port-Gentil and Libreville. This irregularity of landing sites made it more difficult to follow. From fishers explanations and few fishing trips samples available, it seems that they fish between Libreville and Port-Gentil and also in the south of Port-Gentil, in areas where the other métiers do not fish. Métier 13 (bottom gillnet) practised by Nigerians seems to occur between Libreville and Port-Gentil also and métier 41 (longline by Nigerians and Beninese) seems to be practised in Komo estuary. Regarding their respective annual effort and localisation, they would add some new fishing grounds area on the map but, it wouldn't change the distribution of fishing "hot spots" in the Komo estuary, Port-Gentil and Coriso bay. It has to be confirmed by increasing fishing trip samples for these métiers in future studies. However, delimited fishing grounds in this study are important results, as it shows their great diversity, the overlap between different métiers (up to 7 by km²) and enhance the fact that management can and should be thought locally by specific gears and communities. This fine knowledge gives all elements to set up a management by area and to involve communities in participative and local governance. The fishing grounds distribution in Gabon is characterised by their proximity to the main cities. This is something common as it allows fishers to be closer to selling markets and to decrease costs in time and fuel (Adams et al., 2011).

Regarding MPAs, Gabon achieved to created areas aiming to protect 26% of the Exclusive Economic Zone, which is a lot more than the 10% CBD goal. Our results reveal that this new regulation excludes 12% of small-scale fishing grounds. It seems that the aim of increasing conservation with a minimum impact on small-scale fishers could be achieved. In addition, further benefits can be expected from fishing closure areas. If protected areas encompass a nursery or a high concentration of juveniles, it has been demonstrated that it is efficient (Murawski et al., 2000), especially from the « spillover » effect (McClanahan & Mangi, 2000 ; Roberts et al., 2001 ; Forcada et al., 2008 ; Goñi et al., 2008). The biomass increasing in the protected area spills out in adjacent areas and, sometimes farther for mobile species (Gell & Roberts, 2003 ; Sala & Giakoumi, 2018), and allows increasing fishers catches. Regarding small-scale fisheries, it has been noticed that MPAs can lead to radical changes in fishing practices, with some métiers disappearing or others appearing to adapt to new fishing areas. Some risks can be the loss of traditional knowledge of fishing technic and area's ecology

(Mallol & Goñi, 2019) and overfishing in other areas (Ba et al., 2019). Those potential impacts have to be monitored in Gabon, this study allowing to have a baseline knowledge, previous to MPAs creation.

One major finding of this study is that 22% of the fishing ground surface and 55% when taking into account the effort in prohibited areas. These restrictions are mainly due to pre-existing regulations, especially to the ban on nationality. Marine small-scale fisheries in Gabon are practised by a vast majority of foreigners from West Africa and this situation leads to have more than half of fishing operations illegal. As those operators provide local markets, their legitimacy could be legalised and, leading to greater compliance with other regulations.

Regarding regulated areas, i.e. in aquatic reserves where small-scale fisheries are allowed or in Komo estuary where management plan is compulsory, they represent 30.8% of the surface of fishing grounds and 42.2% of the fishing effort. Impacts of those areas on resources will depend on management measures decided. As it constitutes a great tool, it has to be revised regularly and can be adapted to ecosystems evolution and fishers behaviour responses.

In comparison to the global situation, 7.45% of oceans are in MPAs but, when focusing on management, only 1% are well managed (UNEP-WCMC & IUCN, 2020). As in Gabon, lots of MPAs have been created, however, many of these areas are lacking management plan. This is the next challenge for Gabon. One of the way would be to encourage stakeholder based co-management. Promoting the rights and inclusion of small-scale fishers in wider development processes will help reduce their marginalisation and associated conflicts (McClanahan et al., 2015). In conclusion, this study provided a base line of knowledge, previous to MPA creation. These measures, sometimes unpopular, are hoped to deliver sustained benefits to fishing communities in the future, with an appropriate and participative management.

Conclusion générale et perspectives

1. Résultats principaux

En introduction de ce travail de thèse, nous nous étions fixé comme objectif de poser les jalons pour un suivi et une gestion à long terme de la pêche artisanale maritime au Gabon, avec une attention particulière sur le suivi spatial de la flotte. La distribution des activités de pêche serait alors mise en perspective avec la réglementation, notamment les aires marines protégées. Il s'agissait ainsi de répondre à la problématique suivante : l'approche spatiale et par métier permet-elle de détecter les enjeux de gestion en pêche artisanale ? Il a été démontré que c'est en effet le cas. Le découpage du secteur en métiers de pêche permet d'identifier les segments où l'effort de pêche est le plus important et donne des pistes de priorisation en termes de gestion. La localisation des territoires potentiels de pêche permet aussi de mettre en lumière des zones où la gestion de l'effort de pêche est prioritaire.

Dans un contexte de données parcellaires et peu actuelles, ce travail a permis une mise à jour et une amélioration de la description de la flotte artisanale maritime gabonaise. Plusieurs caractéristiques marquantes ont été mises en lumière, notamment la distribution des lieux de débarquement qui se concentrent majoritairement autour des grandes agglomérations et dont l'organisation est régie en grande partie par la nationalité des pêcheurs. Les données actualisées estiment la flotte nationale maritime à environ 1200 pirogues, dont presque la moitié utilisent le filet maillant de fond et les pêcheries visent la plupart du temps un assemblage d'espèces diverses, sauf dans le cas notable de la pêche ciblée de l'ethmalose. Cette description a permis de segmenter la flotte en 48 métiers. Cette approche, que nous avons choisie ici, reconnaît la complexité de la flotte et permet de détecter la structure de l'allocation de l'effort de pêche (Salas et al., 2019). Cela aide également à la mise en place d'un plan d'échantillonnage approprié pour les enquêtes sur les captures de la pêche. Ces données constituent donc un véritable socle pour des études ultérieures potentielles. Cependant, la revue historique du secteur a démontré le fort dynamisme des communautés de pêcheurs et de leurs pratiques. C'est pourquoi ce travail donne uniquement un instantané de la situation, susceptible de changer rapidement.

Face à la problématique de localiser les zones de pêche, la revue littéraire des modèles utilisés pour l'analyse des trajectoires de pêche, nous a permis de replacer nos choix méthodologiques parmi les connaissances existantes (celles-ci étant beaucoup plus importantes pour les navires équipés du VMS ou de l'AIS). L'utilisation de Modèles de Markov Cachés a démontrée être une approche prometteuse pour le Gabon. En se basant sur la

vitesse et la direction des embarcations, ils ont permis d'inférer le comportement sous-jacent des embarcations, c'est-à-dire quand ils sont en pêche ou pas. Ici encore, c'est une connaissance fine des pêcheries gabonaises qui a permis de choisir un modèle et des paramètres adéquats. Dans un contexte où la technologie progresse rapidement, le suivi spatial des petites unités de pêche sans énergie à bord devient une réalité. Le gouvernement gabonais souhaite d'ailleurs en équiper entièrement la flotte artisanale maritime. Ce travail donne ainsi un outil fonctionnel pour le suivi spatial à long terme de la flotte.

Pour interpréter la géolocalisation des activités de pêche à l'échelle d'une flotte et sur une période donnée, la notion d'effort nominal intervient. Ici aussi, le découpage par métier constitue un outil fonctionnel pour estimer la quantité d'heures de pêche réalisées dans une année. Dans le cas gabonais, cela a mis en évidence que 4 métiers sur 48 totalisaient la moitié de l'effort de pêche annuel. Cela représente un résultat important en termes de gestion et de recherche scientifique, d'autant plus si les captures sont proportionnelles à l'effort de pêche nominal. Dans cette thèse, l'échantillonnage des voyages de pêche n'étant pas suffisant pour couvrir l'ensemble des territoires de pêche, ce sont les zones de pêche adéquates qui ont été définies (c'est-à-dire les zones présentant les conditions optimales recherchées par les pêcheurs). Ces données combinées aux efforts de pêche nominaux estimés ont permis d'obtenir une distribution prédictive des activités de pêche par métiers. Lorsque cela est mis en perspective avec la législation de 2015 (moment de la collecte des données), 9 % de la surface des territoires de pêche se trouvaient en zone interdite à la pêche, mais si l'effort nominal est pris en compte, ce sont 43 % des activités qui étaient en zone interdite. Cela démontre que la notion de densité est cruciale pour géolocaliser les activités de pêche. Suite à la création d'Aires marines protégées en 2017, le même exercice montre que 13 % des surfaces de pêche adéquates sont devenues interdites et 12 % en considérant l'effort nominal. Il semblerait que le pari d'améliorer la conservation des espèces marines et des habitats grâce aux AMP et cela, avec un minimum d'impact pour la pêche artisanale, est en bonne voie. Cependant, il est capital de voir comment cette nouvelle gestion spatiale influe sur le comportement des pêcheurs et si la distribution de leurs activités s'en trouve modifiée.

2. Perspectives

2.1. Amélioration des méthodes utilisées

La description de la flotte artisanale maritime gabonaise a été réalisée grâce à des questionnaires en « boule de neige », qui permettaient d'identifier les prochains répondants grâce aux indications du répondant précédent. Cette méthode a permis d'avoir accès à des groupes dispersés et parfois isolés, avec un minimum de ressources humaines pour conduire

les entretiens. Avec des ressources plus importantes (en temps et en enquêteurs), il aurait été possible d'obtenir un échantillonnage plus élevé. Cela aurait permis plus de précision sur les caractéristiques des engins de pêche notamment. A la place d'intervalles, il serait alors possible d'avoir des statistiques précises sur les tailles de mailles, les longueurs et les hauteurs de filets utilisés. De la même façon, un échantillonnage plus important aurait permis d'avoir des statistiques plus complètes sur les caractéristiques des embarcations (longueur, largeur) et sur la motorisation (puissance).

Le cadre de l'étude aurait également pu être élargi à un suivi socio-économique des communautés de pêcheurs, ces facteurs étant souvent une explication des choix des techniques de pêche (Salas et al., 2019). A l'avenir, ce genre d'enquête pourrait inclure des questions sur les revenus des pêcheurs et les coûts associés, mais aussi inclure les autres acteurs du secteur. Outre les pêcheurs, une multitude de métiers sont associés à la pêche et peuvent influencer les choix et comportements des pêcheurs en mer. Au Gabon, les activités connexes sont, entre autres, les mareyeurs qui achètent la ressource et participent donc à la détermination des prix, les transformateurs qui fument ou salent le poisson et ont donc des préférences pour certaines espèces, les transporteurs qui portent les captures à bout de bras dans des débarcadères non accessibles aux voitures, les vendeuses dans les marchés qui connaissent la demande des consommateurs et les écailleurs qui ont aussi des préférences pour certaines espèces. A ce sujet, de nouveaux marchés s'ouvrent pour la commercialisation des « déchets » du nettoyage des poissons. Les vessies natatoires sont récupérées et destinées au marché asiatique avec une plus-value importante. C'est un phénomène à suivre au plus près, alors que dans d'autres pays, cela a pu mener à la surexploitation de certaines espèces (Sadovy de Mitcheson et al., 2019). Il aurait été également intéressant de mener des entretiens avec les autres membres de la communauté de pêcheur, en particulier les familles et autres habitants des débarcadères. Il y a de plus en plus en plus d'intérêt pour les questions de genre et la place des femmes dans la pêche artisanale (FAO, 2015 ; Frangoudes et al., 2019) et cela s'explique par la place importante qu'elles occupent tout en étant marginalisées. Au Gabon, ce sont essentiellement les femmes qui s'occupent du mareyage, de la transformation et de la vente. Il y a même une communauté de femmes nigérianes qui pratiquent la pêche avec des filets dérivants allant jusqu'à 3 km de longueur, en partant plusieurs jours d'affilée en mer (voir métier 23 au chapitre 3). L'influence des femmes se retrouve également dans les décisions de la communauté et il serait intéressant d'étudier ces différentes relations.

Pour ce qui est du suivi de l'effort nominal de pêche, ici aussi, ces données ont été obtenues grâce à des questionnaires. Dans un contexte idéal, un système d'enquêteurs présents régulièrement dans les débarcadères permettrait de connaître cet effort avec plus d'exactitude,

en collectant le nombre de sorties mensuelles et la durée des sorties. Cela permettrait de déceler de potentielles variations saisonnières. Au Gabon, avec 41 débarcadères répartis sur un linéaire de 955 kilomètres de côte et des conditions de déplacement compliquées, du fait de l'absence de routes bien aménagées, il serait intéressant d'avoir des enquêteurs permanents dans chaque débarcadère et donc des ressources financières plus importantes allouées au suivi de ce secteur.

Concernant le suivi spatial de la pêche, la méthode d'inférence du comportement des pêcheurs pourra être améliorée, notamment si le gouvernement concrétise sa volonté d'équiper toute la flotte artisanale de trackers GPS solaires. Avec une base de données plus conséquente, d'autres paramètres des HMM (notamment les valeurs initiales et le nombre d'états) et une comparaison avec d'autres modèles (les GMM et les CRF, en particulier) pourraient être testés. La définition des zones de pêche adéquates s'est fait ici grâce à notre échantillonnage (distance à la côte et distance au débarcadère) et seulement accompagné d'un facteur environnemental : la bathymétrie. C'étaient les uniques données disponibles, mais d'autres facteurs pourraient être pris en compte pour obtenir des zones plus précises, notamment la nature du substrat, la pente du fond marin, la distribution des poissons, la chlorophylle a, les courants, les algues dérivantes (Dunn et al., 2010 ; Stewart et al., 2010 ; Kavadas et al., 2015 ; Lima et al., 2017 ; Thiault et al., 2017) (Figure 40). Il serait intéressant de réaliser des campagnes océanographiques et des suivis acoustiques pour obtenir ces facteurs complémentaires.

2.2. Extension spatio-temporelle et possibilités de recherches ouvertes

Le découpage de la flotte artisanale maritime en métiers est un préalable essentiel au suivi des captures (Marchal, 2008), au suivi des aspects socio-économiques (Biseau & Gondeaux, 1988) et au suivi de l'évolution de cette flotte dans le temps. Il serait nécessaire d'étendre cette catégorisation et description aux autres types de pêche gabonaise, tels que la pêche continentale, sportive et industrielle. Il serait aussi important d'appliquer ces méthodes aux pays de la sous-région qui, comme le Gabon, ont des données parcellaires et peu actuelles.

Le suivi des captures permet de connaître la mortalité due à la pêche et, ainsi d'évaluer l'état des stocks halieutiques. L'approche traditionnelle d'évaluation et de gestion des stocks pour une espèce a prouvé ses limites (Garcia et al., 2008), particulièrement dans le cas de la pêche artisanale où les pêcheries sont la plupart du temps multispécifiques (Salas et al., 2019). Nous avons démontré que le Gabon ne déroge pas à cette règle et la segmentation du secteur par métier constitue donc une base stable pour un suivi de la mortalité par pêche. Elle permettra de mettre en place un suivi des captures dans les débarcadères, en utilisant un échantillonnage stratifié basé sur les métiers (Biseau & Gondeaux, 1988 ; Pelletier & Ferraris,

2000). Cette approche permettra d'observer les chevauchements entre les assemblages d'espèces commerciales, mais également de quantifier les prises accessoires de chaque métier, qui peuvent parfois être sous-évaluées (Fauconnet et al., 2015). C'est aussi la base pour le suivi de l'effort de pêche nominal, comme nous l'avons appliqué ici, mais aussi pour les suivis socio-économiques. Il est particulièrement important de connaître les interactions commerciales avec les autres types de pêche, tels que la pêche industrielle et la pêche continentale. Comme la pêche artisanale est un secteur très dynamique, il est indispensable de réactualiser régulièrement ces données et des enquête-cadre devraient être réalisées annuellement ou, dans une limite acceptable, tous les 5 ans, lorsque les ressources financières sont insuffisantes (Gbaguidi & Verstralen, 1998). Le suivi régulier de tous les aspects énumérés précédemment permet de comprendre les motivations des pêcheurs et de prédire les changements à venir dans leurs pratiques, souvent motivés par la variation de la valeur des espèces ciblées, la demande du marché, le déclin de certaines espèces, l'adaptation des pêcheurs aux nouvelles législations, la dégradation des habitats et les facteurs environnementaux.

Concernant l'étude de la distribution spatiale de la pêche, les pistes de recherche sont nombreuses (en vert sur la Figure 40). Un préalable déterminant sera la généralisation du suivi spatial à toute la flotte artisanale maritime. Ainsi, la distribution réelle de la flotte et sa densité spatiale pourront être étudiées. Il sera alors possible d'observer s'il y a des variations saisonnières et des variations sur le long terme. Au cours de ce travail, nous avons mis en lumière les interactions potentielles avec les aires marines protégées, or ce ne sont pas les seules interactions susceptibles d'influencer la distribution de la pêche artisanale.

Les acteurs dans l'espace marin sont nombreux et opèrent souvent dans les mêmes zones, au même moment. L'une des interactions les plus communes et souvent source de conflit pour la ressource, et donc pour l'espace, se situe entre la pêche artisanale et la pêche industrielle. Cela est d'autant plus vrai dans les tropiques, où les productions primaires et secondaires sont plus proches des côtes. En conséquence, les chalutiers doivent opérer à proximité des côtes pour maintenir des captures raisonnables et particulièrement lorsqu'ils ciblent des crevettes (Palomares & Pauly, 2019). Cette situation se retrouve au Gabon, où de plus, le plateau continental se réduit de façon importante au niveau de Port-Gentil et une flotte chalutière exploite les crevettes. Les navires de pêche industrielle gabonais étant équipés de VMS, il serait intéressant d'observer le chevauchement des zones de pêche entre ces deux secteurs, même si la législation sépare ces deux activités dans son zonage. De la même façon, des interactions peuvent exister entre pêche artisanale et pêche sportive. Avec la création des aires marines protégées, la pêche sportive est autorisée dans les parcs marins. Cela pourrait être une source de frustration pour les pêcheurs artisans qui observeraient les pêcheurs

sportifs exercer dans des zones qui leur sont désormais interdites. Dans l'espace maritime gabonais, l'exploitation du pétrole off-shore est aussi une réalité à prendre en compte.

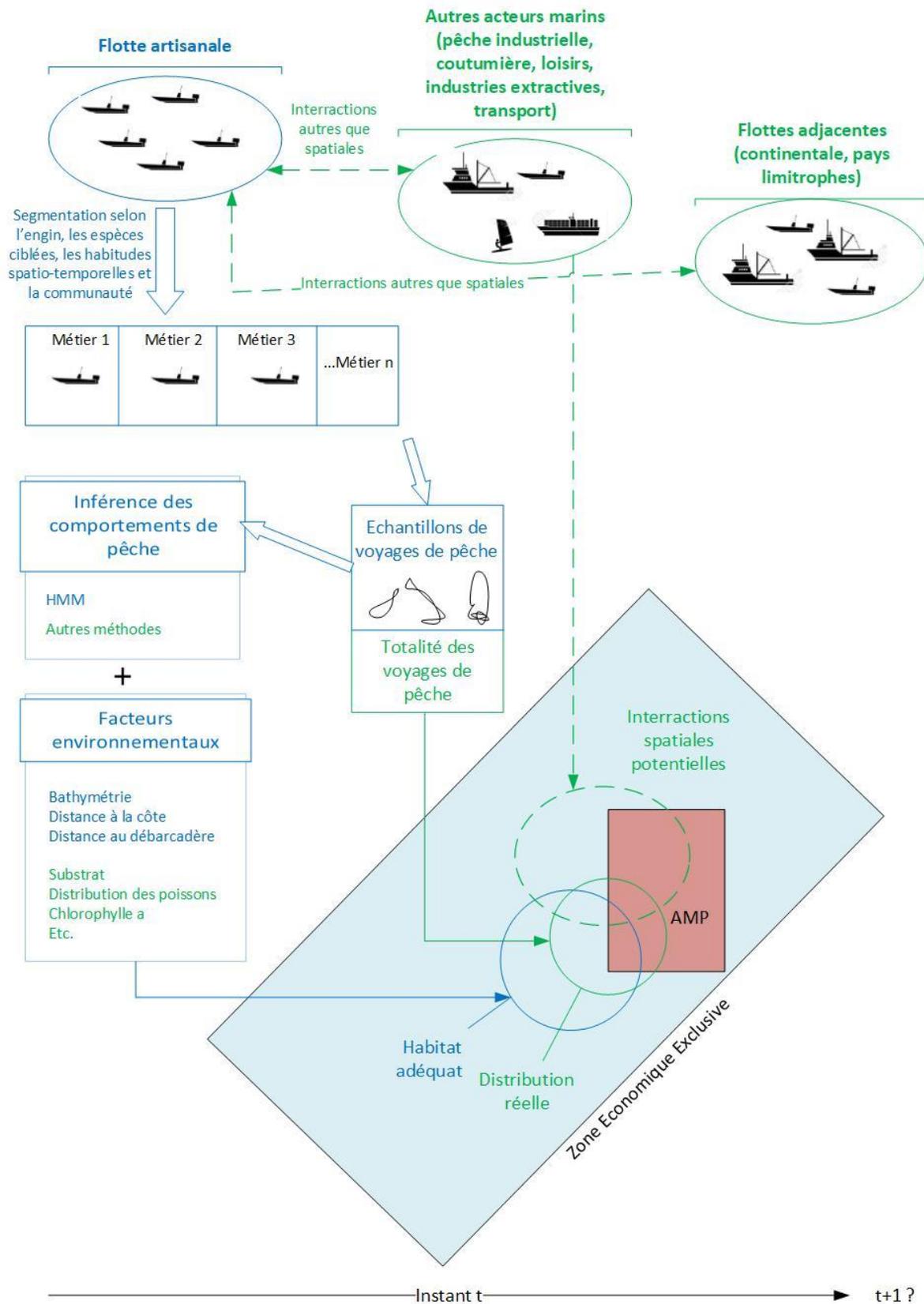


Figure 40 : Eléments *permettant de comprendre l'utilisation d'un espace maritime théorique avec en bleu, ce qui a été abordé dans cette thèse et en vert, ce qu'il serait intéressant d'aborder par la suite*

Si la législation protégeait déjà les plateformes pétrolières contre la pêche aux alentours pour maintenir la sécurité des installations, les nouvelles aires marines protégées englobent certaines de ces plateformes et créent une zone d'exclusion plus large. Or, il a été démontré que ces plateformes pétrolières supportent une grande biodiversité et une biomasse importante (Friedlander et al., 2014) et présentent donc un intérêt pour les pêcheurs.

L'utilisation de l'espace par la pêche artisanale est aussi conditionnée par le transport maritime. Les villes de Port-Gentil et Libreville sont des centres névralgiques pour le transport maritime : le fret et le transport industriel (bois, minerais, pétrole). Or, nous avons démontré que la majorité de l'activité de la pêche artisanale se pratique dans l'estuaire du Komo et la baie de Port-Gentil, justement sur les routes du transport maritime. Ces navires étant équipés de l'AIS, il serait intéressant d'étudier ces interactions. Finalement, un autre conflit éventuel pourrait exister avec la piraterie, qui a augmenté de 50 % dans le Golfe de Guinée (AFP, 2020), un équipage de chalutier ayant déjà été enlevé au Gabon.

Outre les chevauchements et conflits pour l'utilisation de l'espace, les changements dans les facteurs environnementaux sont susceptibles d'influencer la distribution spatiale de la pêche artisanale. Le réchauffement climatique influe déjà sur la distribution des poissons et leur abondance (Moullec et al., 2016) et les prédictions pour l'Afrique centrale sont une diminution des captures allant jusqu'à 30 % d'ici 2050 (Cheung et al., 2016). Si ces prédictions se réalisent, qu'en sera-t-il de la pêche artisanale gabonaise ? Il y aura des conséquences sur la distribution spatiale de la pêche, mais aussi pour toute l'activité et en particulier économiquement.

Quoiqu'il en soit, la suite qui nous semble la plus logique à ce travail serait d'étudier la distribution actuelle de la pêche artisanale maritime gabonaise, pour connaître l'impact réel des nouvelles aires marines protégées sur le comportement des pêcheurs.

2.3. Le mot de la fin

La gestion des pêches et des ressources marines s'oriente de plus en plus vers la gestion basée sur l'écosystème (Ecosystem-Based approach to Fisheries Management, EBFM). Son objectif est de maintenir en bonne santé les écosystèmes et les pêcheries qu'ils soutiennent. En ce sens, l'intégration des informations sur la flotte fournit un pont entre la gestion traditionnelle basée sur une espèce et la gestion par écosystème (Pikitch et al., 2004 ; Ulrich et al., 2009 ; Fauconnet et al., 2015). Nous partageons le point de vue de (Zeller & Pauly, 2019) que la pêche artisanale est le futur de la pêche durable, dans le sens où, au contraire

de la pêche industrielle, elle fournit des emplois locaux, capture des produits essentiellement destinés à la consommation humaine, assure une part de la sécurité alimentaire locale, ne produit pas ou peu de rejets et participe de façon moins importante au réchauffement climatique en consommant moins de carburant. Cela reste vrai si cette pêche est gérée avec attention et si les gestionnaires des pêches prennent en compte les résultats apportés par les scientifiques. Etant donné la diversité des acteurs du secteur pêche artisanale au Gabon, une gestion participative et locale semble être la voie à suivre. Locale, car cette étude a démontré que les pêcheurs pratiquent leur activité à proximité de leur débarcadère d'origine et que chaque métier a ses spécificités. Participative, car les unités de pêche sont bien souvent basées sur l'individu. Des plans d'aménagements permettraient de fixer des règles locales concernant les caractéristiques et la sélectivité des engins, l'effort de pêche et l'impact sur l'environnement. Une gestion par zone permettrait de prendre cela en compte et d'impliquer les pêcheurs grâce à une réelle appropriation de leur territoire et de la ressource, et un désir de les maintenir pour les générations futures.



Références bibliographiques

- Abernethy, K.E., Allison, E.H., Molloy, P.P. & Côté, I.M. 2007. Why do fishers fish where they fish? Using the ideal free distribution to understand the behaviour of artisanal reef fishers, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **64**: 1595-1604.
- Adams, V.M., Mills, M., Jupiter, S.D. & Pressey, R.L. 2011. Improving social acceptability of marine protected area networks : A method for estimating opportunity costs to multiple gear types in both fished and currently unfished areas, *Biological Conservation*, **144**, (1): 350-361.
- AFP. 2020. Hausse de 50 % de la piraterie dans le golfe de Guinée en 2019, *Le Monde.fr*.
- Agence Nationale des Parcs Nationaux. 2014. *Plan de gestion du parc national d'Akanda* Libreville, Gabon, 69 p.
- Airoldi, E.M. 2007. Getting Started in Probabilistic Graphical Models, *PLOS Computational Biology*, **3**, (12): e252.
- Alfaro-Shigueto, J., Mangel, J.C., Pajuelo, M., Dutton, P.H., Seminoff, J.A. & Godley, B.J. 2010. Where small can have a large impact: Structure and characterization of small-scale fisheries in Peru, *Fisheries Research*, **106**, (1): 8-17.
- Allen, P.M. & McGlade, J.M. 1986. Dynamics of Discovery and Exploitation: The Case of the Scotian Shelf Groundfish Fisheries, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **43**, (6): 1187-1200.
- Allison, E.H. & Ellis, F. 2001. The livelihoods approach and management of small-scale fisheries, *Marine Policy*, **25**, (5): 377-388.
- Altman, D.G. & Bland, J.M. 1994. Statistics Notes: Diagnostic tests 2: predictive values, *BMJ*, **309**: 102.
- Alvard, M., Carlson, D. & McGaffey, E. 2015. Using a partial sum method and GPS tracking data to identify area restricted search by artisanal fishers at moored fish aggregating devices in the Commonwealth of Dominica, *PLoS ONE*, **10**, (2): 1-23.
- Amidi, A. & Amidi, S. 2018. CS 229 - Pense-bête d'apprentissage supervisé <<https://stanford.edu/~shervine/1/fr/teaching/cs-229/pense-bete-apprentissage-supervise>>. Page consultée le 12 avril 2020.
- Amoroso, R.O., Pitcher, C.R., Rijnsdorp, A.D., McConnaughey, R.A., Parma, A.M., Suuronen, P., Eigaard, O.R., Bastardie, F., Hintzen, N.T., Althaus, F., Baird, S.J., Black, J., Buhl-Mortensen, L., Campbell, A.B., Catarino, R., Collie, J., Jr, J.H.C., Durholtz, D., Engstrom, N., Fairweather, T.P., Fock, H.O., Ford, R., Gálvez, P.A., Gerritsen, H., Góngora, M.E., González, J.A., Hiddink, J.G., Hughes, K.M., Intelmann, S.S., Jenkins, C., Jonsson, P., Kainge, P., Kangas, M., Kathena, J.N., Kavadas, S., Leslie, R.W., Lewis, S.G., Lundy, M., Makin, D., Martin, J., Mazor, T., Gonzalez-Mirelis, G., Newman, S.J., Papadopoulou, N., Posen, P.E., Rochester, W., Russo, T., Sala, A., Semmens, J.M., Silva, C., Tsohos, A., Vanelslander, B., Wakefield, C.B., Wood, B.A., Hilborn, R., Kaiser, M.J. & Jennings, S. 2018. Bottom

- trawl fishing footprints on the world's continental shelves, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **115**, (43): E10275-E10282.
- Andrew, N.L., Béné, C., Hall, S.J., Allison, E.H., Heck, S. & Ratner, B.D. 2007. Diagnosis and management of small-scale fisheries in developing countries, *Fish and Fisheries*, **8**, (3): 227-240.
- Atluri, G., Karpatne, A. & Kumar, V. 2017. Spatio-Temporal Data Mining: A Survey of Problems and Methods, *ACM computing surveys*, **1**, (1): 1-37.
- Ayissi, I. & Jiofack, TJE. 2014. Impact Assessment on By-catch Artisanal Fisheries: Sea Turtles and Mammals in Cameroon, West Africa, *Fisheries and Aquaculture Journal*, **05**, (99): 5.
- Ba, A., Chaboud, C., Schmidt, J., Diouf, M., Fall, M., Dème, M. & Brehmer, P. 2019. The potential impact of marine protected areas on the Senegalese sardinella fishery, *Ocean & Coastal Management*, **169**: 239-246.
- Babcock, E.A., Pikitch, E.K., McAllister, M.K., Apostolaki, P. & Santora, C. 2005. A perspective on the use of spatialized indicators for ecosystem-based fishery management through spatial zoning, *ICES Journal of Marine Science*, **62**: 469-476.
- BAD. 2016. *Gabon - Rapport combiné du document de stratégie pays (DSP) 2016-2020 et de revue de la performance du portefeuille (RPPP)* (Département ORCE) Banque Africaine de Développement, 54 p.
- Badjina Egombengani, L.J. 2011. Dynamique des changements dans l'activité de la pêche au Gabon de 1900 à nos jours Thèse de Doctorat - Ethnologie, Université Bordeaux 2, 425 p.
- Baker, M.S., Scianca, M.B. & Halls, J.N. 2016. Potential for a simple GPS-based binary logit model to predict fishing effort in a vertical hook-and-line reef fish fishery, *Marine and Coastal Fisheries*, **8**: 118-131.
- Barrett, K. & Houston, J.E. 2014. Gabon: A Guide to Improving the Coastal and Inland Fishery Industries, *Journal of Food Distribution Research* <<https://ageconsearch.umn.edu/record/164546>>. Page consultée le 23 septembre 2019.
- Bastardie, F., Nielsen, J.R., Andersen, B.S. & Eigaard, O.R. 2010. Effects of fishing effort allocation scenarios on energy efficiency and profitability: An individual-based model applied to Danish fisheries, *Fisheries Research*, **106**: 501-516.
- Begossi, A. 2006. Temporal stability in fishing spots: Conservation and co-management in Brazilian artisanal coastal fisheries, *Ecology and Society*, **11**, (1): 5.
- Belhabib, D. 2015. Gabon fisheries between 1950-2010: a catch reconstruction, in *Fisheries catch reconstructions: West Africa, Part II*. Fisheries Centre Research Reports. Fisheries Centre, University of British Columbia: 85-94.
- Belhabib, D., Greer, K. & Pauly, D. 2018. Trends in Industrial and Artisanal Catch Per Effort in West African Fisheries, *Conservation Letters*, **11**, (1): 1-10.

- Bender, M.G., Machado, G.R., Silva, P.J. de A., Floeter, S.R., Monteiro-Netto, C., Luiz, O.J. & Ferreira, C.E.L. 2014. Local Ecological Knowledge and Scientific Data Reveal Overexploitation by Multigear Artisanal Fisheries in the Southwestern Atlantic, Konstantinos I. Stergiou (dir.), *PLoS ONE*, **9**, (10): e110332.
- Béné, C. 2006. *Small-Scale Fisheries: Assessing Their Contribution To Rural Livelihoods in Developing Countries* (FAO Fisheries Circular No. 1008) Rome, FAO, 46 p.
- Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R., Pinstrip-Andersen, P., Merino, G., Hemre, G.-I. & Williams, M. 2015. Feeding 9 billion by 2050 – Putting fish back on the menu, *Food Security*, **7**, (2): 261-274.
- Béné, C. & Heck, S. 2005. Fish and Food Security in Africa, *NAGA, WorldFish Center Quarterly*, **28**, (3): 8-13.
- Benhamou, S. 2004. How to reliably estimate the tortuosity of an animal's path: straightness, sinuosity, or fractal dimension?, *Journal of Theoretical Biology*, **229**: 209-220.
- Bertrand, S., Burgos, J.M., Gerlotto, F. & Atiquipa, J. 2005. Lévy trajectories of Peruvian purse-seiners as an indicator of the spatial distribution of anchovy (*Engraulis ringens*), *ICES Journal of Marine Science*, **62**: 477-482.
- Bertrand, S., Díaz, E. & Lengaigne, M. 2008. Patterns in the spatial distribution of Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) revealed by spatially explicit fishing data, *Progress in Oceanography*, **79**: 379-389.
- Bertrand, S., Joo Arakawa, R. de A. & Fablet, R. 2015. Generalized Pareto for pattern-oriented random walk modelling of organisms' movements, *PLoS ONE*, **10**, (7): e0132231.
- Bignoumba, G. 1998. La pêche atlantique et les États de l'Afrique de l'Ouest, le cas du Gabon, *Norois*, (180): 685-701.
- Bignoumba, G. 2007. Coopération internationale et exploitation des ressources halieutiques au Gabon, *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 393-405.
- Bignoumba, G. 2011. Le concept de périphérie appliqué à l'activité halieutique : impact sur l'aménagement des pêcheries maritimes artisanales au Gabon, *Geo-Eco-Trop*, **35**: 33-40.
- Biseau, A. & Gondeaux, E. 1988. Apport des méthodes d'ordination en typologie des flottilles, *ICES Journal of Marine Science*, **44**, (3): 286-296.
- Bishop, C.M. 1995. *Neural Networks for Pattern Recognition* (Carendon Press). Oxford, UK:498.
- Black, A.J. & McKane, A.J. 2012. Stochastic formulation of ecological models and their applications, *Trends in Ecology & Evolution*, **27**, (6): 337-345.
- Boerder, K. 2018. Tracking global fisheries from space: patterns, problems, and protected areas PhD Thesis, Dalhousie University, 210 p.

- Boonstra, W.J. & Hentati-Sundberg, J. 2014. Classifying fishers' behaviour. An invitation to fishing styles, *Fish and Fisheries*, **17**, (1): 78-100.
- Bordalo-Machado, P. 2006. Fishing Effort Analysis and Its Potential to Evaluate Stock Size, *Reviews in Fisheries Science*, **14**: 369-393.
- Boser, B.E., Guyon, I.M. & Vapnik, V.N. 1992. A training algorithm for optimal margin classifiers, *Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory - COLT '92*. Pittsburgh, Pennsylvania, United States, ACM Press: 144-152.
- Bouju, S. 1999. La pêche artisanale : histoire, structure, fonctionnement et dynamique : 1. Autochtones, migrants et technotopes ou l'appropriation des espaces sociaux de production, dans Pierre Chavance & Abdoulaye Diallo (dir.). *dans La pêche côtière en Guinée – Ressources et Exploitation*. Paris: 211-231.
- Bourdaud, P. 2017. Impact of a landing obligation on coupled dynamics ecosystem-fishers: individual-based modelling approach applied to Eastern English Channel Thèse de Doctorat - Géosciences, Ecologie, Paléontologie, Océanographie, Université du Littoral Côte d'Opale, 292 p.
- Branch, T.A., Hilborn, R., Haynie, A.C., Fay, G., Flynn, L., Griffiths, J., Marshall, K.N., Randall, J.K., Scheuerell, J.M., Ward, E.J. & Young, M. 2006. Fleet dynamics and fishermen behavior: lessons for fisheries managers, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **63**: 1647-1668.
- Breen, P., Vanstaen, K. & Clark, R.W.E. 2014. Mapping inshore fishing activity using aerial, land, and vessel-based sighting information, *ICES Journal of Marine Science*, **72**: 467-479.
- Breiman, L. 2001. Random forests, *Machine Learning*, **45**: 5-32.
- Budker, P. & Collignon, J. 1952. Trois campagnes baleinières au Gabon (1949 - 1950 - 1951), *Bulletin Institut d'études africaines (ORSTOM)*, **3**: 31.
- Bundy, A., Chuenpagdee, R., Jentoft, S. & Mahon, R. 2008. If science is not the answer, what is? An alternative governance model for the world's fisheries, *Frontiers in Ecology and the Environment*, **6**, (3): 152-155.
- Burgman, M.A. & Fox, J.C. 2003. Bias in species range estimates from minimum convex polygons: implications for conservation and options for improved planning, *Animal Conservation*, **6**: 19-28.
- Burt, W.H. 1943. Territoriality and Home Range Concepts as Applied to Mammals, *Journal of Mammalogy*, **24**, (3): 346-352.
- Buxton, C.D., Hartmann, K., Kearney, R. & Gardner, C. 2014. When Is Spillover from Marine Reserves Likely to Benefit Fisheries?, *PloS ONE*, **9**, (9): e107032.
- Calenge, C. 2011. Analysis of animal movements in R: the adehabitatLT package. R foundation for Statistical Computing, Vienna, 82.

- Cambiè, G., Pantin, J.R., Lincoln, H., Hiddink, J.G., Lambert, G.T. & Kaiser, M.J. 2017. Diversity of fishing métier use can affect incomes and costs in small-scale fisheries, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **74**, (12): 2144-2152.
- Camerer, C.F. & Johnson, E.J. 1997. The proces-performance paradox in expert judgment: How can experts know so much and predict so badly?, in *Research on Judgment and Decision Making: Currents, Connections, and Controversies*. Cambridge series on judgment and decision making. Cambridge University Press: 750.
- Campbell, M.S., Stehfest, K.M., Votier, S.C. & Hall-Spencer, J.M. 2014. Mapping fisheries for marine spatial planning: Gear-specific vessel monitoring system (VMS), marine conservation and offshore renewable energy, *Marine Policy*, **45**: 293-300.
- Campbell, R.A. 2004. CPUE standardisation and the construction of indices of stock abundance in a spatially varying fishery using general linear models, *Fisheries Research*, **70**: 209-227.
- Cardiec, F., Bertrand, S., Witt, M.J., Metcalfe, K., Godley, B.J., McClellan, C., Vilela, R., Parnell, R.J. & le Loc'h, F. 2020. « Too Big To Ignore »: A feasibility analysis of detecting fishing events in Gabonese small-scale fisheries, Ismael Aaron Kimirei (dir.), *PLOS ONE*, **15**, (6): e0234091.
- Cardona, L. 2015. Food and Feeding of Mugilidae, dans Donatella Crosetti & Stephen J. M. Blaber (dir.). *Biology, Ecology and Culture of Grey Mulletts (Mugilidae)*. 165-195.
- Carson, S., Shackell, N. & Mills Flemming, J. 2017. Local overfishing may be avoided by examining parameters of a spatio-temporal model, *PLoS ONE*, **12**, (9): e0184427.
- Carvalho, N., Edwards-Jones, G. & Isidro, E. 2011. Defining scale in fisheries: Small versus large-scale fishing operations in the Azores, *Fisheries Research*, **109**, (2-3): 360-369.
- Charles, C., Gillis, D. & Wade, E. 2014. Using hidden Markov models to infer vessel activities in the snow crab (*Chionoecetes opilio*) fixed gear fishery and their application to catch standardization, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **71**: 1817-1829.
- Chauveau, J.-P. 1986. Une histoire maritime africaine possible ? Historiographie et histoire de la navigation et de la pêche africaines à la côte occidentale depuis le XVe siècle, *Cahiers d'études africaines*, **26**, (101/102): 173-235.
- Chauveau, J.-P. 1991a. *Géographie historique des migrations de pêche dans la zone du Copace (fin XIXè siècle - années 1980)* (Migration des pêcheurs en Afrique de l'ouest No. 317579-623) FAO/DANIDA/NORWAY. FAO library, 13-28 p.
- Chauveau, J.-P. 1991b. Les variations spatiales et temporelles de l'environnement socio-économique et l'évolution de la pêche maritime artisanale sur les côtes ouest-africaines. Essai d'analyse en longue période XVème-XXème siècle, dans *Pêcheries ouest-africaines : variabilité, instabilité et changement*. Paris : ORSTOM, IRD Editions: 14-25.
- Chavance, P., Damiano, A., Diallo, A. & Domain, F. 1999. La pêche artisanale : histoire, structure, fonctionnement et dynamique 6. Caractéristiques des lieux de

- débarquements et physionomie de la pêche, dans Pierre Chavance & Abdouaye Diallo (dir.). *La pêche côtière en Guinée – Ressources et Exploitation*. Paris: 313-326.
- Cheung, W.W.L., Jones, M.C., Reygondeau, G., Stock, C.A., Lam, V.W.Y. & Frölicher, T.L. 2016. Structural uncertainty in projecting global fisheries catches under climate change, *Ecological Modelling*, **325**: 57-66.
- Chollett, I., Box, S.J. & Mumby, P.J. 2015. Quantifying the squeezing or stretching of fisheries as they adapt to displacement by marine reserves, *Conservation Biology*, **30**, (1): 166-175.
- Chuenpagdee, R. 2012. Global partnership for small-scale fisheries research: Too big to ignore, *SPC Traditional Marine Resource Management and Knowledge Information Bulletin*, (29): 22-25.
- Chuenpagdee, R., Liguori, L., Palomares, M.L.D. & Pauly, D. 2006. Bottom-Up, Global Estimates of Small-Scale Marine Fisheries Catches, *Fisheries Centre Research Reports*, **14**, (8): 112.
- Coastal Resources Center. 2006. *Fisheries Opportunities Assessment* University of Rhode Island, and Florida International University, 104 p.
- Cochrane, K.L. & Garcia, S. 2009. *A Fishery manager's Guidebook* (2nd ed). Wiley-Blackwell & FAO:518.
- Codling, E.A., Plank, M.J. & Benhamou, S. 2008. Random walk models in biology, *Journal of The Royal Society Interface*, **5**: 813-834.
- COFREPECHE. 2010. *Revue socio-économique et environnementale du secteur de la pêche industrielle au Gabon Rapport définitif* Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture (DGPA), Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage, de la Pêche et du Développement Rural, République Gabonaise, 64 p.
- COFREPECHE. 2011. *Évaluation des Stocks, Gestion des Ressources Halieutiques et Mise en place d'un Observatoire des Pêches – ESOP* Libreville, Gabon, Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture (DGPA), Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage, de la Pêche et du Développement Rural, République Gabonaise, 160 p.
- COFREPECHE, MRAG, NFDS, & POSEIDON. 2015. *Évaluation rétrospective et prospective du protocole de l'accord de partenariat dans le secteur de la pêche entre l'Union européenne et la République gabonaise* (No. Lot 3, contrat spécifique n° 14) Bruxelles. Contrat cadre MARE/2011/01, 162 p.
- Collins, T., Boumba, R., Thonio, J., Parnell, R.J., VanLeeuwe, H. & Nguesso, S. 2009. The Atlantic humpback dolphin (*Sousa teuszii*) in Gabon and Congo: cause for optimism or concern?, *Paper SC/62/SM9 presented to the International Whaling Commission Scientific Committee, Agadir, Morocco*. New York, USA, WCS: 19.
- Comité National Français des Sciences Hydrologiques, Commission de terminologie. 2003. Dictionnaire français d'hydrologie <<https://hydrologie.org/glu/FRDIC/DICECONT.HTM>>. Page consultée le 27 août 2020.

- Coro, G., Fortunati, L. & Pagano, P. 2013. Deriving fishing monthly effort and caught species from vessel trajectories, *The Challenges of the Northern Dimension*. Bergen, Norvège: 1-5.
- De Bruyne, G. 2013. *Guide d'identification des ressources halieutiques marines présentes dans les eaux Gabonaises* Wildlife Conservation Society - Gabon Program, 40 p.
- De Souza, E.N., Boerder, K., Matwin, S. & Worm, B. 2016. Improving fishing pattern detection from satellite AIS using data mining and machine learning, *PLoS ONE*, **11**, (7): e0158248.
- Deng, H. & Wickham, H. 2011. Density estimation in R, *Electronic publication*.
- Deng, R., Dichmont, C., Milton, D., Haywood, M., Vance, D., Hall, N. & Die, D. 2005. Can vessel monitoring system data also be used to study trawling intensity and population depletion? The example of Australia's northern prawn fishery, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **62**: 611-622.
- Deporte, N., Ulrich, C., Mahevas, S., Demaneche, S. & Bastardie, F. 2012. Regional métier definition: a comparative investigation of statistical methods using a workflow applied to international otter trawl fisheries in the North Sea, *ICES Journal of Marine Science*, **69**, (2): 331-342.
- DGPA. 2009. *Rapport enquête cadre dans les pêcheries artisanales maritimes et continentales gabonaises* Gabon, Ministère de l'Economie Forestière, des Eaux, de la Pêche et de l'Aquaculture, 30 p.
- DGPA. 2015. *Rapport d'analyse statistique 2014* Gabon, Ministère de la Pêche et de l'Elevage - Direction Générale de la Pêche et de l'Aquaculture, 51 p.
- DGPA. 2016. *Plan stratégique pour le développement durable de la pêche et de l'aquaculture. Potentialités-contraintes-politique sectorielle et programme prioritaire quinquennal 2011-2016* Gabon, Ministère de l'Agriculture de l'Elevage, de la Pêche et du Développement Rural - Direction Générale de la Pêche et de l'Aquaculture, 79 p.
- Dicken, M., Smale, M. & Booth, A. 2006. Shark fishing effort and catch of the ragged-tooth shark *Carcharias taurus* in the South African competitive shore-angling fishery, *African Journal of Marine Science*, **28**, (3 & 4): 589-601.
- Dudley, N. 2008. *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories* (Consejería de Medio Ambiente, IUCN World Commission on Protected Areas, Fundación Biodiversidad, IUCN--The World Conservation Union). Andalusia (Spain), IUCN:106.
- Dunn, D.C., Stewart, K., Bjorkland, R.H., Haughton, M., Singh-Renton, S., Lewison, R., Thorne, L. & Halpin, P.N. 2010. A regional analysis of coastal and domestic fishing effort in the wider Caribbean, *Fisheries Research*, **102**: 60-68.
- Eastwood, P.D., Mills, C.M., Aldridge, J.N., Houghton, C.A. & Rogers, S.I. 2007. Human activities in UK offshore waters: An assessment of direct, physical pressure on the seabed, *ICES Journal of Marine Science*, **64**: 453-463.

- Ecoutin, J.M. 1991. Dynamique des flotilles en pêche artisanale. L'exemple des sennes tournantes de Côte d'Ivoire Thèse de Doctorat, Université de Montpellier 2, 214 p.
- Edgar, G.J., Stuart-Smith, R.D., Willis, T.J., Kininmonth, S., Baker, S.C., Banks, S., Barrett, N.S., Becerro, M.A., Bernard, A.T.F., Berkhout, J., Buxton, C.D., Campbell, S.J., Cooper, A.T., Davey, M., Edgar, S.C., Försterra, G., Galván, D.E., Irigoyen, A.J., Kushner, D.J., Moura, R., Parnell, P.E., Shears, N.T., Soler, G., Strain, E.M.A. & Thomson, R.J. 2014. Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features, *Nature*, **506**, (7487): 216-220.
- Edou, M. 2012. Dynamique d'un espace halieutique : le débarcadère de Bambouchine, *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 211-228.
- Ekouala, L. 2013. Le développement durable et le secteur des pêches et de l'aquaculture au Gabon : une étude de la gestion durable des ressources halieutiques et leur écosystème dans les provinces de l'Estuaire et de l'Ogooué Maritime Thèse de Doctorat - Histoire, Université du Littoral Côte d'Opale, 409 p.
- El Ayoubi, H. & Failler, P. 2013. *Industrie des pêches et de l'aquaculture au Gabon* Rapport n°4 de la revue de l'industrie des pêches et de l'aquaculture dans la zone de la COMHAFAT, COMHAFAT - ATLAFCO, 72 p.
- FAO. 1995. *Code de conduite pour une pêche responsable*. Rome:46.
- FAO. 1997. *Fisheries Management* (No. 4) FAO. Technical Guidelines for Responsible Fisheries, 91 p.
- FAO. 2015. *Directives volontaires visant à assurer la durabilité de la pêche artisanale dans le contexte de la sécurité alimentaire et de l'éradication de la pauvreté*. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture:39.
- FAO. 2018. *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2018. Atteindre les objectifs de développement durable*. Rome, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 261 p.
- FAO. 2020a. Collections statistiques de la pêche
<<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/fr>>. Page consultée le 27 août 2020.
- FAO. 2020b. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020* Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 247 p.
- Fauchald, P. & Tveraa, T. 2003. Using First-Passage Time in the Analysis of Area-Restricted Abd Habitat Selection, *Ecology*, **84**, (2): 282-288.
- Fauconnet, L., Trenkel, V.M., Morandeau, G., Caill-Milly, N. & Rochet, M.-J. 2015. Characterizing catches taken by different gears as a step towards evaluating fishing pressure on fish communities, *Fisheries Research*, **164**: 238-248.
- Fieberg, J. & Börger, L. 2012. Could you please phrase « home range » as a question?, *Journal of Mammalogy*, **93**, (4): 890-902.

- Fock, H.O. 2008. Fisheries in the context of marine spatial planning: Defining principal areas for fisheries in the German EEZ, *Marine Policy*, **32**: 728-739.
- Fonteneau, A. & Marcille, J. 1988. *Ressources, pêche et biologie des thonides tropicaux de l'Atlantique centre-est* (No. 292) FAO. Document technique sur les pêches, 408 p.
- Forcada, A., Bayle-Sempere, J.T., Valle, C. & Sánchez-Jerez, P. 2008. Habitat continuity effects on gradients of fish biomass across marine protected area boundaries, *Marine Environmental Research*, **66**, (5): 536-547.
- Forcada, A., Valle, C., Sánchez-Lizaso, J.L., Bayle-Sempere, J.T. & Corsi, F. 2010. Structure and spatio-temporal dynamics of artisanal fisheries around a Mediterranean marine protected area, *ICES Journal of Marine Science*, **67**, (2): 191-203.
- Frangoudes, K., Gerrard, S. & Kleiber, D. 2019. Situated transformations of women and gender relations in small-scale fisheries and communities in a globalized world, *Maritime Studies*, **18**: 241-248.
- Franz, N., Smith, H. & Westlund, L. 2019. *Towards the implementation of the SSF Guidelines in West and Central Africa* (No. 62) Rome, FAO. FAO Fisheries and Aquaculture Proceeding, 86 p.
- Friedlander, A.M., Ballesteros, E., Fay, M. & Sala, E. 2014. Marine communities on oil platforms in Gabon, West Africa: High biodiversity oases in a low biodiversity environment, *PLoS ONE*, **9**, (8): e103709.
- Fu, T. 2011. A review on time series data mining, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **24**: 164-181.
- Fulton, E.A., Smith, A.D.M., Smith, D.C. & van Putten, I.E. 2011. Human behaviour: the key source of uncertainty in fisheries management: Human behaviour and fisheries management, *Fish and Fisheries*, **12**, (1): 2-17.
- Gaines, S.D., White, C., Carr, M.H. & Palumbi, S.R. 2010. Designing marine reserve networks for both conservation and fisheries management, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **107**, (43): 18286-18293.
- Garcia, S.M., Allison, E.H., Andrew, N., Béné, C., Bianchi, G., De Graaf, G., Kalikoski, D., Mahon, R. & Orensanz, L. 2008. *Towards integrated assessment and advice in small-scale fisheries: principles and processes* (No. 515) Rome, FAO. Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 101 p.
- Garcia, S.M., Gascuel, D., Henichart, L.M., Boncoeur, J., Alban, F. & Monbrison, D.D. 2013. *Les aires marines protégées dans la gestion des pêches. Synthèse de l'état de l'art*. Commission sous-régionale des pêches, 89 p.
- Gascuel, D. 1993. Efforts et puissances de pêche : redéfinition des concepts et exemple d'application, *Session 2 : Relations efforts, Mortalités, Captures. Premier Forum Halieutique*. Rennes: 23.
- Gascuel, D. 2009. Exploitation des ressources marines : quand la crise écologique compromet l'alimentation des pays du Sud, *Pour*, **202-203**, (3): 49-56.

- Gascuel, D. 2019. *Pour une révolution dans la mer de la surpêche à la résilience*. Actes Sud:544.
- Gbaguidi, A. & Verstralen, K. 1998. *Guide méthodologique pour les enquêtes-cadre et les études socio-économiques dans les pêches artisanales en Afrique d'Ouest* (Programme du DIPA No. 130) Cotonou, FAO. Rapport technique, 53 p.
- GEBCO. 2009. General Bathymetric Chart of the Oceans Gridded Bathymetry Data (GEBCO_08 Grid).
- Gelchu, A. & Pauly, D. 2007. *Growth and distribution of port-based global fishing effort within countries' EEZs from 1970 to 1995* (No. 15(4)) Fisheries Centre, University of British Columbia. Fisheries Centre Research Reports, 103 p.
- Gell, F.R. & Roberts, C.M. 2003. Benefits beyond boundaries: the fishery effects of marine reserves, *Trends in Ecology & Evolution*, **18**, (9): 448-455.
- Gerritsen, H. & Lordan, C. 2011. Integrating vessel monitoring systems (VMS) data with daily catch data from logbooks to explore the spatial distribution of catch and effort at high resolution, *ICES Journal of Marine Science*, **68**, (1): 245-252.
- Getz, W.M. & Wilmers, C.C. 2004. A local nearest-neighbor convex-hull construction of home ranges and utilization distributions, *Ecography*, **27**, (4): 489-505.
- Gill, D.A., Oxenford, H.A., Turner, R.A. & Schuhmann, P.W. 2019. Making the most of data-poor fisheries: Low cost mapping of small island fisheries to inform policy, *Marine Policy*, **101**: 198-207.
- Girard, A., Louvinguila, H.D., Breheret, N., Monsinjon, J., Charra, M., Protat, E., Roche, H., Ngokaka, C. & Girondot, M. 2014. Les engins et techniques de pêche utilisés dans la baie de Loango, République du Congo, et leurs incidences sur les prises accessoires, *Cybium*, **38**, (2): 117-131.
- Girardin, R., Hamon, K.G., Pinnegar, J., Poos, J.J., Thébaud, O., Tidd, A., Vermard, Y. & Marchal, P. 2017. Thirty years of fleet dynamics modelling using discrete-choice models: What have we learned?, *Fish and Fisheries*, **18**, (4): 638-655.
- Gloaguen, P. 2015. Modélisation mécaniste et stochastique des trajectoires pour l'halieutique Thèse de Doctorat - Ecologie, Université Européenne de Bretagne, 202 p.
- Gloaguen, P., Mahévas, S., Rivot, E., Woillez, M., Guitton, J., Vermard, Y. & Etienne, M.P. 2015. An autoregressive model to describe fishing vessel movement and activity, *Environmentrics*, **26**, (1): 17-28.
- Gloaguen, P., Woillez, M., Mahévas, S., Vermard, Y. & Rivot, E. 2016. Is speed through water a better proxy for fishing activities than speed over ground?, *Aquatic Living Resources*, **29**, (2): 210.
- Goñi, R., Adlerstein, S., Alvarez-Berastegui, D., Forcada, A., Reñones, O., Criquet, G., Polti, S., Cadiou, G., Valle, C., Lenfant, P., Bonhomme, P., Pérez-Ruzafa, A., Sánchez-Lizaso, J.L., García-Charton, J.A., Bernard, G., Stelzenmüller, V. & Planes, S. 2008.

- Spillover from six western Mediterranean marine protected areas: evidence from artisanal fisheries, *Marine Ecology Progress Series*, **366**: 159-174.
- Gonzales, A. 2008. Small Boats, Big Problems, *WWF-World Wide Fund For Nature*, 1-8.
- Gonzalez-Mirelis, G., Lindegarth, M. & Sko, M. 2014. Using Vessel Monitoring System Data to Improve Systematic Conservation Planning of a Multiple-Use Marine Protected Area , the Kosterhavet National Park (Sweden), *AMBIO*, **43**: 162-174.
- Good, N., Peel, D., Tanimoto, M., Officer, R. & Gribble, N. 2007. *Innovative stock assessment and effort mapping using VMS and electronic logbooks* Brisbane, Dept. of Primary Industries and Fisheries. Final report on FRDC project 2002/056, 182 p.
- Grazia Pennino, M., Thomé-Souza, M.J.F., Carvalho, A.R., Carlos da Silveira Fontes, L., Parente, C. & Lopes, P.F.M. 2016. A spatial multivariate approach to understand what controls species catch composition in small-scale fisheries, *Fisheries Research*, **175**: 132-141.
- Grech, A. & Coles, R. 2011. Interactions between a trawl fishery and spatial closures for biodiversity conservation in the Great Barrier reef World Heritage Area, Australia, *PLoS ONE*, **6**, (6): e21094.
- Greenstreet, S.P.R., Holland, G.J., Fraser, T.W.K. & Allen, V.J. 2009. Modelling demersal fishing effort based on landings and days absence from port, to generate indicators of « activity », *ICES Journal of Marine Science*, **66**, (5): 886-901.
- Guillot, G., Benoit, P., Kinalis, S., Bastardie, F. & Bartolino, V. 2017. Enhancing and comparing methods for the detection of fishing activity from Vessel Monitoring System data, *arXiv*, **arXiv-1708**.
- Guyader, O., Berthou, P., Koutsikopoulos, C., Alban, F., Demanèche, S., Gaspar, M.B., Eschbaum, R., Fahy, E., Tully, O., Reynal, L., Curtil, O., Frangoudes, K. & Maynou, F. 2013. Small scale fisheries in Europe: A comparative analysis based on a selection of case studies, *Fisheries Research*, **140**: 1-13.
- Haakonsen, J.M. & Diaw, C.M. 1991. *Migration des pêcheurs en Afrique de l'Ouest* (Programme de Développement Intégré des Pêches Artisanales en Afrique de l'Ouest - DIPA No. DIPA/WP/36) FAO/DANIDA/NORWAY, 347 p.
- Hall, M.A. 1996. On bycatches, *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **6**: 319-352.
- Halpern, B.S., Gaines, S.D. & Warner, R.R. 2004. Confounding effects of the export of production and the displacement of fishing effort from marine reserves, *Ecological Applications*, **14**, (4): 1248-1256.
- Harrington, J.J., Semmens, J.M. & Haddon, M. 2007. Spatial distribution of commercial dredge fishing effort: Application to survey design and the spatial management of a patchily distributed benthic bivalve species, *Marine and Freshwater Research*, **58**: 756-764.

- Heerah, K., Woillez, M., Fablet, R., Garren, F., Martin, S. & Pontual, H. 2017. Coupling spectral analysis and hidden Markov models for the segmentation of behavioural patterns, *Movement Ecology*, **5**, (1): 1-15.
- Hilborn, R. 1985. Fleet Dynamics and Individual Variation: Why Some People Catch More Fish than Others, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **42**, (1): 2-13.
- Hilborn, R., Amoroso, R.O., Anderson, C.M., Baum, J.K., Branch, T.A., Costello, C., de Moor, C.L., Faraj, A., Hively, D., Jensen, O.P., Kurota, H., Little, L.R., Mace, P., McClanahan, T., Melnychuk, M.C., Minto, C., Osio, G.C., Parma, A.M., Pons, M., Segurado, S., Szuwalski, C.S., Wilson, J.R. & Ye, Y. 2020. Effective fisheries management instrumental in improving fish stock status, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **117**, (4): 2218-2224.
- Hilborn, R. & Walters, C.J. 1987. A General Model for Simulation of Stock and Fleet Dynamics in Spatially Heterogeneous Fisheries, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **44**: 1366-1369.
- Hilborn, R. & Walters, C.J. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment. Choice, Dynamics & Uncertainty*. Boston, MA, Springer US:575.
- Hu, B. 2016. *Identifying fishing activities from AIS data with conditional random fields* Dalhousie University. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Computer Science, 81 p.
- Hu, Y., Shang, H., Tong, H., Nehlich, O., Liu, W., Zhao, C., Yu, J., Wang, C., Trinkaus, E. & Richards, M.P. 2009. Stable isotope dietary analysis of the Tianyuan 1 early modern human, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, **106**, (27): 10971-10974.
- IPBES. 2019. *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors)) Bonn, Germany, IPBES secretariat.
- Jalali, M.A., Ierodiaconou, D., Gorfine, H., Monk, J. & Rattray, A. 2015. Exploring Spatiotemporal Trends in Commercial Fishing Effort of an Abalone Fishing Zone: A GIS-Based Hotspot Model, *PLoS ONE*, **10**, (5): e0122995.
- James, M., Mendo, T., Jones, E.L., Orr, K., McKnight, A. & Thompson, J. 2018. AIS data to inform small scale fisheries management and marine spatial planning, *Marine Policy*, **91**: 113-121.
- Jennings, S. & Lee, J. 2012. Defining fishing grounds with vessel monitoring system data, *ICES Journal of Marine Science*, **69**: 51-63.
- Jiang, X., Silver, D.L., Hu, B., de Souza, E.N. & Matwin, S. 2016. Fishing Activity Detection from AIS Data Using Autoencoders, dans Richard Khoury & Christopher Drummond (dir.). *Advances in Artificial Intelligence. Canadian Conference on Artificial Intelligence*. Springer, Cham: 33-39.

- Johnson, A.F., Moreno-Baez, M., Giron-Nava, A., Corominas, J., Erisman, B., Ezcurra, E. & Aburto-Oropeza, O. 2017. A spatial method to calculate small-scale fisheries effort in data poor scenarios, *PLoS ONE*, **12**, (4): e0174064.
- Johnson, D.S. 2006. Category, narrative, and value in the governance of small-scale fisheries, *Marine Policy*, **30**: 747-756.
- Jonsen, Ian.D., Basson, M., Bestley, S., Bravington, M.V., Patterson, T.A., Pedersen, M.W., Thomson, R., Thygesen, U.H. & Wotherspoon, S.J. 2013. State-space models for biologists: A methodological road map, *Deep-Sea Research Part II*, **88-89**: 34-46.
- Joo Arakawa, R. de A. 2013. A behavioral ecology of fishermen: hidden stories from trajectory data in the Northern Humboldt Current System Thèse de Doctorat - Ecosystèmes, Université de Montpellier 2, 308 p.
- Joo Arakawa, R. de A., Bertrand, S., Chaigneau, A. & Ñiquen, M. 2011. Optimization of an artificial neural network for identifying fishing set positions from VMS data: An example from the Peruvian anchovy purse seine fishery, *Ecological Modelling*, **222**: 1048-1059.
- Joo Arakawa, R. de A., Bertrand, S., Tam, J. & Fablet, R. 2013. Hidden Markov Models: The Best Models for Forager Movements?, *PLoS ONE*, **8**, (8): e71246.
- Joo Arakawa, R. de A., Salcedo, O., Gutierrez, M., Fablet, R. & Bertrand, S. 2015. Defining fishing spatial strategies from VMS data: Insights from the world's largest monospecific fishery, *Fisheries Research*, **164**: 223-230.
- Katara, I. & Silva, A. 2017. Mismatch between VMS data temporal resolution and fishing activity time scales, *Fisheries Research*, **188**: 1-5.
- Kavadas, S., Maina, I., Damalas, D., Dokos, I., Pantazi, M. & Vassilopoulou, V. 2015. Multi-Criteria Decision Analysis as a tool to extract fishing footprints and estimate fishing pressure: application to small scale coastal fisheries and implications for management in the context of the Maritime Spatial Planning Directive, *Mediterranean Marine Science*, **16**, (2): 294-304.
- Kébé, M., Njock, J.-C. & Gallène, J. 1993. *Revue sectorielle de la pêche artisanale maritime au Cameroun* (FAO library No. DIPA/WP/48) Programme pour le Développement Intégré des Pêches Artisanales en Afrique de l'Ouest (DIPA), 58 p.
- Kébé, M., Njock, J.-C. & Gallène, J. 1996. *Revue sectorielle de la pêche artisanale maritime au Gabon* (FAO library No. DIPA/WP/81) Programme pour le Développement Intégré des Pêches Artisanales en Afrique de l'Ouest (DIPA), 39 p.
- Kelleher, K., Westlund, L., Hoshino, E., Mills, D., Willmann, R., de Graaf, G. & Brummett, R. 2012. *Hidden harvest: The global contribution of capture fisheries*. Worldbank; WorldFish:69.
- Klein, R.G. 2002. Why anatomically modern people did not disperse from Africa 100,000 years ago, dans Takeru Akazawa, Kenichi Aoki, & Ofer Bar-Yosef (dir.). *Neandertals and modern humans in Western Asia*. Boston, MA, Springer: 509-521.

- Kleinbaum, D.G., Klein, M. & Pryor, E.R. 2002. *Logistic regression: a self-learning text* (Statistics for biology and health 2nd ed). New York, Springer:513.
- Kosović, I.N. & Fertilj, K. 2014. Discovering the Animal Movement Patterns using Hidden Markov Model, *International Journal of Computer and Information Technology*, **03**, (03): 508-514.
- Kroodsma, D.A., Mayorga, J., Hochberg, T., Miller, N.A., Boerder, K., Ferretti, F., Wilson, A., Bergman, B., White, T.D., Block, B.A., Woods, P., Sullivan, B., Costello, C. & Worm, B. 2018. Tracking the global footprint of fisheries, *Science*, **359**: 904-908.
- Kurien, J. 1996. Towards a New Agenda for Sustainable Small-Scale Fisheries Development, *South Indian Federation of Fishermen Societies (SISSF)*, 31.
- Kurien, J. 1998. Small-scale fisheries in the context of globalisation, *Ninth biennial conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade*. Tromsø, Norway: 47.
- Laloë, F., Bodiguel, C., Brenier, A., David, G., Chaboud, C., Charles-Dominique, E., Ferraris, J., Fréon, P., Leopold, M., Mahafina, J., Morand, P., Rey-Valette, H., Thiao, D. & Voisin, S. 2010. Small Scale Fisheries Analysis in A Sustainable Development Perspective, *International Institute of Fisheries Economics & Trade*. Montpellier, France: 13.
- Lanco Bertrand, S. 2005. Analyse comparée des dynamiques spatiales des poissons et des pêcheurs : mouvements et distributions dans la pêcherie d'anchois (*Engraulis ringens*) du Pérou Thèse de Doctorat - Halieutique, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, 204 p.
- Langrock, R., King, R., Matthiopoulos, J., Thomas, L., Fortin, D. & Morales, J.M. 2012. Flexible and practical modeling of animal telemetry data: hidden Markov models and extensions, *Ecology*, **93**, (11): 2336-2342.
- Lavielle, M. 1999. Detection of multiple changes in a sequence of dependent variables, *Stochastic Processes and their Applications*, **83**: 79-102.
- Lawrence, T.N. & Bhalla, R.S. 2018. Spatially explicit action research for coastal fisheries management, *PLOS ONE*, **13**, (7): e0199841.
- Le Fur, J. 1994. Dynamique du système pêche artisanale et intelligence artificielle : le projet MOPA, dans *L'évaluation des ressources exploitables par la pêche artisanale sénégalaise*. Coll. Colloques et séminaires. Barry-Gérard, M., Diouf, T. et Fonteneau, A.: 13405-417.
- Le Fur, J., Cury, P., Laloë, F., Durand, M. & Chaboud, C. 1999. Co-viabilité des systèmes halieutiques, *Nature, sciences, sociétés*, **7**, (2): 19-32.
- Le Goazigo, M. [en ligne]. Estuaires, *Encyclopaedia Universalis* <<https://www.universalis.fr/encyclopedie/estuaires/>>. Page consultée le 22 août 2018.

- Le Guyader, D., Ray, C., Gourmelon, F. & Brosset, D. 2017. Defining high-resolution dredge fishing grounds with Automatic Identification System (AIS) data, *Aquatic Living Resources*, **30**: 39.
- Lee, J., South, A.B. & Jennings, S. 2010. Developing reliable, repeatable, and accessible methods to provide high-resolution estimates of fishing-effort distributions from vessel monitoring system (VMS) data, *ICES Journal of Marine Science*, **67**: 1260-1271.
- Leleu, K. 2012. Suivi et évaluation de la pêche professionnelle au sein d'une Aire Marine Protégée : protocoles d'enquêtes et indicateurs de pression et d'impact. Application au Parc Marin de la Côte Bleue Thèse de Doctorat - Océanographie, Aix Marseille Université, 298 p.
- Lembe, A.-J. 2014. Pêches maritimes et développement durable dans les états côtiers d'Afrique centrale : des dysfonctionnements à l'exploitation durable des ressources halieutiques Thèse de doctorat - Géographie, Université de Nantes, 401 p.
- Léopold, M., Guillemot, N., Rocklin, D. & Chen, C. 2014. A framework for mapping small-scale coastal fisheries using fishers' knowledge, *ICES Journal of Marine Science*, **71**, (7): 1781-1792.
- Lima, M.S.P., Lins Oliveira, J.E., de Nobrega, M.F. & Lopes, P.F.M. 2017. The use of Local Ecological Knowledge as a complementary approach to understand the temporal and spatial patterns of fishery resources distribution, *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, **13**, (30): 1-12.
- Loungou, S. 2014. La destruction des villages de pêcheurs au sud de Libreville. Une opération entre impératif sécuritaire et spéculation foncière, *L'espace politique*, **22**, (1): 1-17.
- MacDonald, I.L. 2014. Numerical Maximisation of Likelihood: A Neglected Alternative to EM?, *International Statistical Review*, **82**, (2): 296-308.
- Maina, I., Kavadas, S., Damalas, D., Pantazi, M. & Katsanevakis, S. 2018. Dynamics of trawling effort in the Aegean Sea: investigating the potential of Vessel Monitoring System (VMS) data, *ICES Journal of Marine Science*, **75**, (6): 2265-2275.
- Mallol, S. & Goñi, R. 2019. Unintended changes of artisanal fisheries métiers upon implementation of an MPA, *Marine Policy*, **101**: 237-245.
- Marchal, P. 2008. A comparative analysis of métiers and catch profiles for some French demersal and pelagic fleets, *ICES Journal of Marine Science*, **65**, (4): 674-686.
- Marchal, P. 2011. Dynamique de la mortalité par pêche et impact sur la gestion des ressources halieutiques. Habilitation à Diriger les Recherches, Université Montpellier 2, 43 p.
- Marchal, P., Andersen, B., Bromley, D., Iriondo, A., Mahévas, S., Quirijns, F., Rackham, B., Santurtún, M., Tien, N. & Ulrich, C. 2006. Improving the definition of fishing effort for important European fleets by accounting for the skipper effect, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **63**, (3): 510-533.

- Marchal, P., Andersen, B., Caillart, B., Eigaard, O., Guyader, O., Hovgaard, H., Iriondo, A., Le Fur, F., Sacchi, J. & Santurtún, M. 2007. Impact of technological creep on fishing effort and fishing mortality, for a selection of European fleets, *ICES Journal of Marine Science*, **64**, (1): 192-209.
- Marzuki, M.I. 2017. VMS data analyses and modeling for the monitoring and surveillance of Indonesian fisheries Thèse de Doctorat - Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication, Université Bretagne Loire, 156 p.
- Marzuki, M.I., Garello, R., Fablet, R., Kerbaol, V. & Gaspar, P. 2015. Fishing gear recognition from VMS data to identify illegal fishing activities in Indonesia, *Oceans 2015 - Genova. IEEE*. 1-5.
- Mascia, M.B., Claus, C.A. & Naidoo, R. 2010. Impacts of Marine Protected Areas on Fishing Communities, *Conservation Biology*, **24**, (5): 1424-1429.
- Mazzarella, F., Vespe, M., Damalas, D. & Osio, G. 2014. Discovering Vessel Activities at Sea using AIS Data: Mapping of Fishing Footprints, *7th International conference on information fusion (FUSION)*. IEEE: 1-7.
- McClanahan, T., Allison, E.H. & Cinner, J.E. 2015. Managing fisheries for human and food security, *Fish and Fisheries*, **16**, (1): 78-103.
- McClanahan, T.R., Hicks, C.C. & Darling, E.S. 2008. Malthusian overfishing and efforts to overcome it on Kenyan coral reefs, *Ecological Applications*, **18**, (6): 1516-1529.
- McClanahan, T.R. & Mangi, S. 2000. Spillover of Exploitable Fishes from a Marine Park and Its Effect on the Adjacent Fishery, *Ecological Applications*, **10**, (6): 1792-1805.
- McClenachan, L., Ferretti, F. & Baum, J.K. 2012. From archives to conservation: why historical data are needed to set baselines for marine animals and ecosystems, *Conservation Letters*, **5**: 349-359.
- McCluskey, S.M. & Lewison, R.L. 2008. Quantifying fishing effort: a synthesis of current methods and their applications: Quantifying fishing effort: methods review, *Fish and Fisheries*, **9**: 188-200.
- Mendo, T., Smout, S., Photopoulou, T. & James, M. 2019. Identifying fishing grounds from vessel tracks: model-based inference for small scale fisheries, *Royal Society Open Science*, **6**: 191161.
- Mesnil, B. & Shepherd, J.G. 1990. A hybrid age- and length-structured model for assessing regulatory measures in multiple-species, multiple-fleet fisheries, *ICES Journal of Marine Science*, **47**, (2): 115-132.
- Metcalfe, K., Agamboué, P.D., Augowet, E., Boussamba, F., Cardiec, F., Fay, J.M., Formia, A., Kema Kema, J.R., Kouerey, C., Mabert, B.D.K., Maxwell, S.M., Minton, G., Mounquengui Mounquengui, G.A., Moussounda, C., Moukoumou, N., Manfoumbi, J.C., Nguema, A.M., Nzegoue, J., Parnell, R.J., du Plessis, P., Sounguet, G.-P., Tilley, D., Verhage, S., Viljoen, W., White, L., Witt, M.J. & Godley, B.J. 2015. Going the extra mile: Ground-based monitoring of olive ridley turtles reveals Gabon hosts the largest rookery in the Atlantic, *Biological Conservation*, **190**: 14-22.

- Metcalfe, K., Collins, T., Abernethy, K.E., Boumba, R., Dengui, J.-C., Miyalou, R., Parnell, R.J., Plummer, K.E., Russell, D.J.F., Safou, G.K., Tilley, D., Turner, R.A., VanLeeuwe, H., Witt, M.J. & Godley, B.J. 2016. Addressing Uncertainty in Marine Resource Management; Combining Community Engagement and Tracking Technology to Characterise Human Behaviour, *Conservation Letters*, **10**, (4): 460-469.
- Michelot, T., Langrock, R. & Patterson, T. 2018. moveHMM An R package for the analysis of animal movement data, 1-22.
- Michelot, T., Langrock, R., Patterson, T., Mcclintock, B. & Rexstad, E. 2017. Package ‘moveHMM’, 34.
- Michelot, T., Langrock, R. & Patterson, T.A. 2016. moveHMM: An R package for the statistical modelling of animal movement data using hidden Markov models, *Methods in Ecology and Evolution*, 1308-1315.
- Miller, J.R., Turner, M.G., Smithwick, E.A.H., Dent, C.L. & Stanley, E.H. 2004. Spatial Extrapolation: The Science of Predicting Ecological Patterns and Processes, *BioScience*, **54**, (4): 310-320.
- Mills, C.M., Townsend, S.E., Jennings, S., Eastwood, P.D. & Houghton, C. a. 2007. Estimating high resolution trawl fishing effort from satellite-derived vessel monitoring system data, *ICES Journal of Marine Science*, **64**: 248-255.
- Mills, D.J., Westlund, L., Graaf, G. de, Kura, Y., Willman, R. & Kelleher, K. 2011. Under-reported and undervalued: small-scale fisheries in the developing world., *Small-scale fisheries management: frameworks and approaches for the developing world*, 1-15.
- Moore, S.A., Brown, G., Kobryn, H. & Strickland-Munro, J. 2017. Identifying conflict potential in a coastal and marine environment using participatory mapping, *Journal of Environmental Management*, **197**: 706-718.
- Morand, P., Sy, O.I. & Breuil, C. 2012. Fishing Livelihoods: Successful Diversification, or Sinking into Poverty?, dans Camilla Toulmin & Ben Wisner (dir.). *Towards a New Map of Africa*. 28.
- Moullec, F., Ben Rais Lasram, F.B.R., Coll, M., Guilhaumon, F., le Loc’h, F. & Shin, Y.-J. 2016. Sub-chapter 2.1.4. Climate change and fisheries, dans Jean-Paul Moatti & Stéphane Thiébaud (dir.). *The Mediterranean region under climate change : A scientific update*. Marseille, IRD Éditions: 249-261.
- Muallil, R.N., Cleland, D. & Aliño, P.M. 2013. Socioeconomic factors associated with fishing pressure in small-scale fisheries along the West Philippine Sea biogeographic region, *Ocean & Coastal Management*, **82**: 27-33.
- Muench, A., DePiper, G.S. & Demarest, C. 2018. On the precision of predicting fishing location using data from the vessel monitoring system (VMS), *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **75**, (7): 1036-1047.

- Murawski, S., Brown, R., Lai, H.-L., Rago, P. & Hendrickson, L. 2000. Large-scale closed areas as a fishery-management tool in temperate marine systems : The Georges Bank experience, *Bulletin of Marine Science*, **66**, (3): 775-798.
- Murawski, S.A., Wigley, S.E., Fogarty, M.J., Rago, P.J. & Mountain, D.G. 2005. Effort distribution and catch patterns adjacent to temperate MPAs, *ICES Journal of Marine Science*, **62**: 1150-1167.
- Nathan, R., Getz, W.M., Revilla, E., Holyoak, M., Kadmon, R., Saltz, D. & Smouse, P.E. 2008. A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **105**, (49): 19052-19059.
- National Research Council. 1988. *Fisheries Technologies for Developing Countries*. Washington, DC, The National Academies Press:177.
- Nations Unies. 1982. *Convention des Nations Unies sur le droit de la mer* (No. 31363) 176 p.
- Navarrete Forero, G., Miñarro, S., Mildenerger, T.K., Breckwoldt, A., Sudirman & Reuter, H. 2017. Participatory Boat Tracking Reveals Spatial Fishing Patterns in an Indonesian Artisanal Fishery, *Frontiers in Marine Science*, **4**, (409): 1-12.
- Ndour, I., Thiam, N., Fall, M. & Diadhio, H.D. 2016. Temporal dynamics of demersal fishing profiles of the artisanal fleet segment on the Petite Côte of Senegal, *International Journal of Advanced Research*, **4**, (6): 1408-1419.
- Nédélec, C. & Prado, J. 1990. *Définition et classification des catégories d'engins de pêche* (No. 222) FAO. Document technique sur les pêches, 111 p.
- Neis, B., Schneider, D.C., Felt, L., Haedrich, R.L., Fischer, J. & Hutchings, J.A. 1999. Fisheries assessment: what can be learned from interviewing resource users?, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **56**: 1949-1963.
- Njock, J.-C. & Westlund, L. 2010. Migration, resource management and global change: Experiences from fishing communities in West and Central Africa, *Marine Policy*, **34**: 752-760.
- Noel, J. & Le Sauce, D. 2014. Les pêches artisanales au cœur des systèmes halio-alimentaires durables, *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, **14**, (1).
- Nyinguema Ndong, L.C. 2015. Activités halieutiques et immigration clandestine dans le golfe de Guinée : le cas du Gabon Thèse de doctorat - Géographie, Université de Nantes, 440 p.
- O'Farrell, S., Sanchirico, J.N., Chollett, I., Cockrell, M., Murawski, S.A., Watson, J.T., Haynie, A., Strelcheck, A. & Perruso, L. 2017. Improving detection of short-duration fishing behaviour in vessel tracks by feature engineering of training data, *ICES Journal of Marine Science*, **74**, (5): 1428-1436.
- Ovono Edzang, N. 2006. *Les migrations des pêcheurs au Gabon, approches pour une intégration aux plans d'aménagement* Gabon, Programme pour des Moyens d'Existence Durables dans la Pêche (PMEDP), 35 p.

- Padilla, J.E. & Trinidad, A.C. 1995. An application of production theory to fishing effort standardization in the small-pelagics fishery in central Philippines, *Fisheries Research*, **22**: 137-153.
- Pages, J. 2004. Analyse factorielle de données mixtes, *Revue de Statistiques Appliquées*, **52**, (4): 93-111.
- Palmer, M.C. & Demarest, C. 2018. Getting to good enough: Performance of a suite of methods for spatially allocating fishing effort to management areas, *Fisheries Research*, **204**: 26-32.
- Palomares, M.-L.D. & Pauly, D. 2019. Coastal Fisheries: The Past, Present, and Possible Futures, dans Eric Wolanski, John Day, Mike Elliott, & Ramachandran Ramesh (dir.). *Coasts and Estuaries*. Elsevier: 569-576.
- Palsky, G. 2013. Cartographie participative, cartographie indisciplinée, *Information géographique*, **77**, (4): 10-25.
- Parent, R. 1980. Réflexions sur de présumés modes de pêche préhistoriques Le Coq Galleux et le Hazoy à Compiègne (Oise), *Cahiers archéologiques de Picardie*, **7**: 43-47.
- Pascual, M., Borja, A., Galparsoro, I., Ruiz, J., Mugerza, E., Quincoces, I., Murillas, A. & Arregi, L. 2013. Total fishing pressure produced by artisanal fisheries, from a Marine Spatial Planning perspective: A case study from the Basque Country (Bay of Biscay), *Fisheries Research*, **147**: 240-252.
- Patterson, T.A., Basson, M., Bravington, M.V. & Gunn, J.S. 2009. Classifying Movement Behaviour in Relation to Environmental Conditions Using Hidden Markov Models, *Journal of Animal Ecology*, **78**: 1113-1123.
- Patterson, T.A., Parton, A., Langrock, R., Blackwell, P.G., Thomas, L. & King, R. 2017. Statistical modelling of individual animal movement: an overview of key methods and a discussion of practical challenges, *AStA Advances in Statistical Analysis*, **101**, (4): 399-438.
- Pauly, D. 1997. Small-scale fisheries in the tropics: marginality, marginalization, and some implications for fisheries management, dans E.K. Pikitch, D.D. Huppert, & M.P. Sissenwine (dir.). *Global trends: Fisheries Management*. American Fisheries Society Symposium 20. Bethesda, Maryland: 40-49.
- Pauly, D. & Zeller, D. 2016. Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining, *Nature Communications*, **7**: 10244.
- Peel, D. & Good, N. 2011. A Hidden Markov Model Approach for Determining Vessel Activity from Vessel Monitoring System Data, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **68**: 1252-1264.
- Peet, R., Robbins, P. & Watts, M. dir. 2010. *Global Political Ecology*. Routledge:444.
- Pelagic Data Systems. 2020. Pelagic Data Systems website
<<http://www.pelagicdata.com/details#hardware>>. Page consultée le 15 mars 2020.

- Pelletier, D. & Ferraris, J. 2000. A multivariate approach for defining fishing tactics from commercial catch and effort data, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **57**, (1): 51-65.
- Pelletier, D., Mahevas, S., Poussin, B., Bayon, J., André, P. & Royer, J.-C. 2001. A Conceptual Model for Evaluating the Impact of Spatial Management Measures on the Dynamics of a Mixed Fishery, *International Symposium on Spatial processes and management of marine populations*. Anchorage, Alaska, G.H. Kruse, N. Bez, A. Booth, M.W. Dorn, S. Hills, R.N. Lipcius, D. Pelletier, C. Roy, S.J. Smith, and D. Witherell (eds.): 53-66.
- Pet-Soede, C., Van Densen, W.L.T., Hiddink, J.G., Kuyl, S. & Machiels, M.A.M. 2001. Can fishermen allocate their fishing effort in space and time on the basis of their catch rates? An example from Spermonde Archipelago, SW Sulawesi, Indonesia, *Fisheries Management and Ecology*, **8**: 15-36.
- Photopoulou, T. 2017. moveHMM demo, 1-13.
- Piet, G.J. & Quirijns, F.J. 2009. The importance of scale for fishing impact estimations, Bernard Sainte-Marie (dir.), *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **66**: 829-835.
- Piet, G.J., Quirijns, F.J., Robinson, L. & Greenstreet, S.P.R. 2007. Potential pressure indicators for fishing, and their data requirements, *ICES Journal of Marine Science*, **64**: 110-121.
- Pikitch, E.K., Santora, C., Babcock, E.A., Bakun, A., Bonfil, R., Conover, D.O., Dayton, P., Doukakis, P., Fluharty, D., Heneman, B., Houde, E.D., Link, J., Livingston, P.A., Mangel, M., McAllister, M.K., Pope, J. & Sainsbury, K.J. 2004. Ecosystem-based fishery management, *Science*, **305**: 346-347.
- PNUD. 2016. *Rapport sur le développement humain en Afrique 2016* New York, USA, 214 p.
- Pohle, J., Langrock, R., van Beest, F.M. & Schmidt, N.M. 2017. Selecting the Number of States in Hidden Markov Models: Pragmatic Solutions Illustrated Using Animal Movement, *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, **22**, (3): 270-293.
- Pottier, P., Mene Ovono, Z., Faure, F.E. & Bignoumba, G. 2016. *Les régions littorales du Gabon - Eléments de réflexion pour une planification stratégique du territoire* (LETG-Nantes Géolittomer&Éditions Raponda-Walker). :440.
- Powell, R.A. & Mitchell, M.S. 2012. What is a home range?, *Journal of Mammalogy*, **93**, (4): 948-958.
- Présidence de la République Gabonaise. 2015. *Plan Opérationnel Gabon Vert, horizon 2025. Donner à l'Emergence une trajectoire durable* Bureau de Coordination du Plan Stratégique Gabon Emergent, 204 p.
- Purcell, S.W. & Pomeroy, R.S. 2015. Driving small-scale fisheries in developing countries, *Frontiers in Marine Science*, **2**, (44): 1-7.

- R Core Team. 2018. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.
- Rabiner, L. 1989. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition, *Proceedings of the IEEE*, **77**, (2): 257-286.
- Ramírez-Monsalve, P., Raakjær, J., Nielsen, K.N., Santiago, J.L., Ballesteros, M., Laksá, U. & Degnbol, P. 2016. Ecosystem Approach to Fisheries Management (EAFM) in the EU – Current science–policy–society interfaces and emerging requirements, *Marine Policy*, **66**: 83-92.
- Rassweiler, A., Costello, C. & Siegel, D.A. 2012. Marine protected areas and the value of spatially optimized fishery management, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **109**, (29): 11884-11889.
- République Gabonaise. 1994. *Décret n° 62/PR/MEFPE portant règlementation de la pêche en République Gabonaise*.
- République Gabonaise. 2005. *Code des Pêches et de l'Aquaculture, loi 015/2005*.
- République Gabonaise. 2007. *Loi n°003/2007 du 27 août 2007 relative aux parcs nationaux*.
- République Gabonaise. 2015. *Décret N° 0579/PR/MPE du 30 novembre 2015 fixant les modalités et conditions d'exercice de la pêche*.
- République Gabonaise. 2017. *Décret n°00161/PR du 1er juin 2017 portant création d'aires protégées aquatiques en République Gabonaise*.
- Rijnsdorp, A.D., Buys, A.M., Storbeck, F. & Visser, E.G. 1998. Micro-scale distribution of beam trawl effort in the southern North Sea between 1993 and 1996 in relation to the trawling frequency of the sea bed and the impact on benthic organisms, *ICES Journal of Marine Science*, **55**: 403-419.
- Roberts, C.M., Bohnsack, J.A., Gell, F., Hawkins, J.P. & Goodridge, R. 2001. Effects of Marine Reserves on Adjacent Fisheries, *Science*, **294**: 1920-1923.
- Rousseau, Y., Watson, R.A., Blanchard, J.L. & Fulton, E.A. 2019. Evolution of global marine fishing fleets and the response of fished resources, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **116**, (25): 12238-12243.
- Russo, T., Parisi, A. & Cataudella, S. 2013. Spatial indicators of fishing pressure: Preliminary analyses and possible developments, *Ecological Indicators*, **26**: 141-153.
- Russo, T., Parisi, A., Prorgi, M., Boccoli, F., Cignini, I., Tordoni, M. & Cataudella, S. 2011. When behaviour reveals activity: Assigning fishing effort to métiers based on VMS data using artificial neural networks, *Fisheries Research*, **111**: 53-64.
- Ruttan, L.M. 2003. Finding fish: grouping and catch-per-unit-effort in the Pacific hake (*Merluccius productus*) fishery, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **60**: 1068-1077.

- Sabinot, C. 2007. Des hommes, des cultures, des savoirs et des savoir-faire en mouvement sur le littoral gabonais. Dynamique des savoirs et savoir-faire, *Mobilités, immobilismes. L'emprunt et son refus*, Paris, De Boccard, 69-82.
- Sabinot, C. 2008. Dynamique des savoirs et des savoir-faire dans un contexte pluriculturel: étude comparative des activités littorales au Gabon Thèse de Doctorat - Ethno-écologie, Muséum National d'Histoire Naturelle, 438 p.
- Sadovy de Mitcheson, Y., To, A.W., Wong, N.W., Kwan, H.Y. & Bud, W.S. 2019. Emerging from the murk: threats, challenges and opportunities for the global swim bladder trade, *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **29**, (4): 809-835.
- Sala, E. & Giakoumi, S. 2018. No-take marine reserves are the most effective protected areas in the ocean, Pendleton Linwood (dir.), *ICES Journal of Marine Science*, **75**, (3): 1166-1168.
- Salas, S. & Gaertner, D. 2004. The behavioural dynamics of fishers: management implications, *Fish and Fisheries*, **5**: 153-167.
- Salas, S., Torres-Irineo, E. & Coronado, E. 2019. Towards a métier-based assessment and management approach for mixed fisheries in Southeastern Mexico, *Marine Policy*, **103**: 148-159.
- Saldaña, A., Salas, S., Arce-Ibarra, A.M. & Torres-Irineo, E. 2016. Fishing operations and adaptive strategies of small-scale fishers: insights for fisheries management in data-poor situations, *Fisheries Management and Ecology*, **24**: 19-32.
- Scheiber, H.N. 2001. Ocean Governance and the Marine Fisheries Crisis: Two Decades of Innovation and Frustration, *Virginia Environmental Law Journal*, **20**: 119-139.
- Seaman, D.E. & Powell, R.A. 1996. An Evaluation of the Accuracy of Kernel Density Estimators for Home Range Analysis, *Ecology*, **77**, (7): 2075-2085.
- Seck, P.C.A. 1987. *Catalogue des engins de pêche artisanale maritime du Gabon* (COPACE/PACE SERIES No. 87/42) Rome, FAO, 65 p.
- Selgrath, J.C., Gergel, S.E. & Vincent, A.C.J. 2018. Shifting gears: Diversification, intensification, and effort increases in small-scale fisheries (1950-2010), *PLOS ONE*, **13**, (3): e0190232.
- Shawyer, M. & Medina Pizzali, A.F. 2005. *L'utilisation de la glace sur les bateaux de pêche artisanale* (No. 436) Rome, FAO. Document technique sur les pêches, 118 p.
- Shester, G.G. & Micheli, F. 2011. Conservation challenges for small-scale fisheries: Bycatch and habitat impacts of traps and gillnets, *Biological Conservation*, **144**, (5): 1673-1681.
- Smith, D.C., Fulton, E.A., Smith, A.D.M., Daley, R. & Williams, A. 2007. Spatial management in fisheries: the answer to our problems?, *Spatial management in fisheries. Australian Society for Fish Biology Workshop Proceedings*. Canberra, Australia, Australian Society for Fish Biology: 1-13.

- Smith, H.D., Vivero, J.L.S. de & Agardy, T.S. 2015. *Routledge Handbook of Ocean Resources and Management*. Routledge:686.
- Smyth, C. & Hanich, Q.A. 2019. *Large scale marine protected areas: current status and consideration of socio-economic dimensions* Washington D.C, Pew Charitable Trust, 43 p.
- Snape, R.T.E. 2019. Investigating conflict between threatened marine megavertebrates and Mediterranean small-scale fisheries PhD in Biological Sciences, University of Exeter, 192 p.
- Sowman, M. & Sunde, J. 2018. Social impacts of marine protected areas in South Africa on coastal fishing communities, *Ocean & Coastal Management*, **157**: 168-179.
- Stamatopoulos, C. 2009. *Prospections halieutiques par échantillonnage : manuel technique* (No. 425) Rome, FAO. FAO document technique sur les pêches, 142 p.
- Stelzenmüller, V., Aldridge, J. & Rogers, S. 2008a. Spatio-temporal patterns of fishing pressure on UK marine landscapes, and their implications for spatial planning and management, *ICES Journal of Marine Science*, **65**, (6): 1081-1091.
- Stelzenmüller, V., Maynou, F., Bernard, G., Cadiou, G., Camilleri, M., Crec'hiriou, R., Criquet, G., Dimech, M., Esparza, O., Higgins, R., Lenfant, P. & Pérez-Rufaza. 2008b. spatial assessment of fishing effort around European marine reserves: Implications for successful fisheries management, *Marine Pollution Bulletin*, **56**: 2018-2026.
- Stephan, P. 1906. Exposition coloniale de Marseille. 1906. Nos richesses coloniales 1900-1905., *L'industrie des pêches aux colonies*, par G. Darboux, P. Stephan, J. Cotte, F. VanGaver. 578.
- Stevenson, T.C., Tissot, B.N. & Walsh, W.J. 2013. Socioeconomic consequences of fishing displacement from marine protected areas in Hawaii, *Biological Conservation*, **160**: 50-58.
- Stewart, K.R., Lewison, R.L., Dunn, D.C., Bjorkland, R.H., Kelez, S., Halpin, P.N. & Crowder, L.B. 2010. Characterizing Fishing Effort and Spatial Extent of Coastal Fisheries, *PLoS ONE*, **5**, (12): e14451.
- Stobart, B., Warwick, R., González, C., Mallol, S., Díaz, D., Reñones, O. & Goñi, R. 2009. Long-term and spillover effects of a marine protected area on an exploited fish community, *Marine Ecology Progress Series*, **384**: 47-60.
- Sutton, C. 2012. An Introduction to Conditional Random Fields, *Foundations and Trends in Machine Learning*, **4**, (4): 267-373.
- Tati, G. 2008. Immigrants and coastal artisan fishing in a context of constrained spatial expansion in the City of Pointe-Noire (Congo-Brazzaville), *Espace-Populations-Societes*, **1**: 21-35.
- Teh, L.C.L. & Sumaila, U.R. 2013. Contribution of marine fisheries to worldwide employment, *Fish and Fisheries*, **14**: 77-88.

- The World Bank, UNDP, CEC, & FAO. 1991. *Small-Scale Fisheries: Research Needs* (World Bank Technical Papers No. 152) . Fisheries Series, 49 p.
- Thiault, L., Collin, A., Chlous, F., Gelcich, S. & Claudet, J. 2017. Combining participatory and socioeconomic approaches to map fishing effort in smallscale fisheries, *PLoS ONE*, **12**, (5): e0176862.
- Thomson, D. 1988. The world's two marine fishing industries: how they compare, *Naga, The ICLRM Quarterly, FAO*, **11**, (3): 17.
- Tuffery, S. 2012. *Data Mining et statistique décisionnelle : L'intelligence des données*. Editions TECHNIP:850.
- Turchin, P. 1998. *Quantitative analysis of movement, measuring and modeling population redistribution in animals and plantes*. Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, Inc. Publishers:409.
- Tzanatos, E., Somarakis, S., Tserpes, G. & Koutsikopoulos, C. 2006. Identifying and classifying small-scale fisheries métiers in the Mediterranean: A case study in the Patraikos Gulf, Greece, *Fisheries Research*, **81**: 158-168.
- Ulrich, C., Wilson, D.C., Nielsen, J.R. & Reeves, S.A. 2009. Potentials and challenges in fleet and métier based approaches for fisheries management in the CFP, *ICES Document CM*, **6**: 21.
- UNEP-WCMC & IUCN. 2020. Marine Protected Planet [On-line], *Cambridge, UK: UNEP-WCMC and IUCN Available at: www.protectedplanet.net*.
- Van Der Lee, A., Gillis, D.M., Comeau, P. & Hurley, P. 2013. Fishing the line: catch and effort distribution around the seasonal haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) spawning closure on the Scotian Shelf, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **70**, (7): 973-981.
- Vermard, Y., Rivot, E., Mahevas, S., Marchal, P. & Gascuel, D. 2010. Identifying fishing trip behaviour and estimating fishing effort from VMS data using Bayesian Hidden Markov Models, *Ecological Modelling*, **221**, (15): 1757-1769.
- Vignaux, M. 1996. Analysis of spatial structure in fish distribution using commercial catch and effort data from the New Zealand hoki fishery, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **53**: 963-973.
- Walker, E. & Bez, N. 2010. A pioneer validation of a state-space model of vessel trajectories (VMS) with observers' data, *Ecological Modelling*, **221**: 2008-2017.
- Walker, E., Rivoirard, J., Gaspar, P. & Bez, N. 2015. From forager tracks to prey distributions: An application to tuna vessel monitoring systems (VMS), *Ecological Applications*, **25**, (3): 826-833.
- Wallace Coombs, A.P. 2012. Understanding fishers' spatial behaviour to estimate social costs in local conservation planning. October: PhD Thesis, 333 p.

- Walter, J.F., Hoenig, J.M. & Gedamke, T. 2007. Correcting for effective area fished in fishery-dependent depletion estimates of abundance and capture efficiency, *ICES Journal of Marine Science*, **64**, (9): 1760-1771.
- Wang, J., Duckham, M. & Worboys, M. 2016. A framework for models of movement in geographic space, *International Journal of Geographical Information Science*, **30**, (5): 970-992.
- Watson, J.T., Haynie, A.C., Sullivan, P.J., Perruso, L., O'Farrell, S., Sanchirico, J.N. & Mueter, F.J. 2018. Vessel monitoring systems (VMS) reveal an increase in fishing efficiency following regulatory changes in a demersal longline fishery, *Fisheries Research*, **207**: 85-94.
- Weeratunge, N., Béné, C., Siriwardane, R., Charles, A., Johnson, D., Allison, E.H., Nayak, P.K. & Badjeck, M.C. 2014. Small-scale fisheries through the wellbeing lens, *Fish and Fisheries*, **15**: 255-279.
- Weigel, J.-Y. & De Monbrison, D. 2013. *State of the art of fisheries co-management* Commission sous-régionale des pêches. Synthesis report, 48 p.
- Weigel, J.Y., Morand, P., Charpin, A. & Sadio, O. 2018. Impact assessment of a marine and coastal protected area on fishing households through a counterfactual approach. A Senegalese case study (West Africa), *Ocean & Coastal Management*, **155**: 113-125.
- Witt, M.J., Baert, B., Broderick, A.C., Formia, A., Fretey, J., Gibudi, A., Mounguengui, G.A.M., Moussounda, C., Nguouesso, S. & Parnell, R.J. 2009. Aerial surveying of the world's largest leatherback turtle rookery: A more effective methodology for large-scale monitoring, *Biological Conservation*, **142**, (8): 1719-1727.
- Witt, M.J. & Godley, B.J. 2007. A step towards seascape scale conservation: Using vessel monitoring systems (VMS) to map fishing activity, *PLoS ONE*, **2**, (10): e1111.
- Witt, M.J., Sheehan, E.V., Bearhop, S., Broderick, A.C., Conley, D.C., Cotterell, S.P., Crow, E., Grecian, W.J., Halsband, C., Hodgson, D.J., Hosegood, P., Inger, R., Miller, P.I., Sims, D.W., Thompson, R.C., Vanstaen, K., Votier, S.C., Attrill, M.J. & Godley, B.J. 2012. Assessing wave energy effects on biodiversity: the Wave Hub experience, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, **370**: 502-529.
- World Bank. 2020. Agriculture, forestry, and fishing, value added (% of GDP) - Gabon | Data <<https://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.ZS?locations=GA>>. Page consultée le 9 septembre 2020.
- Worton, B.J. 1995. Using Monte Carlo Simulation to Evaluate Kernel-Based Home Range Estimators, *The Journal of Wildlife Management*, **59**, (4): 794-800.
- Yates, K.L. & Schoeman, D.S. 2013. Spatial Access Priority Mapping (SAPM) with Fishers: A Quantitative GIS Method for Participatory Planning, *PLoS ONE*, **8**, (7): e68424.
- Zeller, D., Booth, S. & Pauly, D. 2006. Fisheries Contributions to the GDP: Underestimating Small-scale Fisheries in the Pacific, *Marine Resource Economics*, **21**: 355-374.

Zeller, D. & Pauly, D. 2019. Viewpoint: Back to the future for fisheries, where will we choose to go?, *Global Sustainability*, **2**, (e11): 1-8.

Zhang, X., King, M.L. & Hyndman, R.J. 2006. A Bayesian Approach to Bandwidth Selection for Multivariate Kernel Density Estimation 1 Introduction, *Computational Statistics & Data Analysis*, **50**, (11): 3009-3031.

Zucchini, W. & MacDonald, I. 2009. *Hidden Markov Models for Time Series : An Introduction Using R*. UK, Chapman and Hall:278.

Annexes

Annexe 1 : Questionnaire destiné au chef de communauté

Questionnaire pour le chef et les représentants de la communauté																			
<p>Cette première partie est à demander aux notables et personnes influentes peuvent répondre en groupe.</p>																			
<p>1. DATE</p> <p>Date JJ MM AAAA</p> <p> <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/></p>																			
<p>* 2. Zone :</p> <p><input type="radio"/> Libreville</p> <p><input type="radio"/> Cocobeach</p> <p><input type="radio"/> Port-Gentil</p> <p><input type="radio"/> Gamba</p> <p><input type="radio"/> Mayumba</p> <p><input type="radio"/> Autre (veuillez préciser)</p> <p><input type="text"/></p>																			
<p>* 3. Nom du débarcadère (en MAJUSCULE SANS ACCENT) :</p> <p><input type="text"/></p>																			
<p>* 4. Combien y a-t-il de propriétaires de pirogue dans votre débarcadère ?(ju:</p> <p><input type="text"/></p>																			
<p>* 5. De quelle nationalité sont-ils ? (plusieurs réponses possibles)</p> <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Gabonaise</td> <td><input type="checkbox"/> Guinéenne</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Béninoise</td> <td><input type="checkbox"/> Togotaise</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Nigériane</td> <td><input type="checkbox"/> Ghanéenne</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Saotoméenne</td> <td><input type="checkbox"/> Autre</td> </tr> </table>		<input type="checkbox"/> Gabonaise	<input type="checkbox"/> Guinéenne	<input type="checkbox"/> Béninoise	<input type="checkbox"/> Togotaise	<input type="checkbox"/> Nigériane	<input type="checkbox"/> Ghanéenne	<input type="checkbox"/> Saotoméenne	<input type="checkbox"/> Autre										
<input type="checkbox"/> Gabonaise	<input type="checkbox"/> Guinéenne																		
<input type="checkbox"/> Béninoise	<input type="checkbox"/> Togotaise																		
<input type="checkbox"/> Nigériane	<input type="checkbox"/> Ghanéenne																		
<input type="checkbox"/> Saotoméenne	<input type="checkbox"/> Autre																		
<p>6. Précisez les noms des ethnies (en majuscule sans accent).</p> <p><input type="text"/></p>																			
<p>* 7. Combien il y a-t-il de pêcheurs dans votre débarcadère ?(juste des chiffres)</p> <p><input type="text"/></p>																			
<p>* 8. Combien y a-t-il de pirogues dans votre débarcadère ? (juste des chiffres)</p> <p><input type="text"/></p>																			
<p>* 9. Ce nombre a-t-il augmenté depuis que vous êtes dans ce débarcadère ?</p> <p><input type="radio"/> oui</p> <p><input type="radio"/> non</p>																			
<p>10. De combien environ ? (juste chiffre)</p> <p><input type="text"/></p>																			
<p>11. En combien d'année ? (juste chiffre)</p> <p><input type="text"/></p>																			
<p>* 12. Parmi les pirogues actuelles, combien sont en bois ? (donc pas en fibre de verre)</p> <p><input type="text"/></p>																			
<p>* 13. Quels engins sont utilisés par les pirogues en plastiques ? (plusieurs réponses possibles)</p> <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Aucun car pas de pirogue en plastique</td> <td><input type="checkbox"/> Filet maillant calé de surface</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Filet maillant encerclant sardine</td> <td><input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant entre 2 eaux</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Filet maillant encerclant mulet/bossu</td> <td><input type="checkbox"/> Filet maillant calé entre 2 eaux</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant de fond grande maille (avec plomb)</td> <td><input type="checkbox"/> Palangre</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant de fond grande maille (sans plomb)</td> <td><input type="checkbox"/> Ligne à main</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant de fond petite maille</td> <td><input type="checkbox"/> Senne tournante</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Filet maillant calé de fond</td> <td><input type="checkbox"/> Senne de plage</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant de surface</td> <td><input type="checkbox"/> Filet crevette</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Autre (veuillez préciser)</td> <td></td> </tr> </table> <p><input type="text"/></p>		<input type="checkbox"/> Aucun car pas de pirogue en plastique	<input type="checkbox"/> Filet maillant calé de surface	<input type="checkbox"/> Filet maillant encerclant sardine	<input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant entre 2 eaux	<input type="checkbox"/> Filet maillant encerclant mulet/bossu	<input type="checkbox"/> Filet maillant calé entre 2 eaux	<input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant de fond grande maille (avec plomb)	<input type="checkbox"/> Palangre	<input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant de fond grande maille (sans plomb)	<input type="checkbox"/> Ligne à main	<input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant de fond petite maille	<input type="checkbox"/> Senne tournante	<input type="checkbox"/> Filet maillant calé de fond	<input type="checkbox"/> Senne de plage	<input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant de surface	<input type="checkbox"/> Filet crevette	<input type="checkbox"/> Autre (veuillez préciser)	
<input type="checkbox"/> Aucun car pas de pirogue en plastique	<input type="checkbox"/> Filet maillant calé de surface																		
<input type="checkbox"/> Filet maillant encerclant sardine	<input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant entre 2 eaux																		
<input type="checkbox"/> Filet maillant encerclant mulet/bossu	<input type="checkbox"/> Filet maillant calé entre 2 eaux																		
<input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant de fond grande maille (avec plomb)	<input type="checkbox"/> Palangre																		
<input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant de fond grande maille (sans plomb)	<input type="checkbox"/> Ligne à main																		
<input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant de fond petite maille	<input type="checkbox"/> Senne tournante																		
<input type="checkbox"/> Filet maillant calé de fond	<input type="checkbox"/> Senne de plage																		
<input type="checkbox"/> Filet maillant dérivant de surface	<input type="checkbox"/> Filet crevette																		
<input type="checkbox"/> Autre (veuillez préciser)																			

Appréciation de l'enquêteur

16. Accessibilité au site:

- Très pratique
- Moyennement pratique
- Avec beaucoup de difficultés
- Impraticable
- Seulement à pied
- Seulement en pirogue
- Autre (veuillez préciser)

17. Accueil réservé aux membres de l'équipe

- Bon/Chaleureux
- Moyen
- Désagréable

18. Typologie de l'habitat

- Moderne
- Semi-moderne
- Villageois

19. Matériaux de construction:

- Béton/Brique
- Planche/bois
- Tôle
- Terre - battue/autres matériaux traditionnels

20. Impressions personnelles sur la véracité des réponses:

13. Quelle est la longueur moyenne du filet (en m)

- 200 à 500 1000 à 1500
 500 à 800 1500 à 2000
 800 à 1000 2000 à 3000

14. Quel est le nombre de morceaux en longueur? (sachant qu'il y a 100m)

- 2 à 5 10 à 15
 5 à 8 15 à 20
 8 à 10 20 à 30

15. Quel est le nombre de morceaux en hauteur?

- 1/2 à 1 2 à 3
 1 à 2 3 à 5

16. Si c'est une ligne, quel est le nombre d'hameçons ? (juste le nombre)

17. Pour une sortie de pêche, combien de temps restez-vous ?

- moins de 6h 2 à 3h
 Entre 6 et 12h 3 à 4h

Autre (veuillez préciser)

18. Combien de temps l'engin reste-t-il à l'eau en moyenne (en heures)

19. Avez-vous un congélateur à bord ?

- oui
 non

20. Rencontrez-vous d'autres pêcheurs dans votre zone de pêche ?

- oui
 non

21. Si oui, de quels débarcadères viennent-ils? (en MAJUSCULE SANS ACCENT)

Débarcadère 1

Débarcadère 2

Débarcadère 3

22. Quand pêchez vous avec cet engin ? (plusieurs réponses possibles)

- petite marée (autour de la nouvelle lune) nuit
 grande marée (autour de la pleine lune) saison sèche
 Marée descendante saison des pluies
 Marée montante tout le temps (pas de préférence)
 jour

23. Quel est le nom de votre zone de pêche? (en langue locale si possible)

24. Quel(s) jour(s) de la semaine vous ne pêchez pas ?

- lundi vendredi
 mardi samedi
 mercredi dimanche
 jeudi

25. Y a-t-il des raisons pour lesquelles la pêche peut être suspendue ?

	oui/non	Si oui, cela dure combien de temps ?
Fête culturelle (religieuse, événementielle)	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Mariage	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Décès	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Retour au pays / déplacement	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Pas de carburant	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Marée défavorable	<input type="text"/>	<input type="text"/>

<p>26. Avez-vous des activités secondaires en dehors de la pêche</p> <div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>					
<p>27. Quels est le poids moyen de vos captures journalières ? (C)</p>					
petite marée	<input type="text"/>				
grande marée	<input type="text"/>				
saison sèche	<input type="text"/>				
saison des pluies	<input type="text"/>				
<p>28. Quelles sont les espèces généralement capturée?</p>					
		Ciblé et souvent pêché	Ciblé mais rarement pêché	Accessoire mais souvent pêché	Accessoire mais rarement pêché
<i>Sardinella rouxi</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Cynoglossidae</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Doctylopterus voltans</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Centrarchops chapini</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Drepane africana</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Ehippus goreensis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Elops lacerta</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Elops senegalensis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Exocetidae</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Eucinostomus melanopterus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Brachydeuterus auritus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Plectorhinchus macrolepis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Pomadasys jubelini</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Pomadasys suillus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Parakuhlia macrophthalmus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Hemiramphus brasiliensis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Istiophorus olbicans</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Bodianus speciosus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Lobotes surinamensis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Lutjanus agennes</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Lutjanus dentatus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Lutjanus endecacanthus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Lutjanus goreensis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Megalops atlanticus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Liza falcipinnis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Liza grandisquamis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Mugil bananensis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Mugil curema</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Acanthuru monroviae</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Albula vulpes</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Arius laticutatus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Belonidae</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Alectis alexandrinus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Alectis ciliaris</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Caranx hippos</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Caranx lugubris</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Chloroscombrus chrysurus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Caranx rhonchus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Lichia amia</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Selene dorsalis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Trachinotus goreensis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>trachinotus goreensis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Trachinotus ovatus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Trachinotus teraia</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Ethmalosa fimbriata</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Sardinella aurita</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
<i>Sardinella maderensis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Ciblé et s	Ciblé et souvent pêché	Ciblé mais rarement pêché	Accessoire mais souvent pêché	Accessoire mais rarement pêché
	<i>Pseudupeneus prayensis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Muraenidae	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Brotula barbata</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Galeoides decadactylus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Pentanemus quinquarius</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>polydactylus quadrifilis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Ilisha africana</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Psettodes belcheri</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Rachycentron canadum</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Scarus hoefleri</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Argyrosomus regius</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Pseudotolithus elongatus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Pseudotolithus moorii</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Pseudotolithus senegalensis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Pseudotolithus senegallus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Pseudotolithus typus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Umbrina canariensis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Umbrina ronchus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Umbrina steindachneri</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Euthynnus alletteratus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Sarda sarda</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Scomber colias</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Scomberorus tritor</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Scopaena laevis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Cephalopholis nigri</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Cephalopholis taeniops</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Epinephelus aeneus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Serranus cabrilla</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Pagellus bellottii</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Pagrus caeruleostictus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Sphyraena afra</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Sphyraena barracuda</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Sphyraena guachancho</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Sphyraena sphyraena</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Stromateu fiatola</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Lagocephalus laevigatus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Ephippion guttifer</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Trichiurus lepturus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Scyllarides herkotsii</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Panulirus regius</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Carcharhinus falciformis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Carcharhinus leucas</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Carcharhinus limbatus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Carcharhinus longimanus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Carcharhinus plumbeus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Galeocerdo cuvier</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Negaprion brevirostris</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Rhizoprionodon acutus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Sphyrna lewini</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Sphyrna mokarran</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Mustelus mustelus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Paragelus pectoralis</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Dasyatis margarita</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Gymnura micrura</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Manta birostris</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Pteromyiaeus bovinus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	<i>Raja miraletus</i>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	Ciblé et souvent pêché	Ciblé mais rarement pêché
Rhinobatos albomaculatus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rhinobatos cemiculus	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rhinobatos irvinei	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Rynchobatus tubberti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Torpedo marmorata	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zanobatus schoenleinii	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Autre (veuillez préciser NOM LATIN)

29. Avez-vous l'impression qu'il y a moins de poissons qu'avant ?

oui

non

30. Si oui pour quelle(s) espèce(s)? (NOM DE FAMILLE EN LATIN)

Famille 1

Famille 2

Famille 3

31. Avez-vous l'impression que les poissons sont plus petits qu'avant ?

oui

non

32. Si oui pour quelle(s) espèce(s)? (NOM DE FAMILLE EN LATIN)

Famille 1

Famille 2

Famille 3

33. Quel est le poisson que vous retrouvez le plus souvent dans vos filets? (NOM DE FAMILLE EN LATIN)

Famille 1

Famille 2

Famille 3

34. Quel est le poisson que vous retrouvez le moins souvent dans vos filets? (NOM DE FAMILLE EN LATIN)

Famille 1

Famille 2

Famille 3

35. Une fois le poisson au débarcadère, subit-il une transformation ?

non

fumé

salé

Autre (veuillez préciser)

36. Ou votre poisson est-il vendu ?

Sur place (consommation locale)

Vers la plus grande ville à côté (Libreville, POG, Tchibanga, Gamba)

Vers l'étranger

37. Quel est le poisson le plus facile à vendre? (NOM DE FAMILLE EN LATIN)

Famille 1

Famille 2

Famille 3

38. Quel est le poisson le moins facile à vendre? (NOM DE FAMILLE EN LATIN)

Famille 1

Famille 2

Famille 3

39. Quelle est la part d'autoconsommation sur vos captures (en kg) ? (CHIFFRE UNIQUEMENT)

40. Quel est le poisson le plus cher? (NOM DE FAMILLE EN LATIN)

Famille 1

Famille 2

Famille 3

41. Quel est le poisson le moins cher? (NOM DE FAMILLE EN LATIN)

Famille 1

Famille 2

Famille 3

42. Combien de personnes participent aux réponses ?

43. En dehors de ces périodes pêchez vous avec un autre engin ?

Oui

Non

44. Si oui, avec quel engins ? (remplir avec nom des engins et saison ci dessus)

Engins

Période

Annexe 3 : Données relatives aux débarcadères. (Lbv : Libreville, ccb : Cocobeach, may : Mayumba, pog : Port-Gentil, les catégories a, b ou c, correspondent respectivement aux catégories 3, 2 ou 1 de l'arrêté 000060/MEFPEPGDE/SG/DGPA)

Débarcadère	Nombre de pirogues	Superficie (m ²)	Présence de Fumoirs (oui/non)	Présence d'habitations (oui / non)	Nationalité	Ville la plus proche	Catégorie
Ambowe	41	1800	non	oui	mixte	lbv	b
Akiliba	16	1300	non	oui	beninoise	lbv	c
Bac_aviation	34	23000	oui	oui	nigeriane	lbv	c
Bambouchine	16	4400	non	oui	gabonaise	lbv	c
Cap_Esterias	19	12000	non	non	gabonaise	lbv	c
Jeanne_Ebori	13	10000	non	non	gabonaise	lbv	c
Sabliere	7	7000	non	non	gabonaise	lbv	c
Bikele	14	17000	non	oui	nigeriane	lbv	c
Mamboumba	5	5400	non	oui	nigeriane	lbv	c
Lybe	20	10000	non	oui	nigeriane	ccb	c
Emone_Mekak	12	300	non	oui	gabonaise	ccb	c
Leme	38	20000	oui	oui	nigeriane	ccb	c
Massotie	17	400	non	non	gabonaise	ccb	c
Milembie	12	200	non	non	gabonaise	ccb	c
Mongono	3	100	non	non	gabonaise	ccb	c
Ongame	2	100	non	non	gabonaise	ccb	c
Massamboue	41	37000	non	oui	mixte	ccb	c
Iboudgi	3	100	non	oui	gabonaise	ccb	c
Mayonami	3	800	non	non	beninoise	may	c
Office	20	45000	oui	oui	beninoise	may	c
Mangali	3	9000	non	oui	beninoise	may	c
Alenakiri	50	5800	non	oui	nigeriane	lbv	c
Barracuda	29	1500	non	non	nigeriane	lbv	b
Ozoungue	216	76000	oui	oui	mixte	lbv	c
Oloumi	23	2000	non	non	mixte	lbv	c
Soduco	14	5000	non	oui	nigeriane	lbv	c
Grand_Village	42	3000	non	non	nigeriane	lbv	c
Razel	25	7000	non	non	nigeriane	lbv	c
CAPAL	21	19000	non	non	mixte	lbv	a
Canal_cons_dep	61	1000	oui	non	mixte	pog	b
Cap_Lopez	7	40000	oui	oui	mixte	pog	c
Iguiri	16	3000	oui	oui	nigeriane	pog	c
Lip1	60	11000	oui	oui	beninoise	pog	c
Lip2	41	12000	oui	oui	beninoise	pog	c
Lip3	70	7000	oui	oui	beninoise	pog	c
Matanda	33	6000	oui	oui	beninoise	pog	c
Irinikongo	37	6000	oui	oui	beninoise	pog	c
centre_peche	83	4000	non	non	mixte	pog	a
sogara	3	200	non	non	gabonaise	pog	c
ozouri	9	300	oui	oui	mixte	pog	c
Ntcholy_kala	10	500	non	non	gabonaise	pog	c

Annexe 4 : Types d'engins de pêche retrouvés au Gabon, selon la catégorisation de la FAO

Filets tournants (sennes tournantes)

Cet engin est un filet avec des flotteurs dans la partie supérieure du filet et une corde coulissante dans des anneaux dans sa partie inférieure. Quand les pêcheurs repèrent un banc de poissons, ils l'entourent avec la senne et ferment le cercle (Figure A). Le cercle est progressivement rétréci en tirant les deux extrémités du filet et en tirant la corde du bas jusqu'à l'obtention d'une poche où se trouvent prisonniers les poissons. La poche est ensuite remontée à bord de la pirogue.

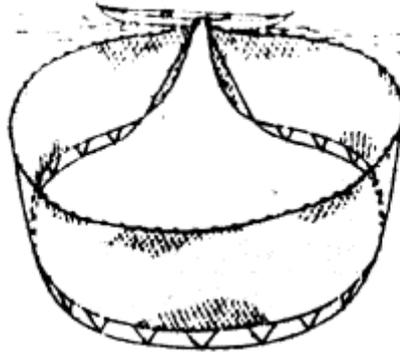


Figure A : Schéma de la senne tournante coulissante (Seck, 1987)

Sennes de plage

La senne de plage a des flotteurs dans la partie supérieure du filet et des poids dans sa partie inférieure. Une poche est située au milieu du filet (Figure B). Les pêcheurs bloquent une extrémité du filet sur la plage (des hommes tiennent cette extrémité) et l'autre extrémité est tirée grâce à une pirogue pour faire un demi-cercle et rejoindre le rivage. La senne est ensuite tirée par les deux extrémités pour ramener le poisson sur la plage.



Figure B : Schéma de la senne de plage (Seck, 1987)

Filets maillants

Le principe de cet engin est de faire en sorte que le poisson se maille dans la nappe. Il peut être disposé en ligne droite ou encercler un banc de poissons. Selon la conception, le lestage et la flottabilité, ce filet peut pêcher en surface, entre 2 eaux ou au fond.

- Filet maillant de fond

Cet engin est placé en ligne droite et le poisson se maille dans le filet. Des flotteurs se trouvent dans la partie supérieure du filet et des poids dans sa partie inférieure et le filet est posé au fond de l'eau. De plus gros poids sont attachés à chaque extrémité, ce qui empêche le filet de dériver (Figure C).

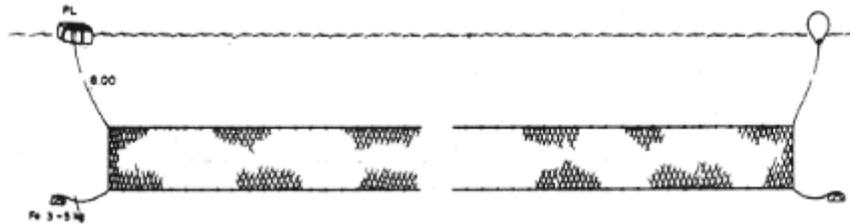


Figure C : Schéma d'un filet maillant de fond (Seck, 1987)

- Filet maillant de surface

Ce filet est utilisé comme le filet maillant de fond, à la différence que la force des flotteurs est supérieure à la force du lestage, ce qui fait que les flotteurs sont visibles à la surface. Dans certains cas, les flotteurs sont fixés à des ralingues d'un à deux mètres, elles-mêmes attachées en haut du filet. Ainsi, des bateaux peuvent passer au-dessus sans arracher le filet (Figure D).

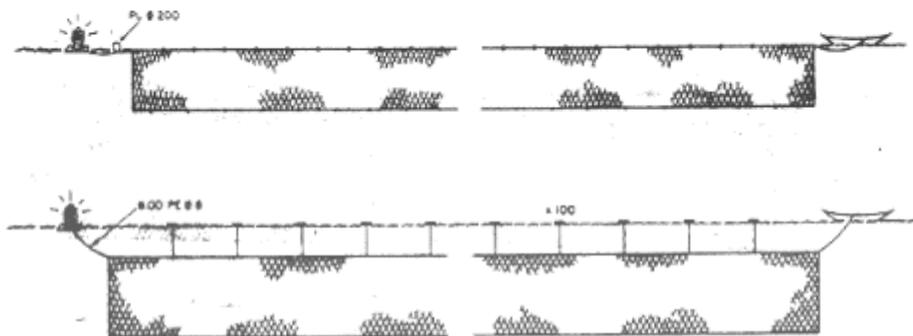


Figure D : Schéma des filets maillants de surface avec en haut, le filet classique et en bas, le filet avec ralingues (Seck, 1987)

- Filet encerclant

Le filet encerclant maille les poissons, mais les pêcheurs l'utilisent en encerclant un banc de poissons repéré au préalable. Il possède des flotteurs dans la partie supérieure du filet et des plombs en bas (Figure E). Quand le cercle est fermé, les pêcheurs utilisent une technique pour pousser les poissons vers le filet : ils font des cercles ou des passages en pirogue à l'intérieur du filet ou encore tapent avec les rames sur la pirogue. Les poissons effrayés nagent et se maille dans le filet. Le filet est ensuite relevé en tirant par une extrémité et en récupérant les poissons pris dans le filet.

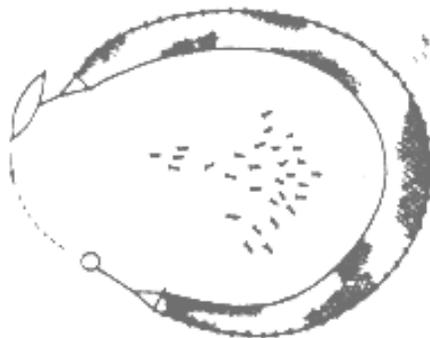


Figure E : Schéma du filet maillant encerclant (Seck, 1987)

Lignes et hameçons

Le poisson est attiré par un appât placé sur un hameçon, lui-même attaché à une ligne en crin. Il existe deux catégories de lignes au Gabon, la ligne à main, qui n'a qu'un seul hameçon par ligne et la palangre qui comprend plusieurs hameçons par ligne. La palangre est généralement placée de façon horizontale au fond de l'eau (Figure F).

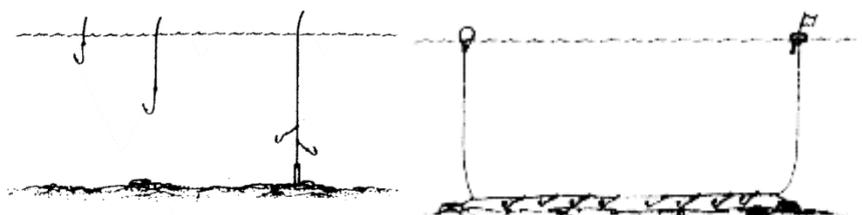


Figure F : Schéma des lignes à main (à gauche) et de la palangre de fond (à droite) (Seck, 1987)

Engins plus rares

D'autres engins sont utilisés de façon très localisée ou alors en appoints des autres techniques citées plus haut. Ces engins ne seront pas décrits dans les analyses ultérieures.

- L'épervier

Ce filet lancé du rivage capture les poissons en retombant et se refermant sur eux (Figure). Il est utilisé pour capturer les appâts qui serviront à la pêche à la ligne à main ou à la palangre. Ce sont les communautés gabonaises et nigériane Ijaw qui s'en servent.



Figure G : Schéma de l'épervier (Nédélec & Prado, 1990)

- Le harpon

Le harpon est utilisé en pêche sous-marine dans la zone du Cap Esterias, à côté de Libreville ou encore à Port-Gentil par la communauté gabonaise. Il se pratique en apnée sur des zones rocheuses et cible des grosses pièces qui seront souvent vendues dans des restaurants.

- Filets à l'étagage (diable)

Le filet à l'étagage est utilisé par la communauté nigériane ijaw, en majorité dans l'estuaire du Komo et qui cible la crevette. C'est un filet en forme de cône dont l'entrée est rectangulaire. L'ouverture de l'entrée est assurée par deux bâtons perpendiculaires sur deux côtés du filet et un troisième bâton est fixé perpendiculairement aux deux premiers pour assurer l'ouverture. Proche de l'entrée est fixé un gros poids (ancrage) qui bloque le filet au fond de l'eau (Figure H). L'entrée du filet est placée en direction du courant ou de la marée pour que les crevettes s'y engouffrent. L'ancrage est aussi reliée à une bouée qui permet de retrouver le filet depuis la surface. 6 filets au maximum sont déployés par un bateau. La maille est de 5 mm. Cette pêche se pratique seulement 2 fois par mois, lorsque la marée a une grande amplitude.

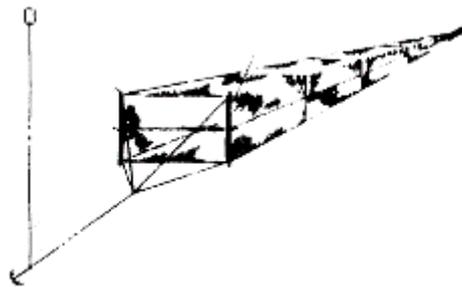


Figure H : Schéma du filet à crevette ou diable (Seck, 1987)

- La pêche aux coquillages

Les communautés gabonaises pêchent les coquillages autour de Libreville et de Port-Gentil. Elle se pratique à pied, sur l'estran, à marée descendante pendant les grandes marées. Plusieurs espèces sont ciblées. Pour les couteaux de mer (*Solen guinensis*), les pêcheurs utilisent une tige métallique (baleine de parapluie), lorsqu'ils ciblent la palourde, ils piétinent le sable pour faire remonter les coquillages. Ce sont les femmes qui pratiquent cette activité pour la plupart, mais aussi quelques hommes et souvent, une pirogue les amène sur le lieu de pêche. Les espèces de coquillages ramassées sont : *Mactra lagillerti*, *Pugilina morio*, et un *cardidae* non identifiée.

- La canne à pêche

Si la canne à pêche est souvent associée à la pêche sportive, il est important de le mentionner, car les pêcheurs gabonais l'utilisant vendent souvent leurs prises aux restaurants. Cette pêche est pratiquée à Libreville et Port-Gentil, soit du bord de la plage ou encore à partir de bateau de plaisance.

Annexe 5 : Nombre de pirogues pratiquant chaque engin de pêche par débarcadère avec FMES : filet maillant encerclant la sardine, FMEM : filet maillant encerclant le mullet, FMS : Filet maillant de surface, FMF : filet maillant de fond, PAL : palangre, LAM : ligne à main, FUS : fusil sous-marin, SDP : senne de plage. Mixte correspond au nombre de pirogues utilisant plusieurs engins dans chaque débarcadère

Debarcadère	Nombre de pirogues	FMES	FMEM	FMS	FMF	PAL	ST	LAM	FUS	SDP	Mixte
Akiliba	16				16						
Alenakiri	50				43	3	17				13
Ambowe	41			3	16	21					1
Bac Aviation	34	34				34					34
Bambouchine	16			9		7					
Barracuda	29				29		3				3
Bikele	14				8		14				8
Canal Conseil	61	1			4	50	1	0	5	0	0
Cap Esterias	19								16	3	
Cap Lopez	7	1			0	2	0	0	0	0	4
CAPAL	21			3	7	6			8		3
CCPAP De PO	83	1			2	57	4	0	19	0	0
Emone Mekal	12	5				5	8				5
Grand Village	42				39	3	6				6
Iboudgi	3				1		3				1
Iguiri	16	0			0	2	10	0	1	0	0
Irinikongo	37	16			3	18	0	0	0	0	0
Jeanne Ebori	13								13		
Leme	38	18			6	25	8				19
Lip 1	60	19			7	25	0	0	1	0	0
Lip 2	41	17			1	19	1	0	1	0	0
Lip 3	70	30			2	38	0	0	0	0	0
Lybe	20	11			8		4				3
Mamboumba	5				5						
Mangali	3					3			1		1
Massamboue	41	10			8	34		2			13
Massotie	17			13		17					13
Matanda 1	33	1			7	19	1	0	1	0	0
Mayonami	3					3					
Milembie	12			7		5	2				2
Mongono	3				3						
Ntcholy kala	10	0			0	0	0	0	10	0	0
Office	43	9				43			9		9
Oloumi	23					15			8		
Ongame	2			2							
Ozoungué	216	91			19	143	1	20	1		59
Ozouri	9	0			0	6	3	0	3	0	0
Plage	0	0									0
Razel	25				25		5				5
Sabliere	7										7
Soduco	14	14				11					11
Sogara	3	0			0	2	0	0	1	0	0

Annexe 6 : Photographies des différents types de pirogues



Pirogue béninoise pour la pêche au mullet (crédit : survol aérien WCS) et (à droite) : pirogue gabonaise pour la pêche au mullet (crédit : C. Yendze)



(à gauche) : Pirogue yoruba pour la pêche à la sardine (crédit : survol aérien WCS) et (à droite) : Pirogue béninoise pour la pêche à la sardine ou au filet de fond à Port-Gentil (crédit : G. De Bruyne)



(à gauche) : Pirogue Ijaw pour la pêche au filet dérivant de plusieurs jours et (à droite) : Pirogue béninoise de Libreville pour la pêche au filet dérivant de plusieurs jours (crédits : F. Cardiec)



Pirogue béninoise de Port-Gentil pour la pêche à la senne de plage (crédit : G. De Bruyne)



Pirogue béninoise pratiquant la senne tournante à Cocobeach (crédit : survol aérien WCS)



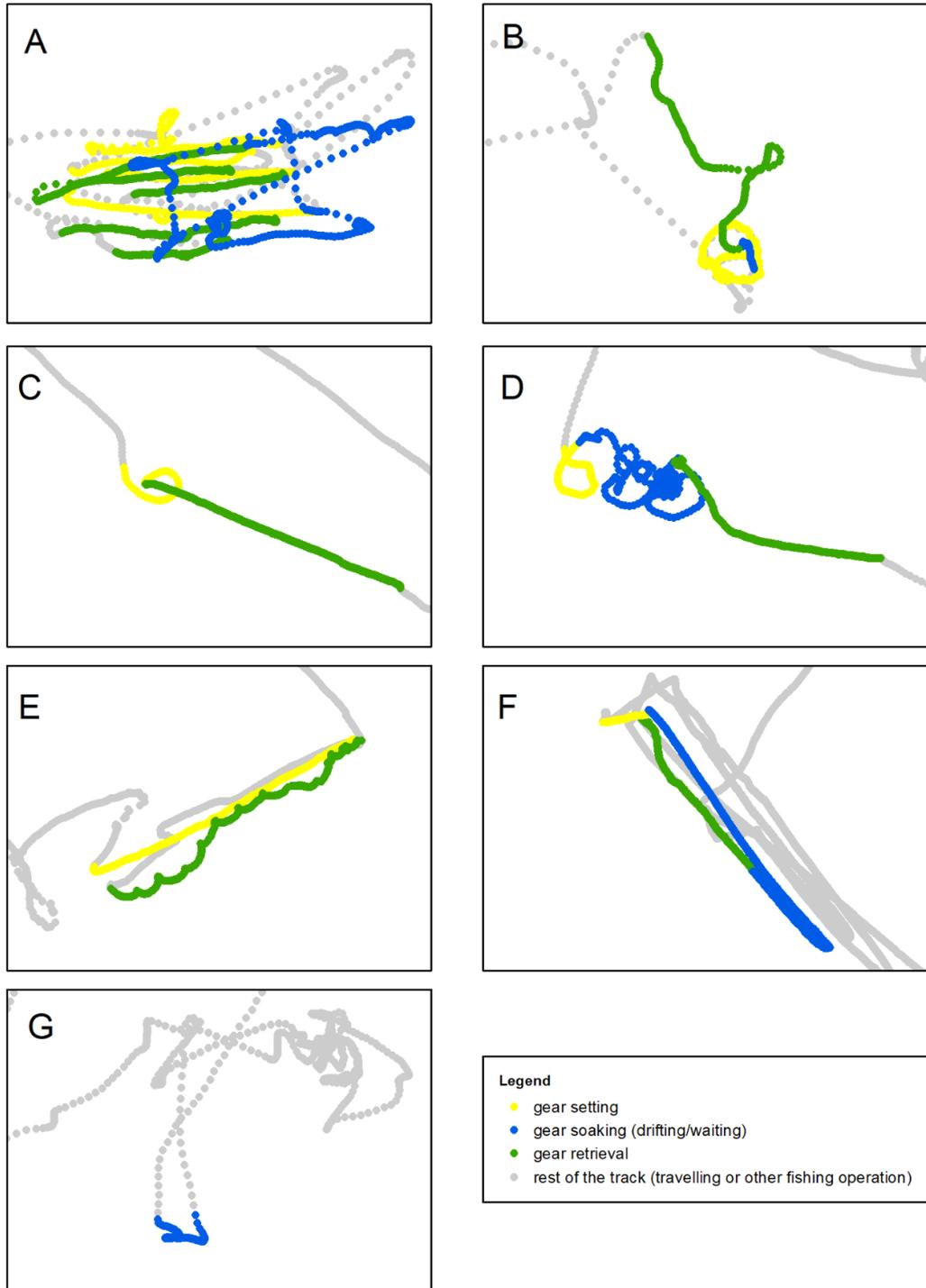
*(à gauche) : Pirogue gabonaise de Libreville pour la pêche à la ligne à main (crédit : J. Nzegoue) et
(à droite) : Pirogue gabonaise d'Ozouri (crédit : G. De Bruyne)*



(à gauche) : Pirogue béninoise à Mayumba pour pêcher au filet de fond (crédit : G. De Bruyne) et (à droite) : Pirogue béninoise de Port-Gentil pour pêche au filet de fond (crédit : J. Bergere)

Appendix 7: Supporting information for the article “Too Big To Ignore”: a feasibility analysis of detecting fishing events in Gabonese small-scale fisheries

S1 Figure A. Fishing signatures of A: Bottom gillnet, B: Mullet circling gillnet, C: Purse seine, D: Sardine circling gillnet, E: Longline, F: Surface drifting gillnet and, G: Handline.

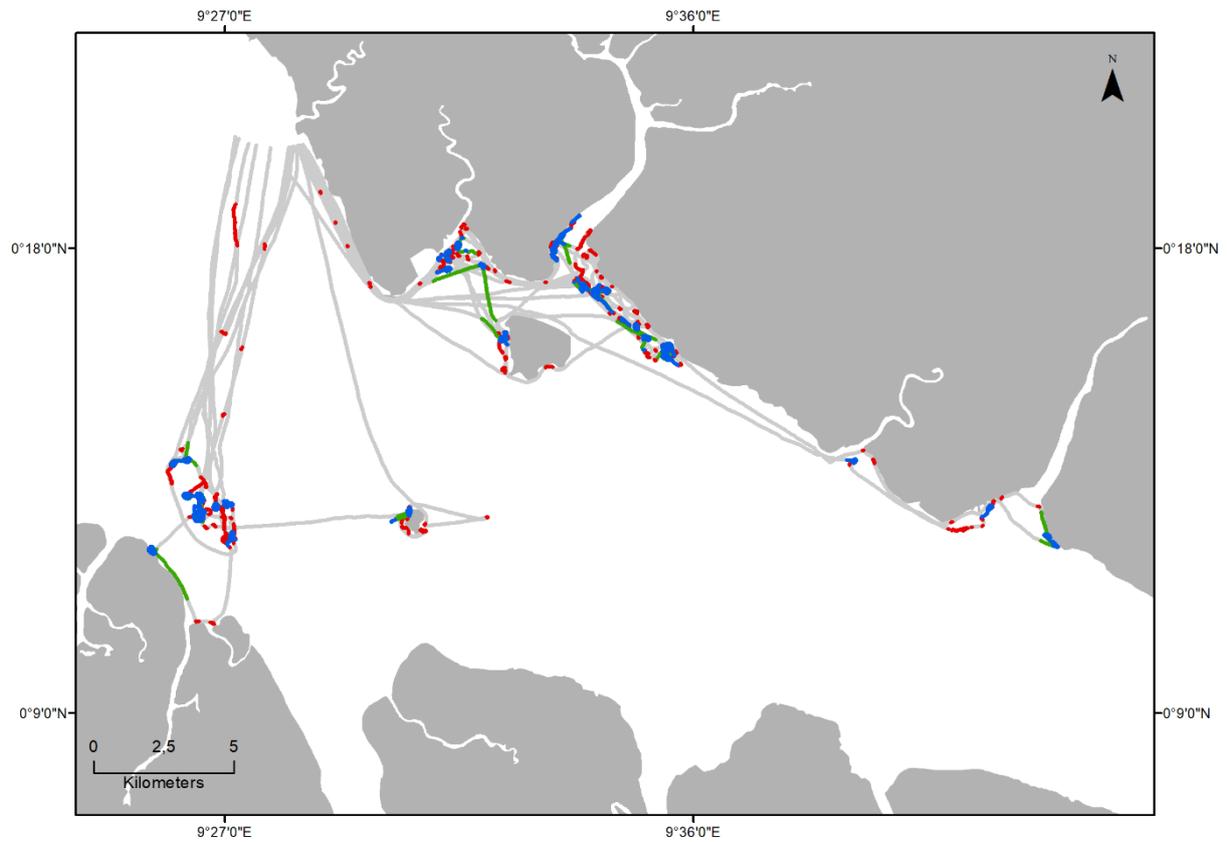


S1 Table A. Initial values used to fit our Hidden Markov Model.

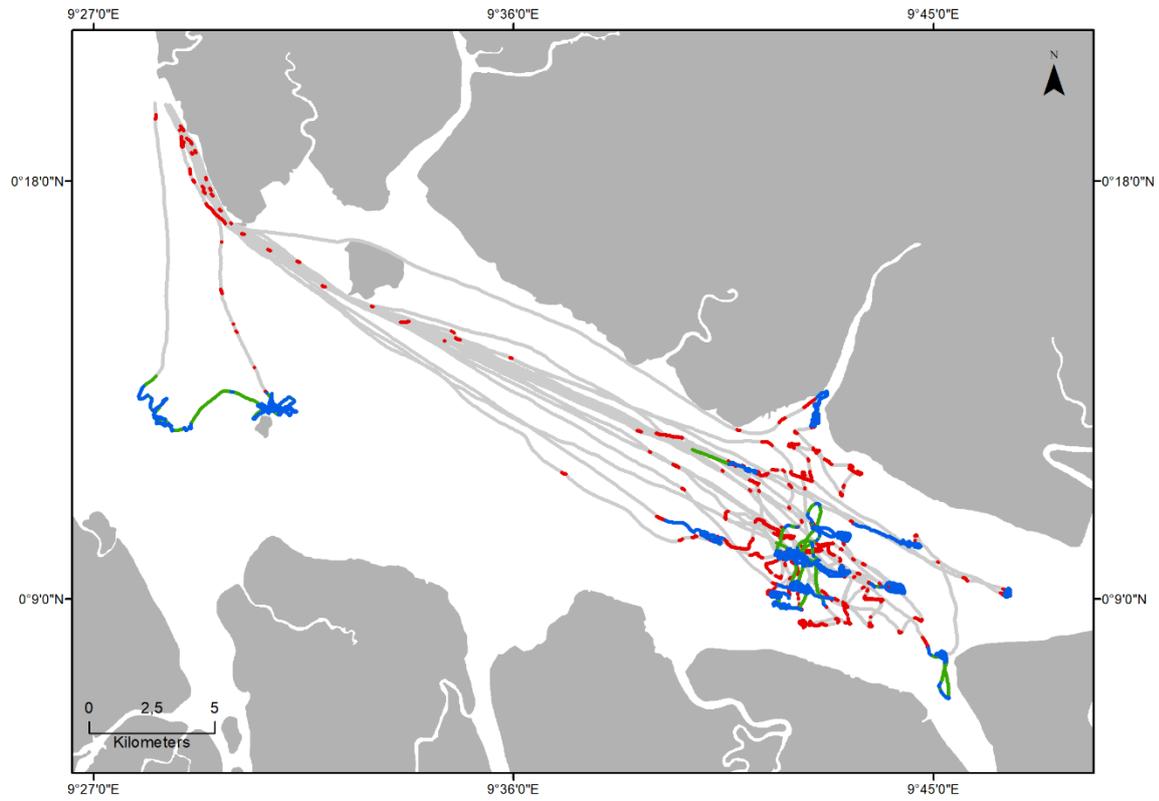
	mean step length (km)		Standard deviation		mean angle (radians)		Concentration	
	Non-fishing	Fishing	Non-fishing	fishing	Non-fishing	Fishing	Non-fishing	Fishing
Sardine circling gillnet	0,03626	0,0048969	0,0096529	0,0067565	0,0072246	-0,000931	176,3861	6,36698
Surface drifting gillnet	0,028299 5	0,0077234	0,0243634	0,0064719	0,0002284	-0,000318	2,330935	8,246443
Mullet circling gillnet	0,011701 2	0,0024814	0,0127724	0,0044001	0,0099217	0,0101323	2,948234	3,166768
Purse seine	0,019717 6	0,0022215	0,0023926	0,0030348	-0,001675	-0,009571	252,2811	10,919
Handline	0,018005	0,0008296	0,0046881	0,0017046	0,0108898	0,1160657	46,89171	0,4794418
Longline	0,013444 6	0,004324	0,0106474	0,0078514	0,0019872	0,0412174	16,27241	6,630557
Bottom gillnet	0,036186	0,0057746	0,0114891	0,0091766	-0,004848	-0,011173	130,3637	8,352427

S1 Figure B. Maps of all tracks for each gear types and fishing areas identified by visual interpretation and HMM methods (In grey: both methods predict non-fishing, in blue: both methods predict fishing, in red: only HMM predicts fishing, in green: only visual interpretation predicts fishing)

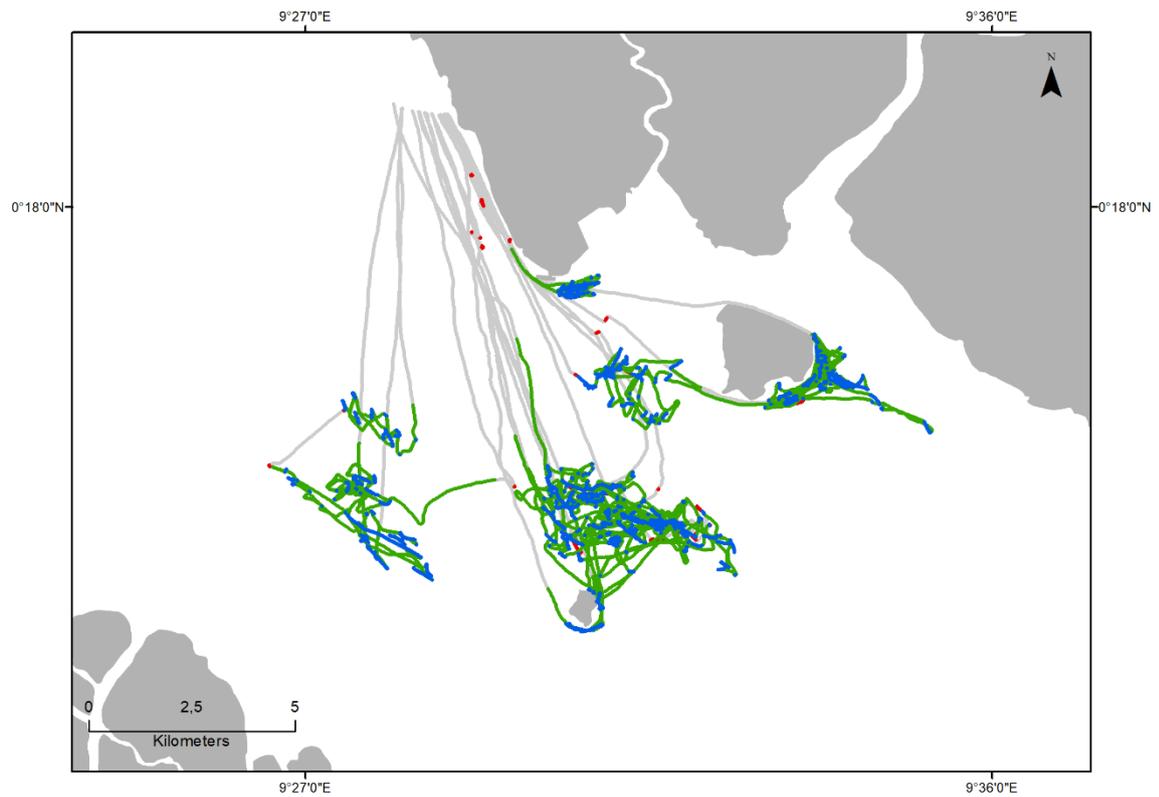
Mullet circling gillnet



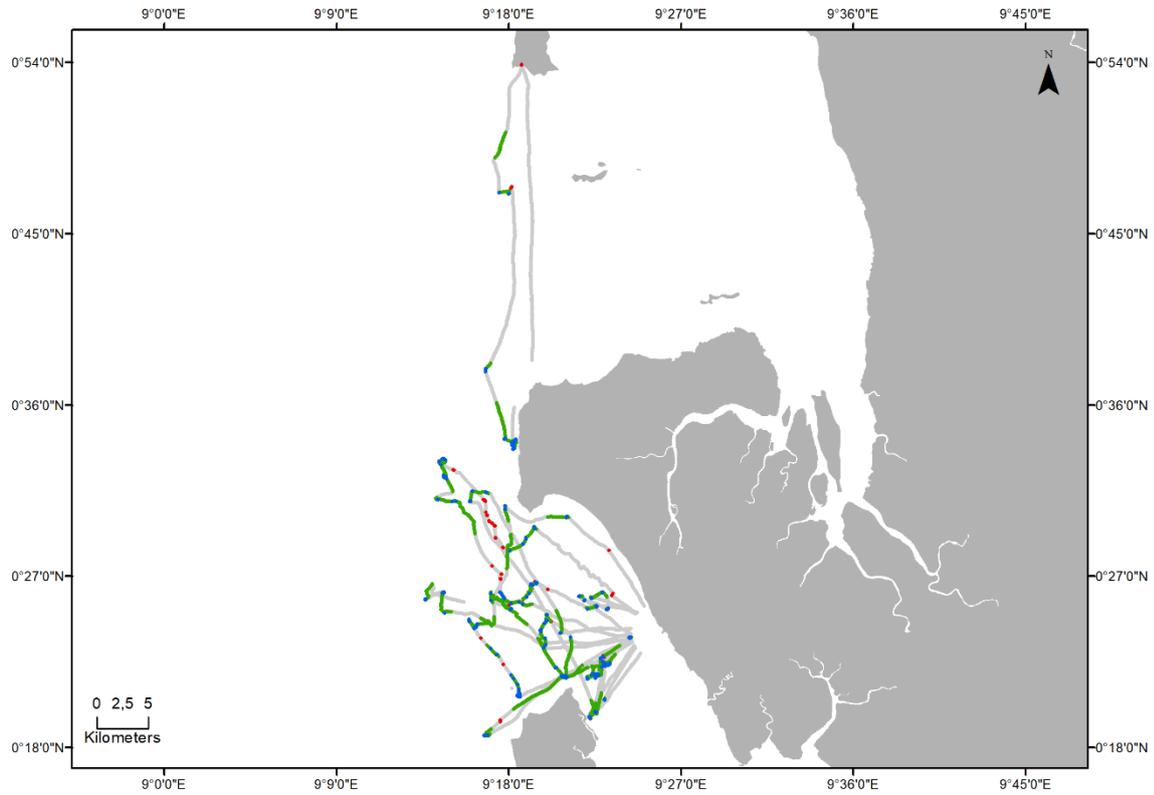
Sardine circling gillnet



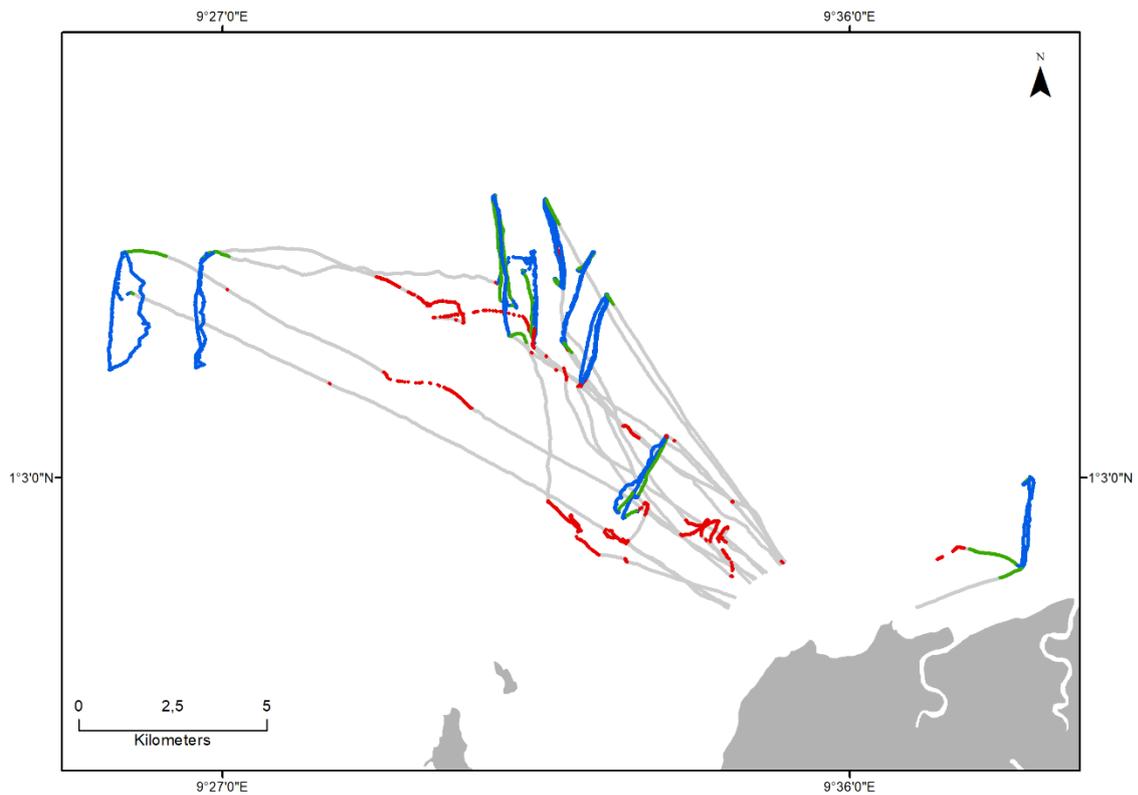
Bottom gillnet



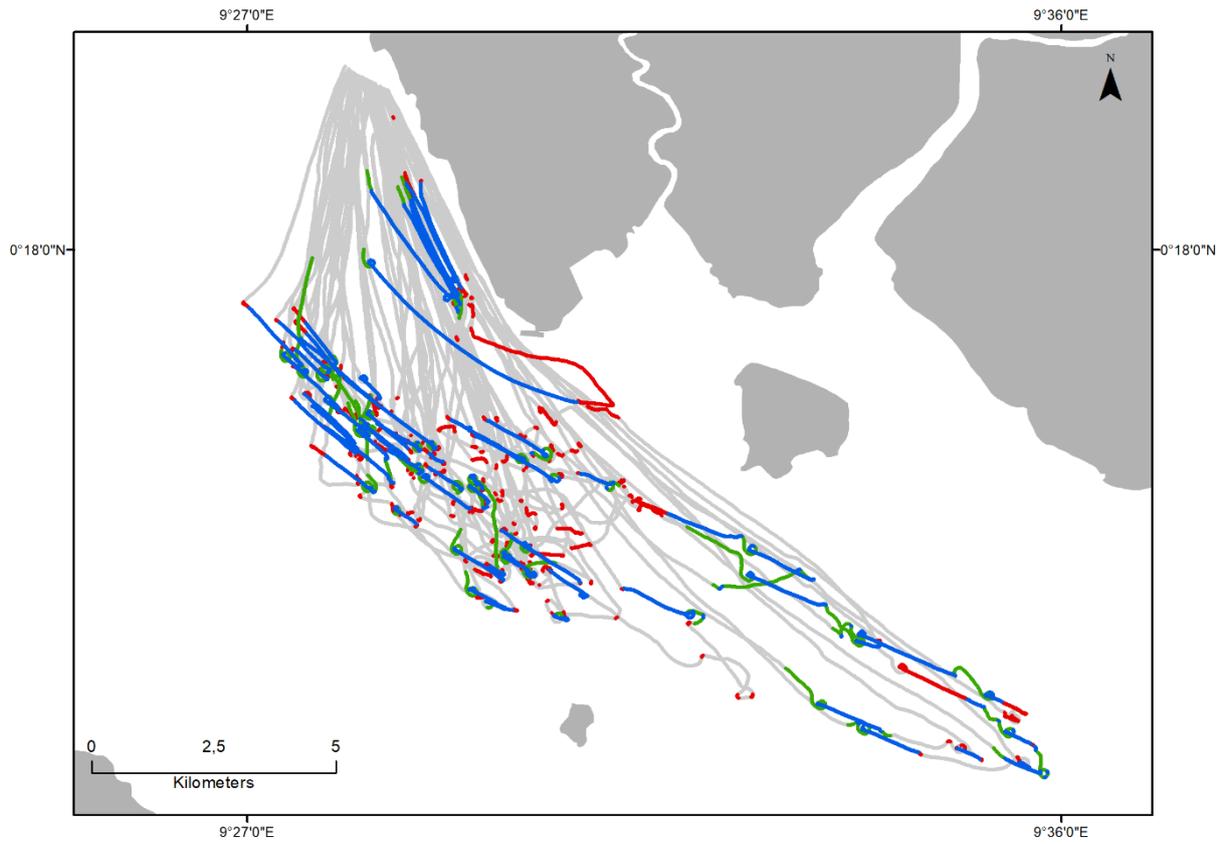
Handline



Longline



Purse seine



S1 Table B. Accuracy, sensitivity, specificity, fishing (F) prediction and non-fishing (NF) prediction from Hidden Markov Models at different time steps for each gear type (values go from 0 to 1, 1 being the best value, see methods for details)

Gear	Time step (sec)	Accuracy	Sensitivity	Specificity	F prediction	NF prediction
Sardine circling gillnet	5	0.78	0.96	0.6643	0.66	0.96
Sardine circling gillnet	10	0.78	0.962	0.6594	0.66	0.96
Sardine circling gillnet	60	0.77	0.9754	0.6316	0.64	0.97
Sardine circling gillnet	120	0.77	0.9889	0.6153	0.64	0.99
Sardine circling gillnet	180	0.76	0.989	0.6003	0.63	0.99
Sardine circling gillnet	240	0.75	0.9926	0.5789	0.62	0.99
Sardine circling gillnet	300	0.74	0.9939	0.5672	0.61	0.99
Sardine circling gillnet	360	0.74	0.9889	0.5704	0.61	0.99
Sardine circling gillnet	420	0.74	0.9915	0.5634	0.61	0.99
Sardine circling gillnet	480	0.73	0.9901	0.5537	0.6	0.99
Sardine circling gillnet	540	0.73	0.9944	0.5581	0.6	0.99
Sardine circling gillnet	600	0.72	0.9938	0.5292	0.59	0.99
Sardine circling gillnet	660	0.72	0.9797	0.5392	0.59	0.98
Sardine circling gillnet	720	0.71	0.9779	0.5404	0.59	0.97
Sardine circling gillnet	780	0.71	0.9837	0.5351	0.58	0.98
Sardine circling gillnet	840	0.7	0.9646	0.5318	0.57	0.96
Sardine circling gillnet	900	0.7	0.973	0.5128	0.59	0.96
Surface gillnet	5	0.69	0.76	0.57	0.76	0.58
Surface gillnet	10	0.7	0.7674	0.5816	0.76	0.59
Surface gillnet	60	0.7	0.7615	0.6024	0.71	0.59
Surface gillnet	120	0.72	0.7817	0.598	0.77	0.61
Surface gillnet	180	0.72	0.7749	0.6139	0.78	0.61
Surface gillnet	240	0.71	0.7653	0.6208	0.78	0.6
Surface gillnet	300	0.7	0.752	0.6178	0.78	0.59
Surface gillnet	360	0.7	0.7457	0.6313	0.78	0.59
Surface gillnet	420	0.74	0.7216	0.7687	0.85	0.61
Surface gillnet	480	0.73	0.7153	0.768	0.84	0.61
Surface gillnet	540	0.73	0.709	0.774	0.85	0.6
Surface gillnet	600	0.73	0.6977	0.7798	0.85	0.59
Surface gillnet	660	0.73	0.6977	0.7798	0.85	0.59
Surface gillnet	720	0.73	0.6977	0.7798	0.85	0.59

Surface gillnet	780	0.68	0.697	0.6494	0.78	0.55
Surface gillnet	840	0.68	0.7006	0.6438	0.78	0.55
Surface gillnet	900	0.68	0.7	0.643	0.78	0.55
Mullet circling gillnet	5	0.75	0.95	0.57	0.67	0.92
Mullet circling gillnet	10	0.75	0.9667	0.5497	0.67	0.95
Mullet circling gillnet	60	0.74	0.9795	0.5208	0.66	0.96
Mullet circling gillnet	120	0.73	0.9854	0.5017	0.65	0.97
Mullet circling gillnet	180	0.74	0.982	0.5265	0.65	0.97
Mullet circling gillnet	240	0.76	0.9818	0.5605	0.68	0.97
Mullet circling gillnet	300	0.76	0.9817	0.5572	0.67	0.97
Mullet circling gillnet	360	0.77	0.9778	0.5804	0.68	0.97
Mullet circling gillnet	420	0.76	0.9714	0.5522	0.67	0.95
Mullet circling gillnet	480	0.76	0.9676	0.5517	0.67	0.95
Mullet circling gillnet	540	0.74	0.9835	0.5247	0.66	0.97
Mullet circling gillnet	600	0.72	0.9863	0.4788	0.64	0.97
Mullet circling gillnet	660	0.72	0.9799	0.472	0.63	0.96
Mullet circling gillnet	720	0.71	0.9669	0.4747	0.63	0.94
Mullet circling gillnet	780	0.7	0.994	0.44348	0.61	0.99
Mullet circling gillnet	840	0.69	0.974	0.4386	0.61	0.95
Mullet circling gillnet	900	0.68	0.9784	0.4207	0.59	0.96
Purse seine	5	0.85	0.94	0.77	0.79	0.94
Purse seine	10	0.85	0.969	0.7437	0.77	0.96
Purse seine	60	0.83	0.9798	0.6938	0.74	0.97
Purse seine	120	0.81	0.9856	0.6475	0.72	0.98
Purse seine	180	0.75	0.9889	0.5337	0.66	0.98
Purse seine	240	0.74	0.9979	0.5106	0.65	1
Purse seine	300	0.74	0.996	0.5	0.64	0.99
Purse seine	360	0.72	0.9968	0.4791	0.63	0.99
Purse seine	420	0.72	0.9944	0.4824	0.63	0.99
Purse seine	480	0.71	0.9935	0.4646	0.62	0.99
Purse seine	540	0.71	0.9928	0.4557	0.62	0.99
Purse seine	600	0.69	0.9947	0.4207	0.61	0.99
Purse seine	660	0.7	0.9971	0.4316	0.61	0.99
Purse seine	720	0.69	1	0.42	0.6	1
Purse seine	780	0.69	0.9965	0.4188	0.61	0.99
Purse seine	840	0.67	1	0.3907	0.59	1
Purse seine	900	0.68	0.996	0.3863	0.59	0.99

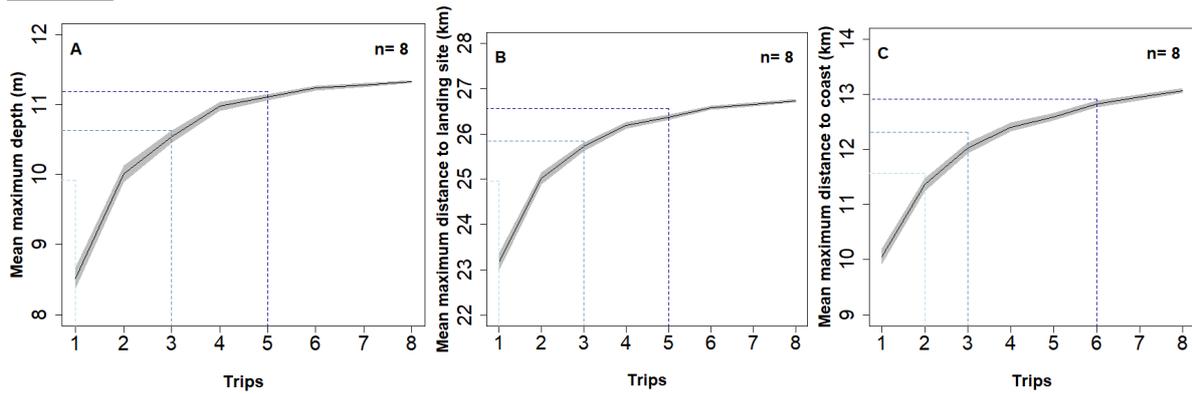
Hand line	5	0.74	0.85	0.43	0.8	0.51
Hand line	10	0.73	0.8333	0.4439	0.8	0.5
Hand line	60	0.71	0.7902	0.4774	0.8	0.46
Hand line	120	0.7	0.787	0.4746	0.8	0.45
Hand line	180	0.7	0.7755	0.4916	0.81	0.45
Hand line	240	0.68	0.7533	0.4918	0.8	0.42
Hand line	300	0.68	0.7419	0.5185	0.81	0.43
Hand line	360	0.67	0.7232	0.5156	0.8	0.41
Hand line	420	0.67	0.7332	0.5156	0.8	0.41
Hand line	480	0.65	0.7016	0.5165	0.8	0.39
Hand line	540	0.65	0.685	0.5427	0.81	0.38
Hand line	600	0.64	0.679	0.5338	0.8	0.38
Hand line	660	0.64	0.6707	0.5661	0.81	0.38
Hand line	720	0.62	0.6361	0.5928	0.81	0.37
Hand line	780	0.62	0.6295	0.5829	0.8	0.37
Hand line	840	0.61	0.6207	0.5812	0.8	0.36
Hand line	900	0.6	0.6086	0.5932	0.8	0.35
Long line	5	0.75	0.96	0.43	0.72	0.88
Long line	10	0.75	0.9651	0.4343	0.72	0.89
Long line	60	0.75	0.9716	0.4269	0.72	0.91
Long line	120	0.7	0.8484	0.474	0.71	0.67
Long line	180	0.66	0.7908	0.4655	0.69	0.6
Long line	240	0.64	0.6654	0.5908	0.71	0.54
Long line	300	0.64	0.5529	0.7734	0.79	0.54
Long line	360	0.62	0.5447	0.7359	0.76	0.52
Long line	420	0.63	0.5709	0.72	0.75	0.53
Long line	480	0.64	0.5192	0.815	0.81	0.53
Long line	540	0.64	0.5259	0.8182	0.81	0.53
Long line	600	0.64	0.6029	0.7029	0.75	0.54
Long line	660	0.64	0.5474	0.792	0.8	0.54
Long line	720	0.64	0.5872	0.7179	0.75	0.54
Long line	780	0.62	0.5312	0.757	0.77	0.52
Long line	840	0.58	0.3108	0.98	0.96	0.49
Long line	900	0.5	0.1727	0.9785	0.93	0.44
Bottom gillnet	5	0.75	0.75	0.75	0.94	0.36
Bottom gillnet	10	0.85	0.8819	0.6865	0.94	0.52
Bottom gillnet	60	0.9	0.9453	0.66	0.94	0.69

Bottom gillnet	120	0.92	0.9697	0.6399	0.94	0.8
Bottom gillnet	180	0.93	0.9762	0.6527	0.94	0.83
Bottom gillnet	240	0.93	0.9784	0.6557	0.94	0.85
Bottom gillnet	300	0.93	0.9872	0.6319	0.94	0.9
Bottom gillnet	360	0.93	0.9908	0.625	0.93	0.94
Bottom gillnet	420	0.94	0.991	0.6408	0.94	0.93
Bottom gillnet	480	0.93	0.9938	0.5934	0.93	0.95
Bottom gillnet	540	0.93	0.9938	0.5934	0.93	0.95
Bottom gillnet	600	0.93	0.9938	0.5934	0.93	0.95
Bottom gillnet	660	0.93	0.9938	0.5934	0.93	0.95
Bottom gillnet	720	0.93	0.9938	0.5934	0.93	0.95
Bottom gillnet	780	0.93	0.9938	0.5934	0.93	0.95
Bottom gillnet	840	0.93	0.9938	0.5934	0.93	0.95
Bottom gillnet	900	0.93	0.9938	0.5934	0.93	0.95

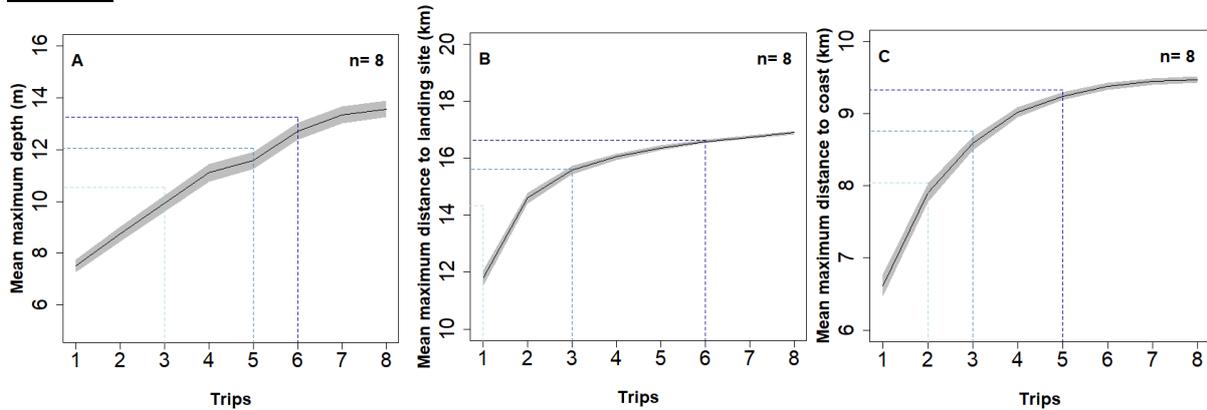
Appendix 8: Supplementary material

Figure S1: Sample accumulation curves illustrating the amount of new information about the attributes of fishing locations gained by each additional trip (maximum depth: A; and maximum distance to landing site: B; and maximum offshore distance: C) within each zone (Zone A: A-C; Zone B: D-F and Zone C: G-I). Solid black line represents the mean and grey polygons 95% confidence intervals for each attribute. Dashed blue lines represent number of samples required to represent 0.5, 0.75 and 0.95 of the variation in the data.

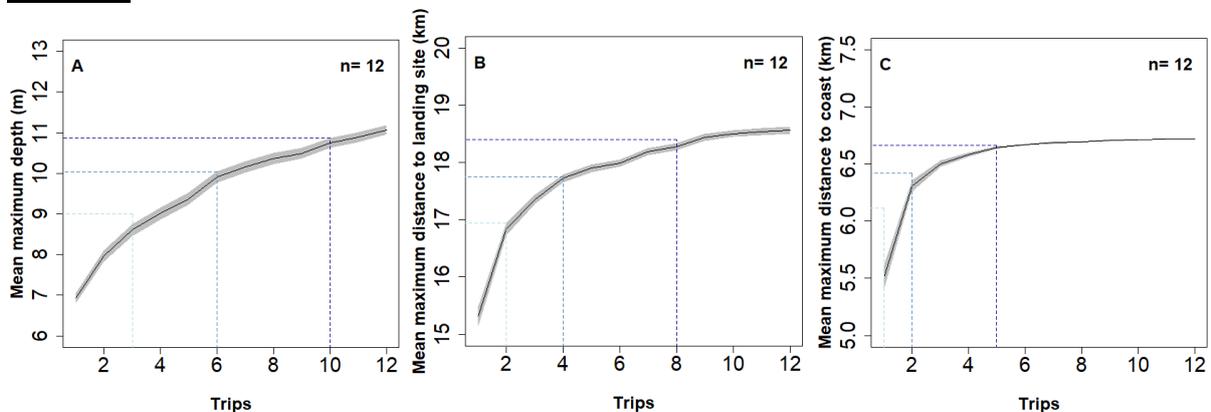
Métier 1



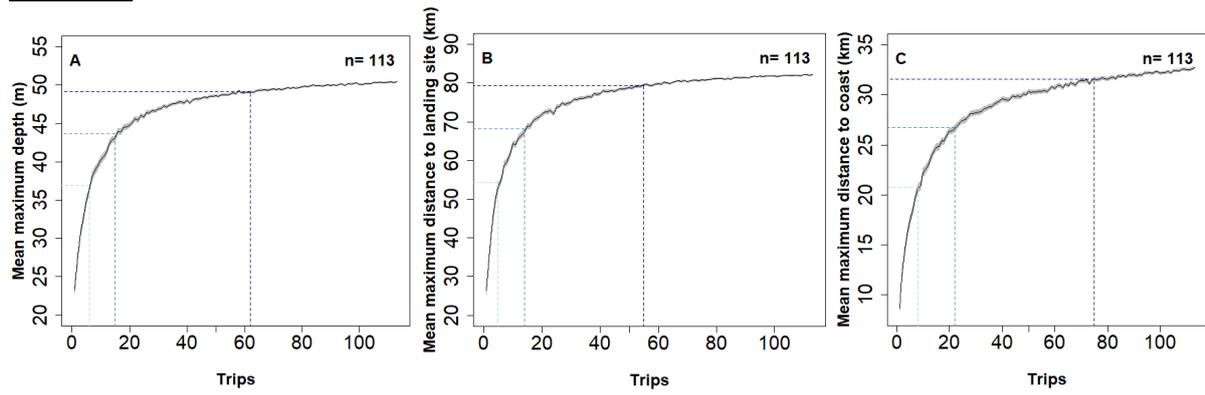
Métier 2



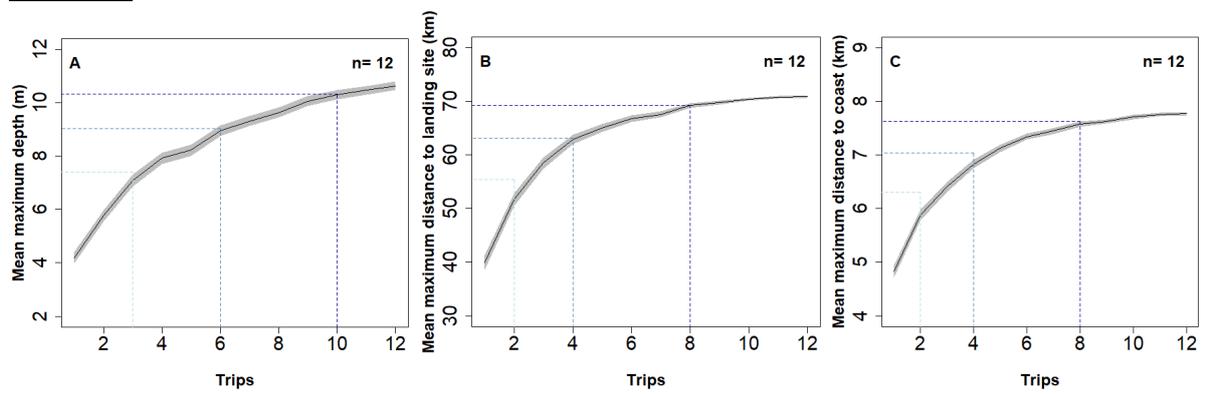
Métier 12



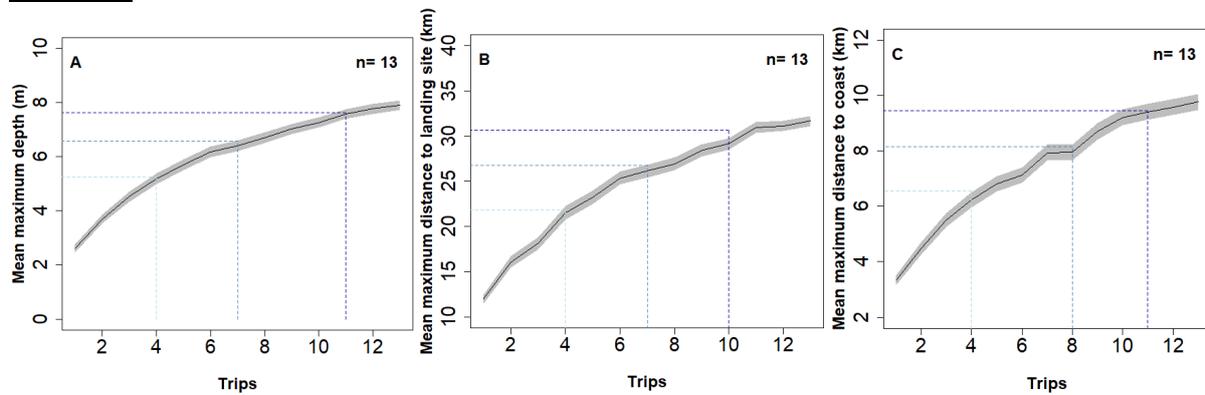
Métier 14



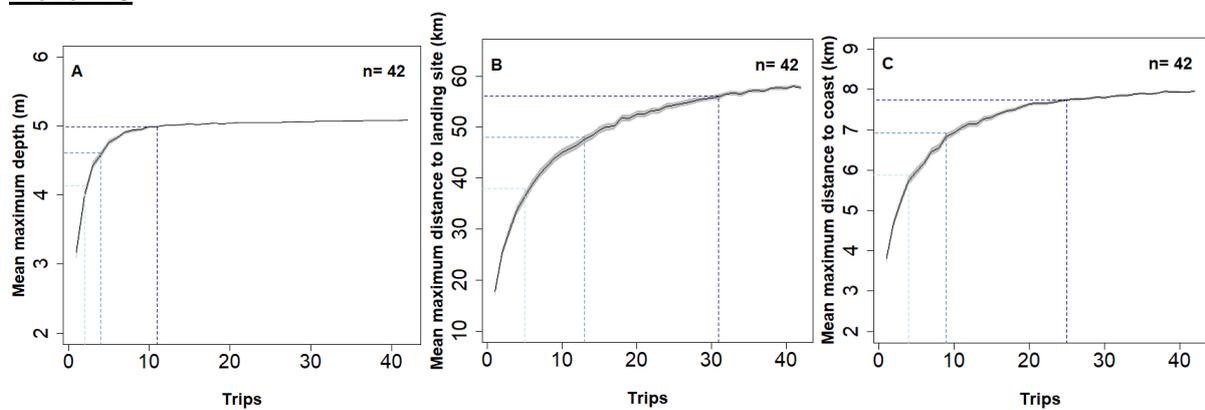
Métier 15



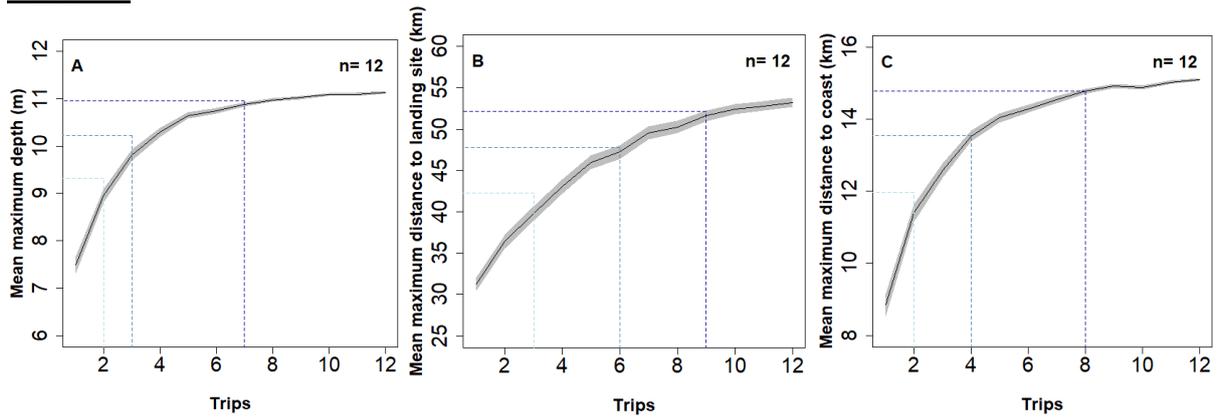
Métier 16



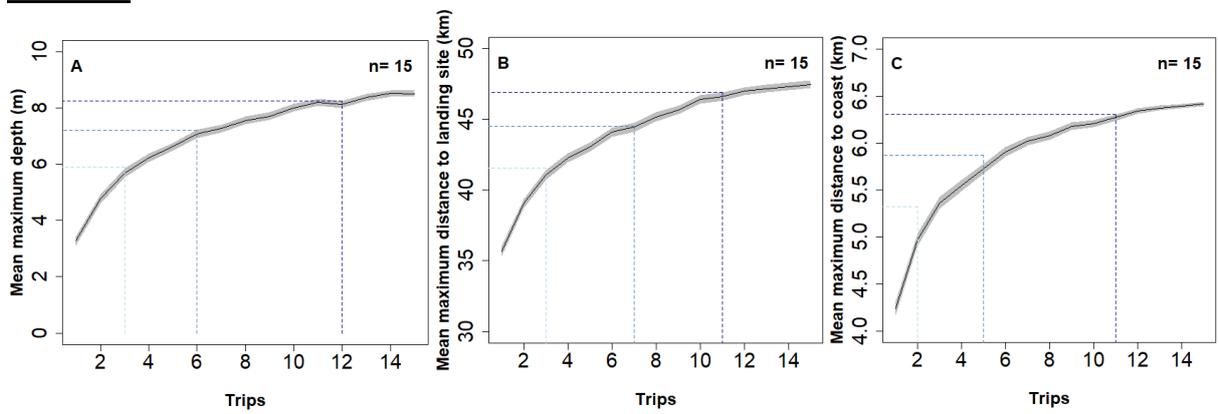
Métier 18



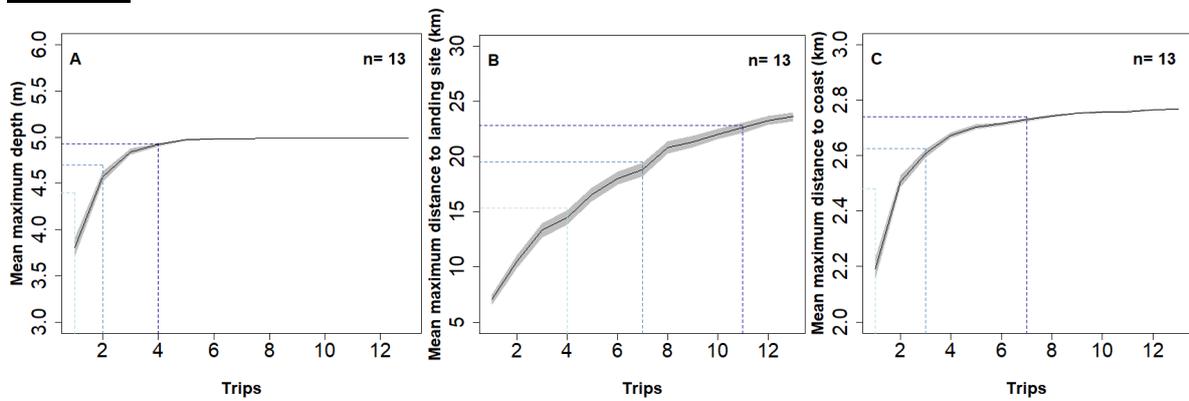
Métier 20



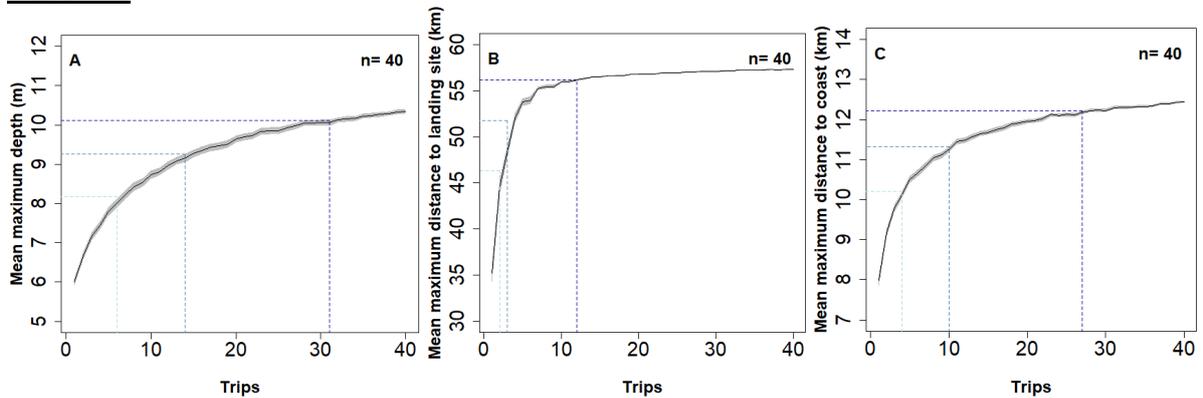
Métier 23



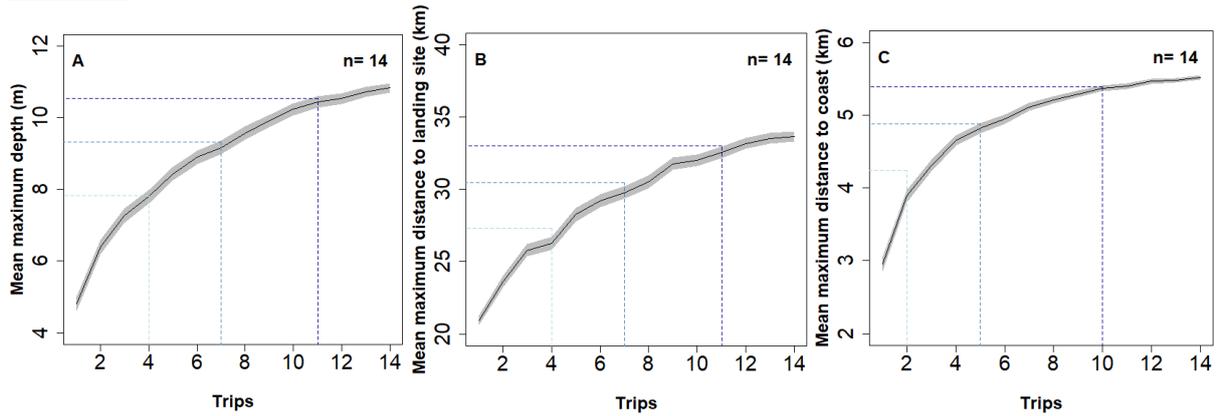
Métier 27



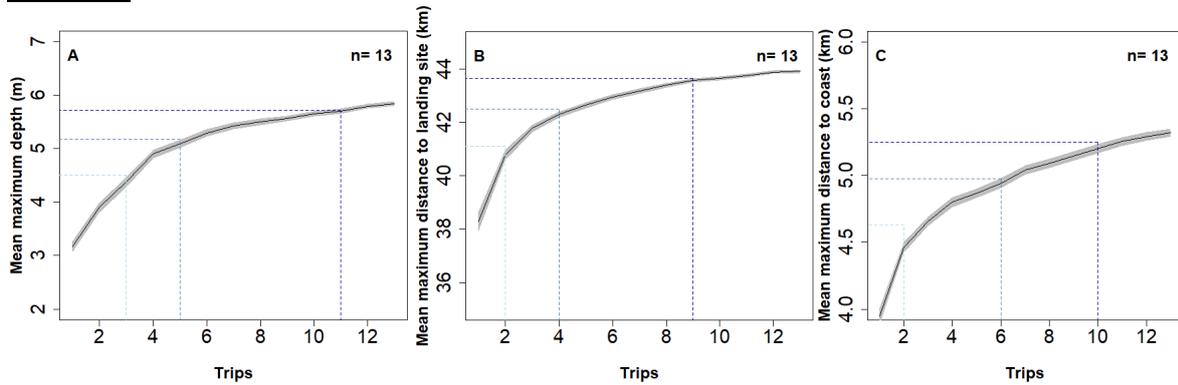
Métier 29



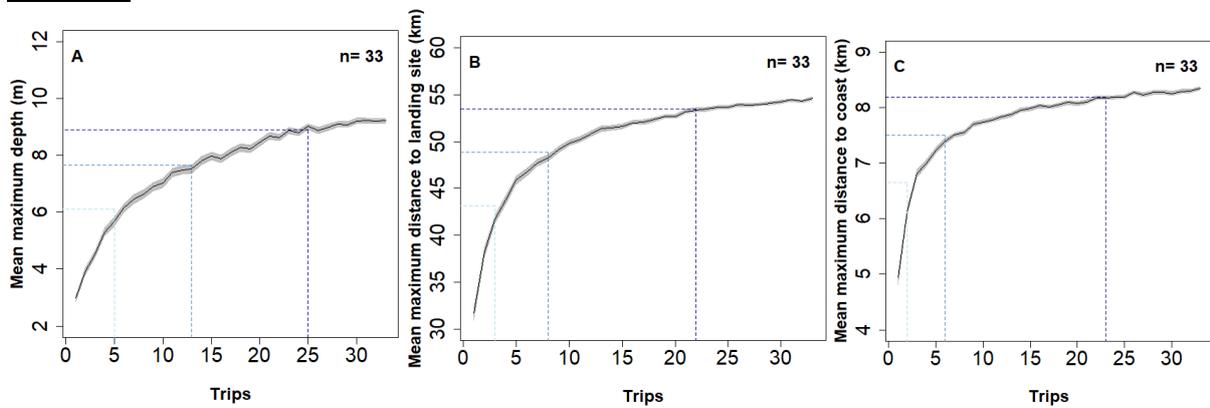
Métier 31



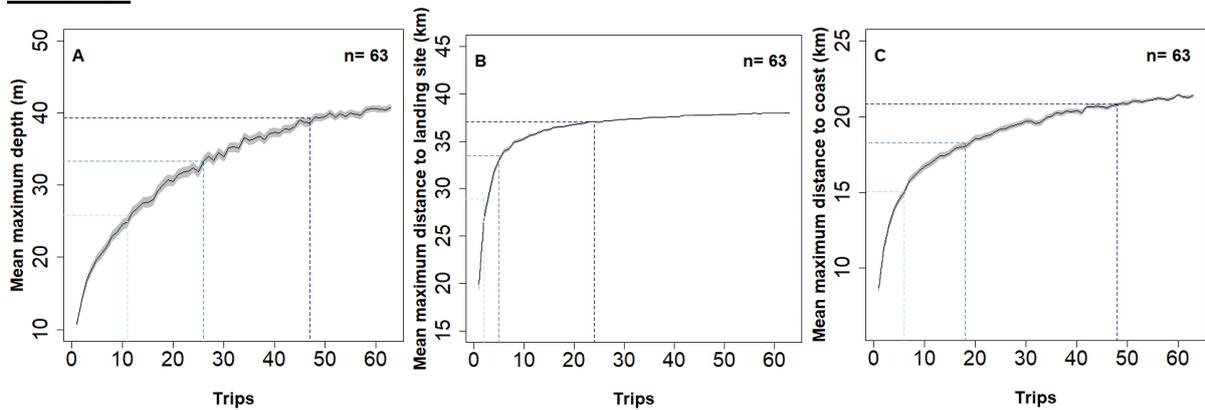
Métier 32



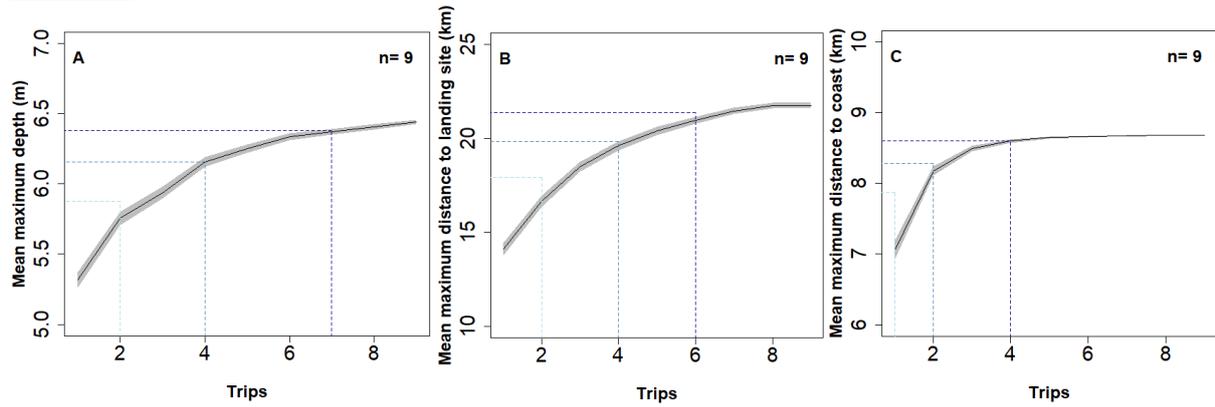
Métier 33



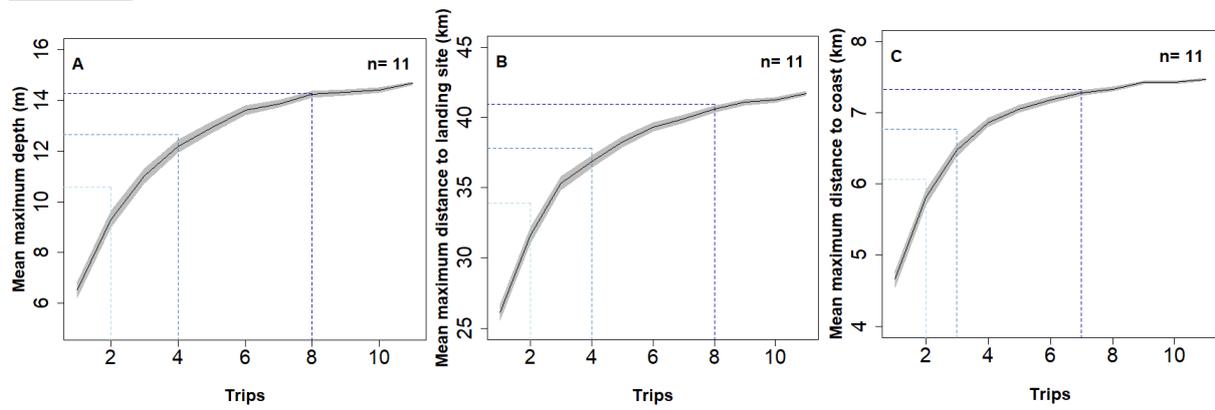
Métier 34



Métier 38



Métier 42



Métier 46

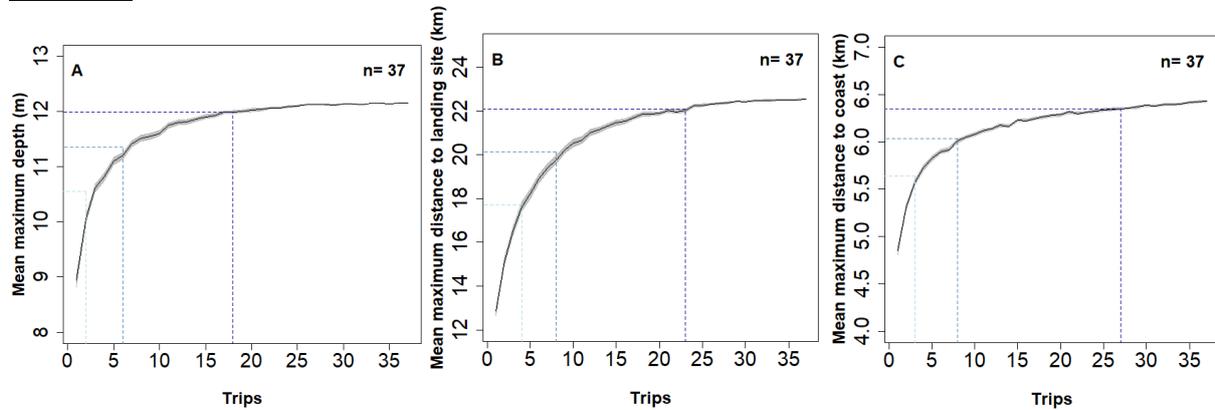
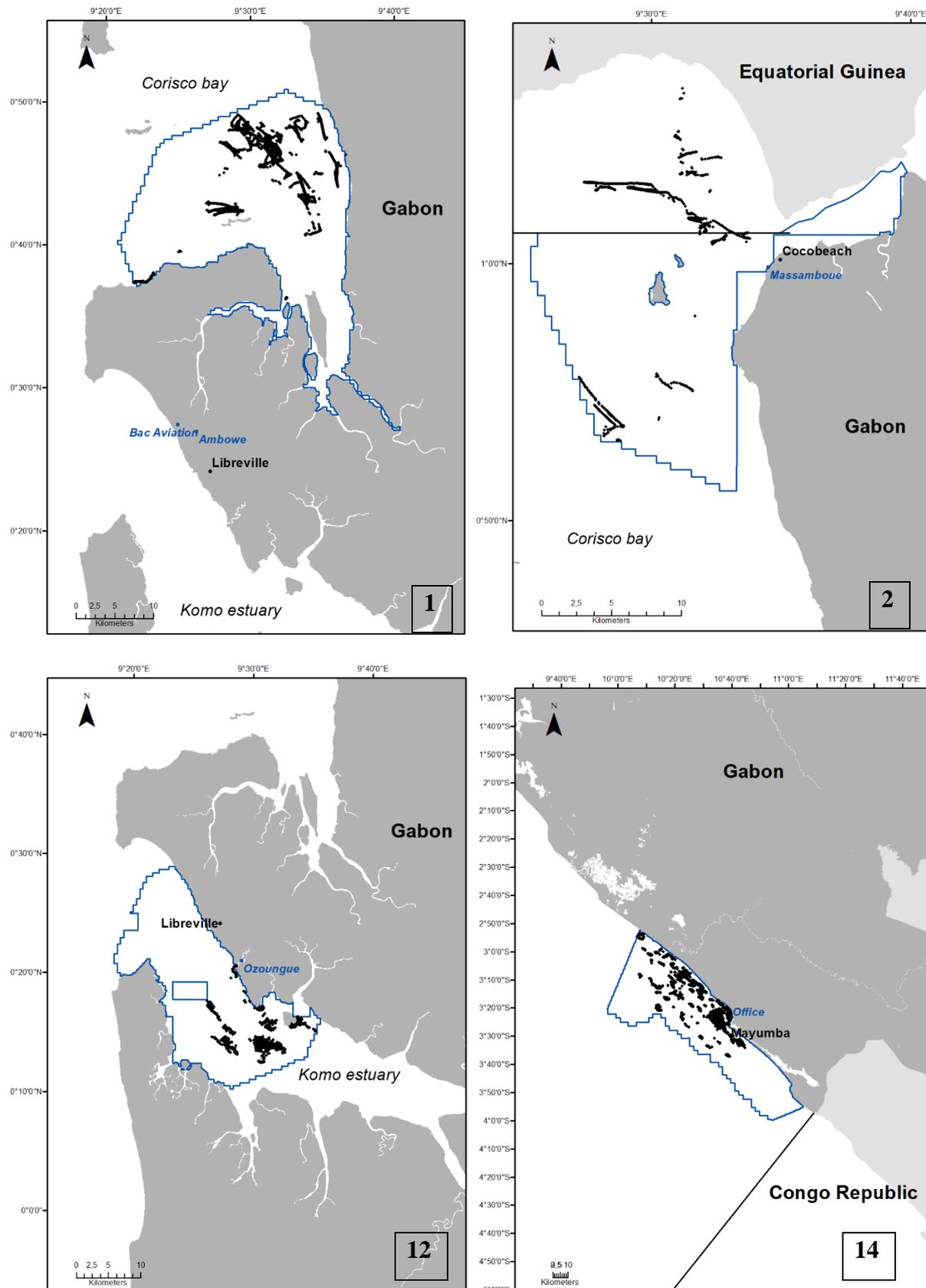
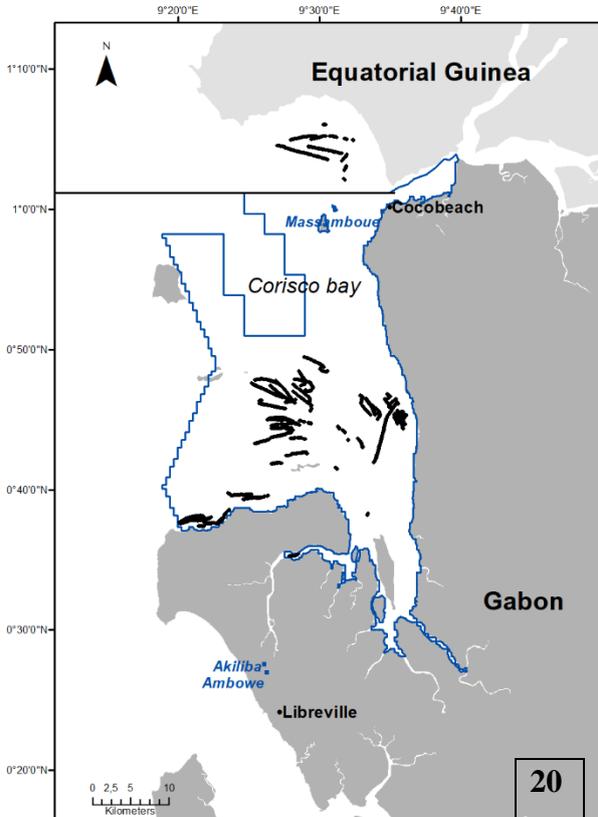
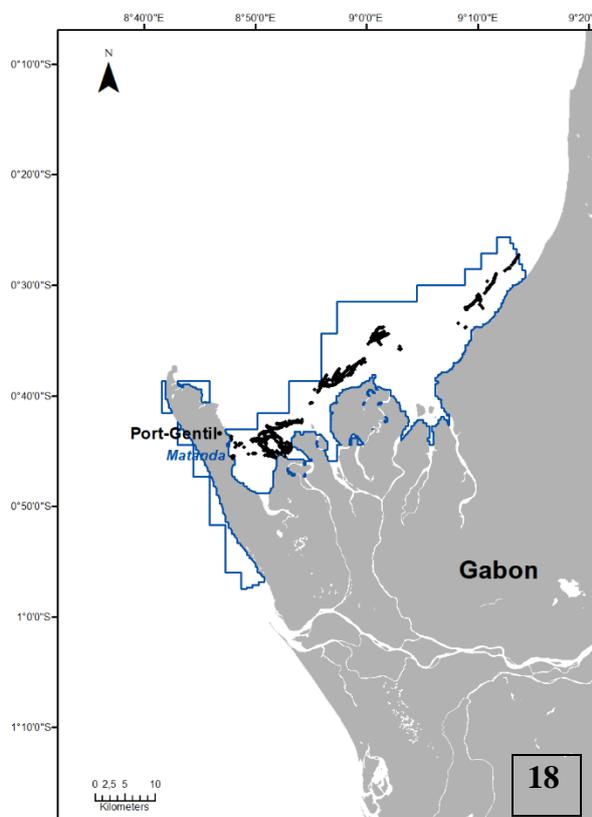
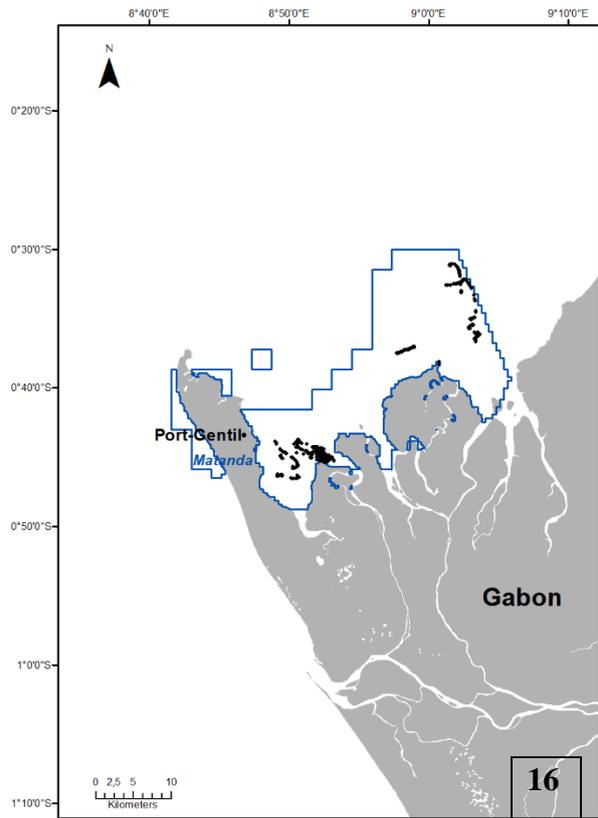
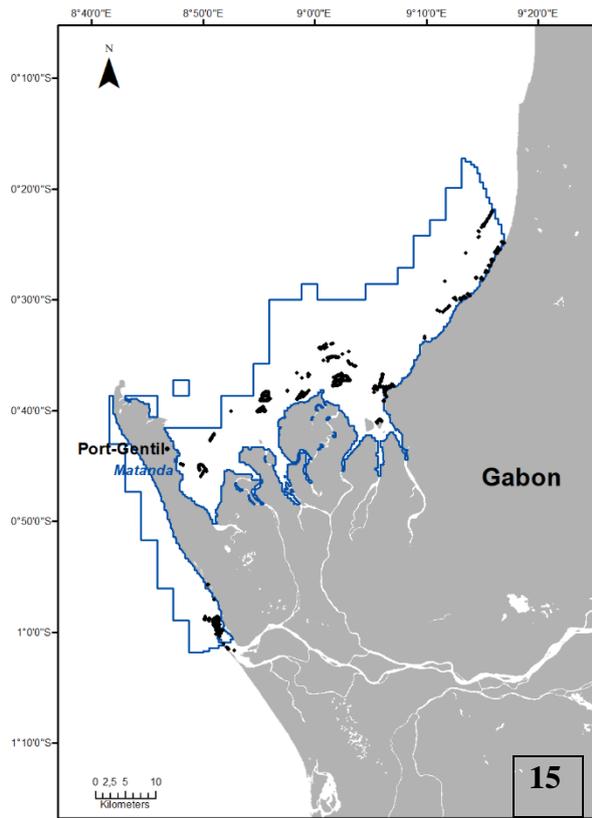
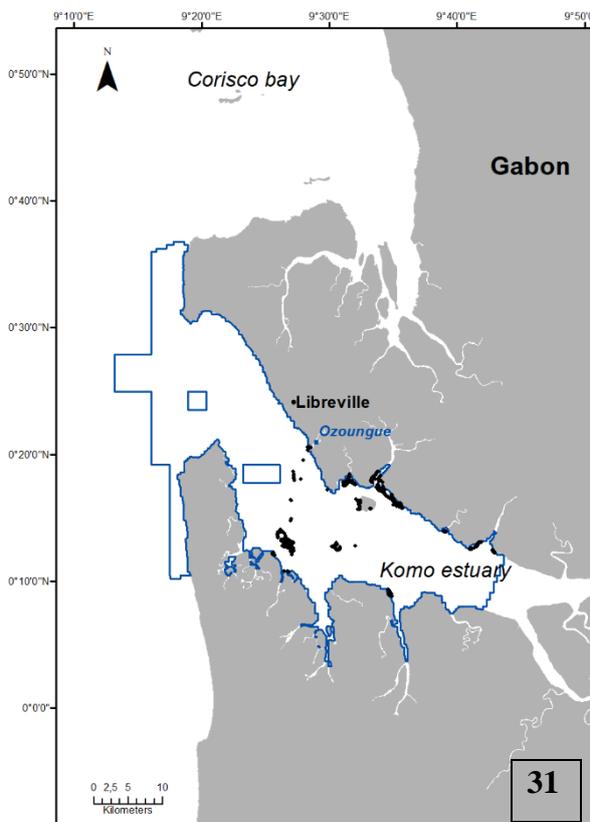
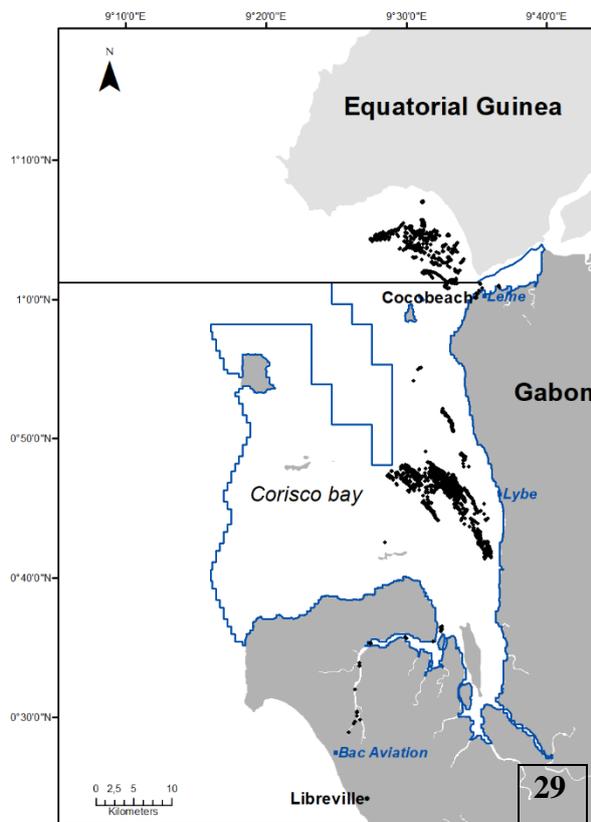
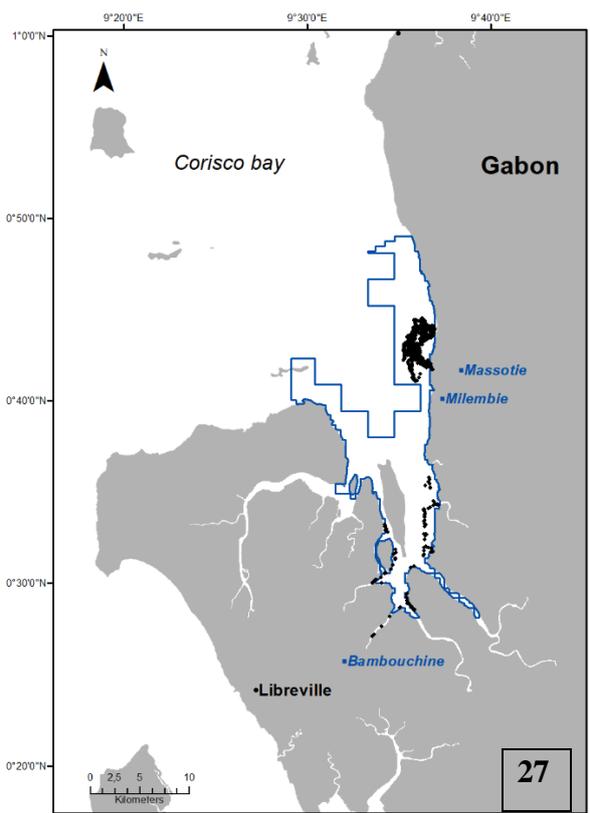
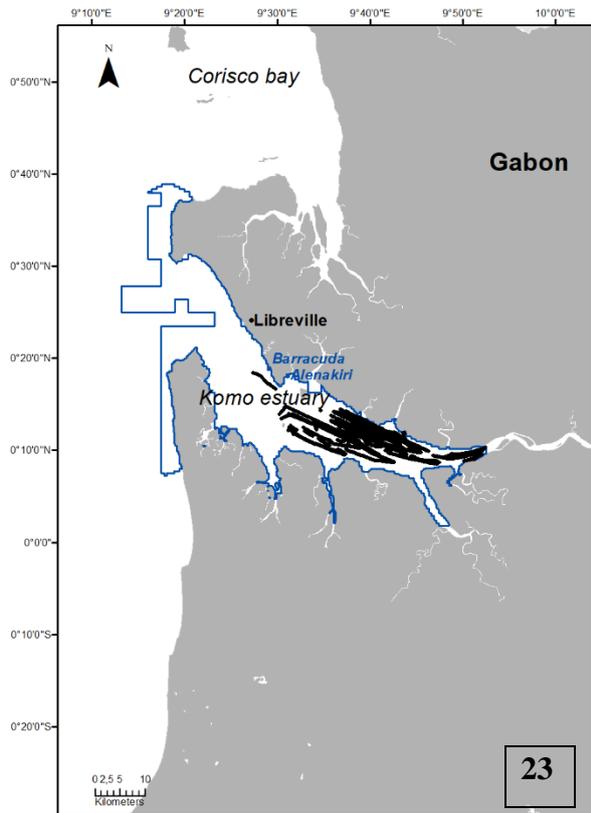
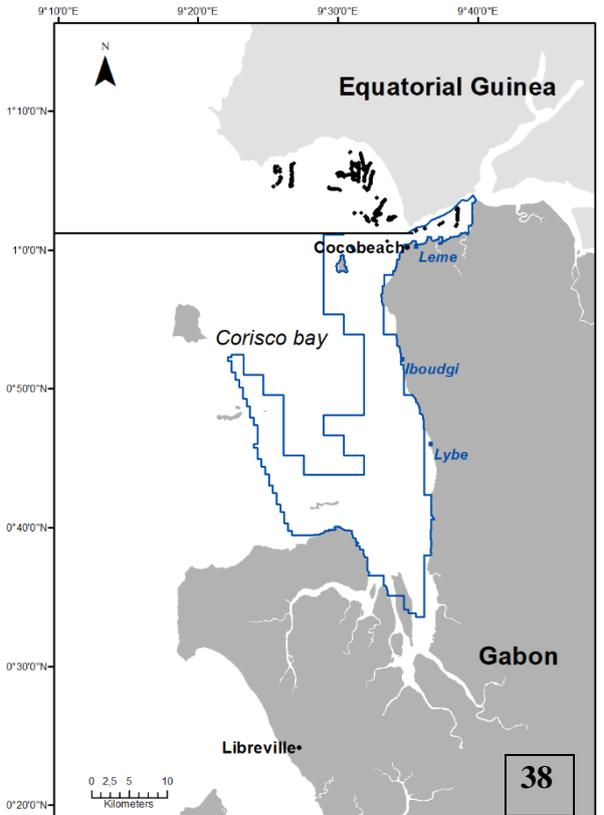
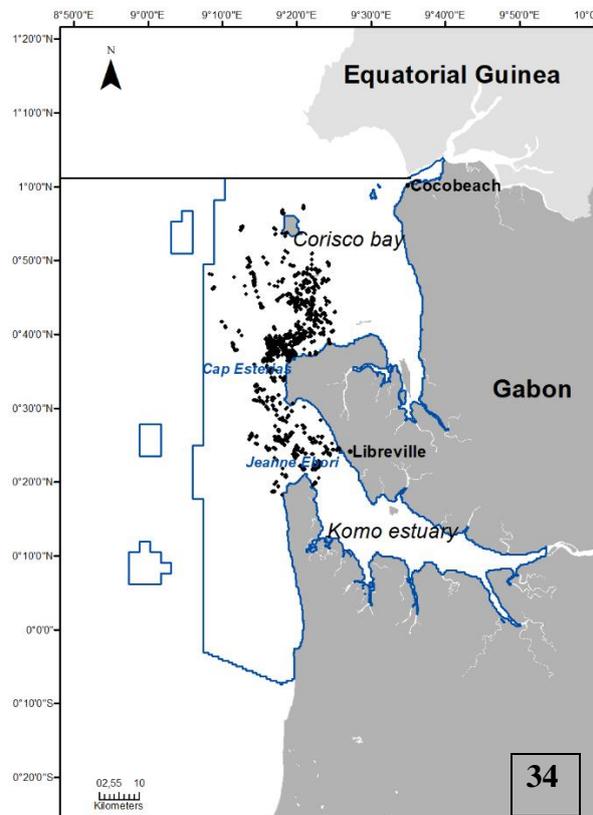
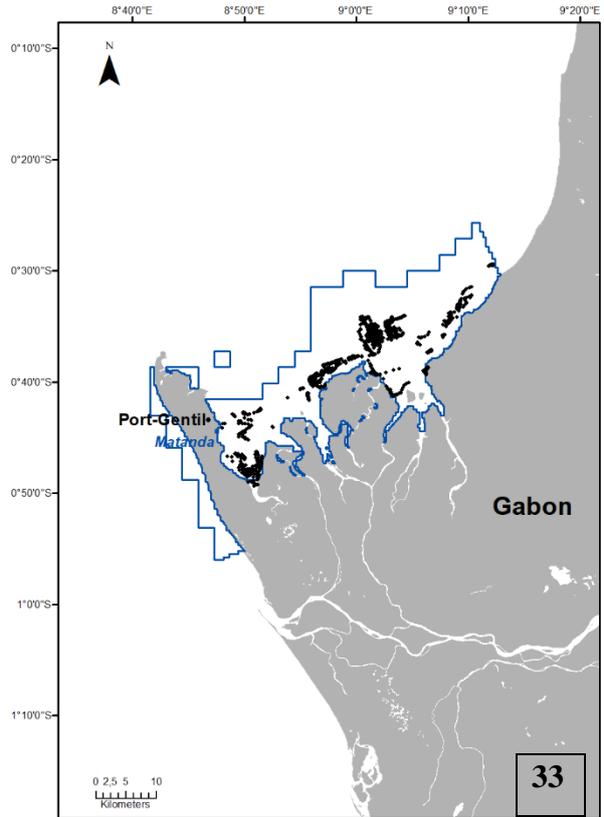
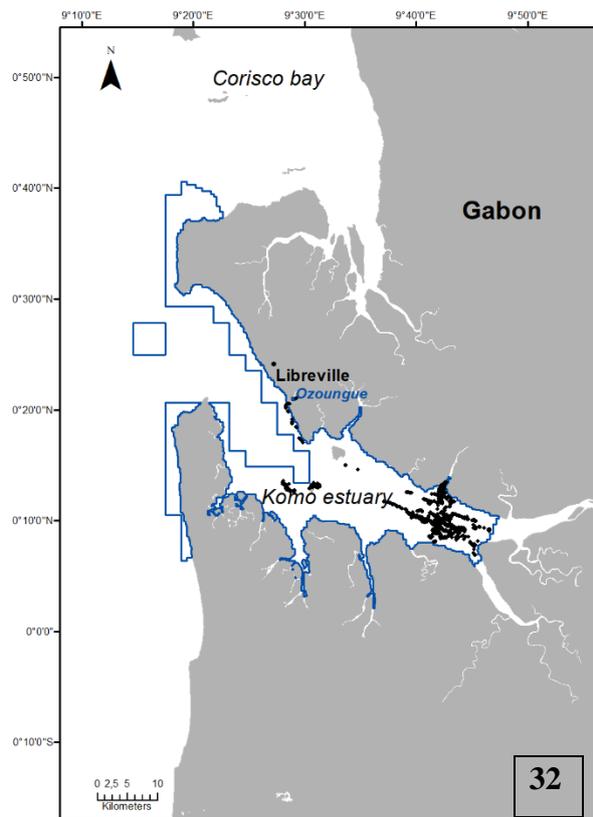


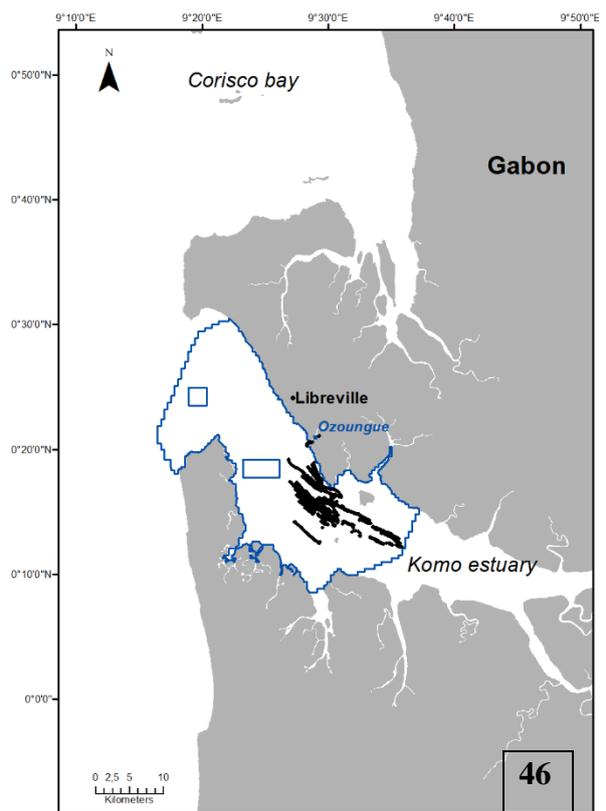
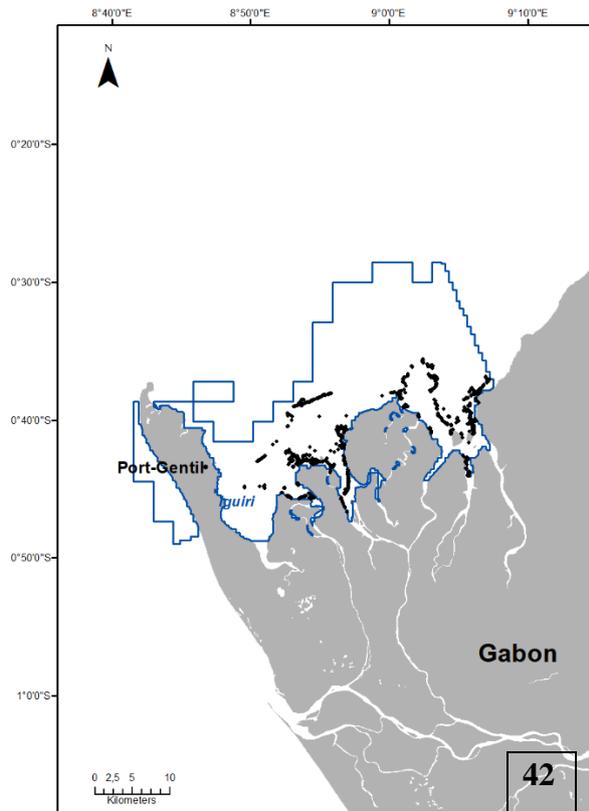
Figure S2: Maps of suitable fishing areas métier and starting landing sites (in blue). Black dots are fishing locations from sampled trips and black line is the EEZ limit. Métier code is indicated in the bottom right corner.











Titre : Pêche artisanale maritime au Gabon : fonctionnement, dynamique et spatialisation

Mots clés : Pêche artisanale, Gabon, Métiers, Spatialisation, Aires Marines Protégées

Résumé : Dans les pays en développement, la pêche artisanale est cruciale pour la sécurité alimentaire, l'emploi local et l'utilisation durable des ressources marines. Paradoxalement, la pêche artisanale est beaucoup moins étudiée que la pêche industrielle. Ce manque de données peut conduire à une sous-estimation des captures et en conséquence, à une surexploitation des ressources halieutiques et à une marginalisation des communautés de pêcheurs. La gestion spatiale est devenue un outil important pour les gestionnaires de la pêche qui cherchent à préserver les habitats et à restaurer les stocks de poissons, ainsi que ceux qui souhaitent optimiser le rendement de la pêche. Grâce au suivi satellitaire, les déplacements des pêcheurs sont connus, mais il est difficile d'identifier les zones où la ressource halieutique est réellement extraite du milieu.

Pour pallier cette imprécision, de nombreuses études se tournent vers la modélisation du mouvement, des méthodes qui permettent d'inférer les comportements sous-jacents des pêcheurs, à travers des bases de données de trajectoires très volumineuses. Grâce à ces méthodes, il est possible de mettre en relation la distribution spatiale de la pêche avec les autres utilisations de l'espace maritime et en particulier avec les aires marines protégées, afin d'évaluer la pertinence d'un zonage et le respect de la législation. Cette thèse s'appuie sur l'exemple du Gabon pour illustrer ces enjeux et défis propres à la pêche artisanale, en fournissant des outils pour caractériser la pêche artisanale maritime, géolocaliser de l'effort nominal de la pêche et mettre cela en perspective avec le réseau d'aires marines protégées.

Title: Small-Scale Marine Fisheries In Gabon: Functioning, Dynamism and Spatialisation

Keywords: Small-scale fisheries, Gabon, Métiers, Spatialisation, Marine Protected Areas

Abstract: In developing countries, small-scale fisheries are crucial for food security, local employment and sustainable use of marine resources. Paradoxically, small-scale fisheries are under studied, compared to the industrial sector. This lack of data can lead to catches underestimation and, hence an over-exploitation of marine resources associated with fisher communities marginalisation. Spatial management has become an important tool for fisheries managers who seek to maintain habitats and to restore fishes stocks, as well as to optimise fisheries yield. Thanks to satellite monitoring, fishermen journeys are known but, it remains difficult to identify areas where resources are actually extracted from the environment.

To address this imprecision, several studies focus on movement modelling, to infer fishermen underlying behaviour, through large trajectories databases. Thanks to these methods, it becomes possible to link spatial distribution of fisheries with other marine space uses and, in particular with marine protected areas. It allows to assess the zoning relevance and stakeholders compliance. This work uses Gabon as an example to illustrate these issues and challenges, typical of small-scale fisheries, to provide tools to characterise marine small-scale fisheries, to geolocate nominal fishing effort and to put it in perspective with marine protected areas network.