Éditeurs scientifiques
Alain Caverivière, Christian Chaboud, Théophile Rafalimanana

Les crevettes côtières de Madagascar

Biologie, exploitation, gestion

IRD Éditions

Les crevettes côtières de Madagascar

Biologie, exploitation, gestion

Les crevettes côtières de Madagascar

Biologie, exploitation, gestion

Éditeurs scientifiques
Alain Caverivière, Christian Chaboud,
Théophile Rafalimanana

IRD Éditions
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

Marseille, 2008

Préparation éditoriale
Yolande Cavallazzi

Mise en page
Bill Production

Maquette de couverture
Michelle Saint-Léger

Maquette intérieure
Pierre Lopez, Catherine Plasse

Coordination, fabrication
Élisabeth Lorne

Photo de couverture
Collecte en baie de Narindra,
photo G. Schumacher/Sogediproma

La loi du 1er juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1er de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2008

ISBN : 978-2-7099-1645-5

Sommaire

Préface 7
A. P. Ramanoelina

Remerciements 11

Introduction 13
A. Caverivière, C. Chaboud

Partie 1
BIOLOGIE ET ENVIRONNEMENT 19

Chapitre 1
Présentation du milieu et des espèces 21
T. Rafalimanana, A. Caverivière

Chapitre 2
Déplacements en mer des crevettes *Fenneropenaeus indicus* 41
T. Rafalimanana

Chapitre 3
Croissance des crevettes côtières *Fenneropenaeus indicus*, *Metapenaeus monoceros* et *Penaeus semisulcatus* à Madagascar 53
T. Rafalimanana, A. Caverivière

Chapitre 4
Relations entre la pêche crevettière et les facteurs environnementaux 79
P. Voisin, Y. Sandon

Partie 2
EXPLOITATION 91

Chapitre 5
Principaux traits d'évolution de la pêcherie crevettière industrielle et artisanale 93
H. L. Razafindrakoto

Chapitre 6
Principaux engins de la pêche traditionnelle et leur sélectivité sur la côte nord-ouest de Madagascar (baie d'Ambaro) 121
A. de Rodellec du Porzic, A. Caverivière

Chapitre 7
Résultats des travaux menés sur la pêche traditionnelle crevettière depuis 2003 143
B. A. Rakotodratsimba, C. Chaboud, N. Rasoanandrasana

Chapitre 8
Dynamique des populations des crevettes *Fenneropenaeus indicus* dans les quatre zones d'aménagement à Madagascar 169
A. Caverivière, H. L. Razafindrakoto

Chapitre 9
Dynamique des populations des crevettes *Metapenaeus monoceros* dans trois zones d'aménagement à Madagascar 217
Caverivière, H. L. Razafindrakoto

Chapitre 10
Les captures accessoires des crevettiers industriels et artisanaux 237
F. Randriarilala, T. Rafalimanana, A. Caverivière

Partie 3
GESTION 259

Chapitre 11
Modélisation bioéconomique de la pêcherie crevettière malgache 261
C. Chaboud

Chapitre 12
Une extension pluriannuelle du modèle bioéconomique de la pêcherie crevettière malgache 311
C. Chaboud

Chapitre 13
Évolution du système d'aménagement, relations avec la dynamique de l'exploitation et son contexte économique 327
C. Chaboud, T. Rafalimanana, H Razafindrakoto

Chapitre 14
Bilan et perspectives 345
A. Caverivière, C. Chaboud

Bibliographie 349

Liste des auteurs 361

Préface

Gérer c'est prévoir, voilà une évidence bien difficile à assumer par les temps d'incertitude économique et environnementale auxquels sont confrontés ceux qui ont la responsabilité de biens communs environnementaux comme les ressources halieutiques.

Madagascar est riche en ressources naturelles, et hélas n'en a pas, à ce jour, retiré tous les bénéfices dont pourrait profiter l'ensemble de la population. Parmi ces ressources, les crevettes côtières, présentes sur l'ensemble de notre littoral, particulièrement abondantes du cap Saint-Sébastien à l'embouchure du Mangoky, tiennent une place particulière.

Les recherches pionnières menées à Madagascar à partir des années 1950 ont permis d'identifier les principales ressources, leur répartition spatiale et d'estimer leur potentiel. Alors que le marché international de la crevette se développait rapidement grâce à la croissance rapide des économies japonaise et d'Europe de l'Ouest, des industriels ont pris le risque de saisir ces opportunités et d'investir dans un secteur jusque-là balbutiant dans la Grande Île. L'investissement dans les flottes industrielles et dans les infrastructures de transformation à terre ainsi que le développement de la collecte et de la pêche traditionnelle ont produit des performances remarquables : les captures industrielles sont passées de 2 000 à 7 900 tonnes entre 1969 et 1987. La filière crevettière, bien avant le développement rapide de l'aquaculture, figurait déjà parmi les premiers secteurs exportateurs de notre économie.

Cependant et dès le milieu des années 1990, la phase de développement rapide de la pêcherie s'est terminée : les débarquements se sont stabilisés en

dépit de la poursuite de l'accroissement de l'effort de pêche. Des indicateurs plus inquiétants encore ont été observés : tendance à la baisse des tailles capturées, tensions pour le partage de la ressource entre segments de la filière, contestation du système d'octroi des droits de pêche. Il s'en est suivi une dégradation des résultats économiques de la filière et donc de sa contribution aux performances macroéconomiques du pays.

Des réformes profondes sont apparues nécessaires pour fonder une nouvelle gouvernance crevettière, plus respectueuse des engagements internationaux de notre pays pour une pêche responsable, plus efficace dans l'octroi et la sécurisation des droits de pêche, plus attentive au rôle et aux attentes des acteurs du secteur privé et de la filière traditionnelle.

Parmi les innovations à la base de ces réformes figure la relance de la recherche scientifique avec la création du Programme national de recherche crevettière en 1997. Ce programme, implanté dans notre principal port crevettier, Mahajanga, a bénéficié du support de partenaires extérieurs traditionnels de Madagascar. Parmi ceux-ci la France, avec le financement octroyé par l'Agence française de développement (AFD) et la participation scientifique de l'Institut de recherche pour le développement (IRD), mais aussi l'Union européenne à travers le soutien des activités scientifiques prévues dans les contreparties des accords de pêche. Enfin, ce programme s'est réalisé en étroit partenariat avec le secteur privé crevettier, regroupé au sein du Groupement des aquaculteurs et pêcheurs de crevettes de Madagascar (GAPCM).

Le présent ouvrage constitue la synthèse des principaux résultats acquis par ce programme. De nombreux domaines de la connaissance utile pour la gestion se trouvent ainsi confortés. La connaissance de la ressource exploitée tout d'abord avec l'actualisation des paramètres biologiques de la croissance, l'utilisation systématique des méthodes d'évaluation analytique des stocks et enfin la prise en compte des facteurs environnementaux. La description de l'exploitation intègre désormais l'ensemble des segments de la filière : industriel, artisanal et traditionnel. L'importance des écrits relatifs à la pêche traditionnelle reflète le volume et l'impact socio-économique de ses captures, et donc de sa contribution à la réduction de la pauvreté. Ces développements soulignent aussi les risques que font peser des techniques de pêche parfois trop peu sélectives sur le renouvellement de la ressource et les performances économiques des autres segments. Enfin la dimension économique, longtemps absente des recherches halieutiques à Madagascar, est ici pleinement prise en compte avec la présentation du modèle bioéconomique de la pêcherie. Ce dernier a permis de simuler la réponse de la pêcherie à la mise en œuvre de différents outils de gestion, mais aussi à mesurer sa sensibilité à des facteurs exogènes tels que le prix du carburant ou le cours international de la crevette. Enfin, le dernier chapitre expose les ajustements et réformes qu'a connu le système de gestion afin de mieux répondre aux enjeux de l'exploitation durable d'une ressource de haute valeur dans un contexte mondial de plus en plus concurrentiel et aussi attentif aux questions environnementales.

Trois tendances fortes sont mises en évidence : la recherche d'une plus grande efficacité dans l'attribution des droits de pêche, celle d'un moindre coût environnemental, la concertation et une meilleure coordination entre les différents segments de la pêcherie.

Ces éléments sont-ils suffisants pour conforter la gestion durable de la pêcherie ? La réponse n'est pas simple. La mondialisation est source d'incertitudes multiples qui ne peuvent être toutes abordées par un programme de recherche national. Les délais d'obtention des résultats sont parfois trop longs pour satisfaire les attentes des décideurs publics et privés. En dépit de cela, la science reste réductrice d'incertitude mais ne saurait se substituer à la volonté politique dans les choix stratégiques et de long terme. Parmi ces derniers, le maintien et le renforcement d'une recherche nationale à la hauteur des enjeux de demain reste d'actualité.

Armand Panja RAMANOELINA

Ministre de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche

Remerciements

Les auteurs remercient les différents responsables des ministères en charge de la Pêche et de la Recherche scientifique à Madagascar, le Groupement des aquaculteurs et pêcheurs de crevettes de Madagascar (GAPCM) qui sont à l'origine et ont soutenu les activités du Programme national de recherches crevettières de Madagascar (PNRC) et plus particulièrement son actuel secrétaire général M. Georges Ramorasata qui nous a fortement appuyés pour la publication de cet ouvrage. Nous avons une pensée toute particulière pour le regretté Yves Desfosset, tragiquement décédé en février 2006, directeur de la société Refrigépêche Ouest, qui nous a fait bénéficier de sa très grande connaissance de la pêche crevettière malgache et fourni toutes les données souhaitées.

Nous tenons également à remercier l'Agence française de développement pour son soutien au PNRC, ainsi que ses agents qui, affectés ou en mission à Madagascar, ont œuvré pour le renforcement des activités de recherche en appui à la filière crevettière malgache.

Nous remercions également les deux arbitres anonymes qui, à la demande du service des Éditions de l'IRD, ont bien voulu prendre de leur temps précieux pour évaluer l'ensemble de l'ouvrage et faire d'utiles suggestions. Nous remercions aussi particulièrement les spécialistes de l'IRD et de l'Ifremer qui ont fait antérieurement le même travail, à notre demande, pour des articles ponctuels de l'ouvrage ; il s'agit de Messieurs Hervé Demarck, Henri Farrugio, Didier Jouffre, Francis Laloë et Frédéric Ménard.

Nous adressons aussi un grand remerciement à Jean Marin, retraité toujours actif de l'Ifremer, qui a effectué de nombreuses missions à Madagascar pour un bureau d'études, particulièrement sur la pêche et les ressources crevettières, et avec qui ces sujets ont été beaucoup discutés.

De nombreuses autres personnes ont soutenu les activités du PNRC et/ou ont contribué à la parution de cet ouvrage. Nous les remercions chaleureusement, mais sans les citer car nous craignons un oubli malheureux.

Introduction

Alain Caverivière
Christian Chaboud

L'île de Madagascar est située sous l'équateur au large de l'Afrique de l'Est, dont elle est séparée par le canal du Mozambique. Elle s'étend sur 587 000 km², entre 11°57' et 25°39' de latitude sud et comporte plus de 4 800 km linéaires de côtes. Les ressources côtières sont dominées par des poissons, crustacés et mollusques. Elles sont le plus souvent inféodées aux récifs coralliens qui se développent dans des eaux claires et pauvres en élément nutritifs, dont les populations sont riches en espèces, mais relativement peu abondantes, en particulier en poissons de fond. Des zones côtières envasées, riches en éléments nutritifs apportés par les fleuves, présentent cependant d'importances surfaces sur la côte ouest de l'île et sont favorables au développement des crevettes.

La pêche des crevettes côtières est pratiquée de longue date dans les estuaires de la côte nord-ouest de Madagascar, par des pêcheurs traditionnels utilisant des barrages (*valakira*) formés de lattis de raphia fixés par des pieux sur des petits fonds, qui capturent les crevettes à marée descendante. La production était cependant faible et alimentait une consommation locale.

En 1951, des chercheurs basés au centre Orstom de Nosy-Bé réalisèrent des essais de chalutage pour la pêche des crevettes, qui ont permis de mettre en évidence les possibilités de leur exploitation commerciale (Fourmanoir, 1952 a, b). Puis de 1958 à 1960, ils collaborèrent avec la division des pêches du Service de l'élevage. Un bilan des possibilités de pêche fut établi par Crosnier en 1965. Une exploitation industrielle dirigée vers l'exportation ne démarra réellement qu'en 1967, soit un peu après la pêche industrielle des

crevettes au large de l'Afrique de l'Ouest qui débuta, selon les pays, entre 1964 et 1966 (Crosnier et De Bondy, 1967), probablement en raison de l'éloignement des pays importateurs. Les résultats ayant été concluants, la flottille a rapidement augmenté pour atteindre plus de quarante navires dès 1975 (Marcille, 1978). La ressource crevettière, principalement abondante sur la côte ouest (fig. 1), est devenue stratégique pour un pays considéré comme l'un des plus pauvres du monde. Sa pêche ne représente en 2004 que 0,6 % du PIB (avec l'aquaculture), mais la crevette, avec un peu plus de 15 % du total des exportations, fait partie des deux premiers produits d'exportation.

La ressource, de par son intérêt reconnu, a fait l'objet de nombreuses études scientifiques, tout d'abord par les chercheurs de l'Orstom qui ont particulièrement travaillé sur l'identification des stocks, la biologie des espèces (reproduction, croissance, cycle de vie) et les conditions environnementales, puis ont effectué les premières évaluations de stocks. Ils ont été relayés par la suite par les chercheurs du Centre national de recherches océanographiques qui ont procédé à des études écologiques, au suivi des différentes formes d'exploitation (pêche industrielle, artisanale, traditionnelle) et à de nouvelles évaluations de stocks. Les travaux se sont ensuite étiolés quelque peu du fait d'un environnement financier et institutionnel peu favorable.

Les enjeux économiques et sociaux autour de la ressource vont s'exacerber et les années 1990 sont marquées par un fort sentiment d'inquiétude sur la viabilité écologique et économique de la pêcherie (Goedefroit *et al.*, 2002). Ces craintes des professionnels et instances de l'État concernés ont conduit au financement, par la Caisse française de développement, d'une étude sectorielle de la pêche et de l'aquaculture à Madagascar. Elle a préconisé la création d'un groupement des armateurs de la pêche crevettière pour faciliter un dialogue constructif entre armateurs et gouvernement, ainsi que celle d'un programme de recherche sur les crevettes visant à une utilisation durable des ressources. Le Groupement des armateurs et pêcheurs de crevettes de Madagascar (GAPCM, le A pour armateurs désignera par la suite les aquaculteurs) sera créé en 1994 et le Programme national de recherche crevettière (PNRC) en 1997.

Le PNRC est placé sous la tutelle du ministère en charge de la Pêche et ses locaux sont situés à Mahajanga, premier port crevettier du pays. Il regroupe des chercheurs malgaches originaires des trois organismes publics compétents sur les ressources marines : la Direction des Pêches du ministère en charge du secteur, le Centre national de recherches océanographiques (Nosy-Bé) et l'Institut d'halieutique et de sciences marines (Toliara), ainsi que des chercheurs français de l'Institut pour la recherche et le développement (IRD, ex-Orstom) et des collaborateurs ponctuels. L'Agence française de développement assure le financement principal du PNRC par des fonds couvrant un plus vaste programme de gestion durable de la ressource crevettière à Madagascar, dont la gestion a été confiée au GAPCM. Des conventions lient l'AFD, le GAPCM et l'IRD. Le PNRC a également bénéficié d'un support financier de l'État malgache à travers le Fonds de développement

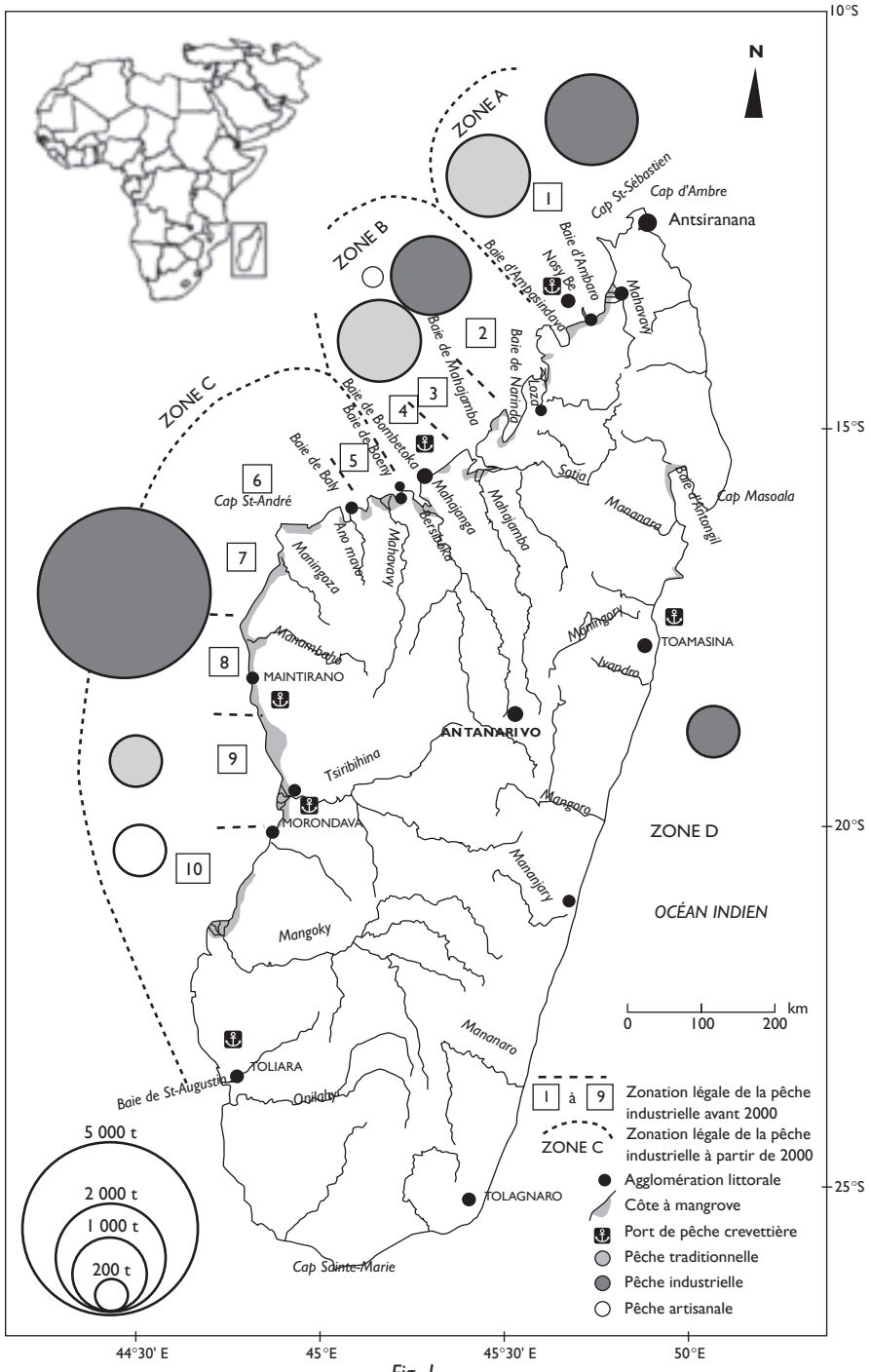


Fig. 1
Localisation des différentes zones administratives de pêche et de production de crevettes sauvages (moyenne 2000-2005).

halieutique et aquacole, ainsi que de l'Union européenne à travers le soutien à la recherche scientifique figurant dans les contreparties des accords de pêche. Le programme de recherche a été entièrement conçu par l'IRD et accepté totalement par les différents partenaires du projet.

Le PNRC a commencé pleinement les activités de sa phase I, d'une durée de trois ans, avec l'affectation de trois chercheurs nationaux en janvier 1998, rejoignant les deux scientifiques de l'IRD affectés de manière permanente au programme. L'IRD a également apporté un soutien important, par missions et affectations temporaires, à des études socio-économiques qui ont donné naissance à un ouvrage paru en 2002 et intitulé « La ruée vers l'or rose. Regards croisés sur la pêche crevettière traditionnelle à Madagascar ». Après un audit scientifique, une seconde phase du projet a démarré tardivement (en raison du contexte politique), avec un terme prévu en 2005 et une affectation à nouveau de deux scientifiques dépendant de l'IRD. Le financement du programme a pu être prorogé jusqu'en 2007, avec toujours une intervention de l'IRD, mais sous forme de missions ponctuelles de deux chercheurs.

Hormis les études sociologiques réalisées en phase I, les travaux menés au PNRC se sont déroulés suivant plusieurs grands axes qui seront abordés dans cet ouvrage. Celui-ci peut être considéré comme une fin d'étape en livrant les résultats les plus récents.

• En sciences biologiques, le programme a réalisé avec l'aide de plusieurs armateurs le marquage de plus de 30 000 crevettes en diverses régions et saisons pour étudier les croissances et les migrations, qui font partie des éléments de connaissance indispensables à l'exploitation durable et si possible proche d'un optimum à définir. Jusqu'alors, on ne disposait que d'une estimation de la croissance de l'espèce principale pour une zone et une saison à Madagascar, alors qu'il semblait évident que des différences entre zones et saisons devaient exister. La reproduction et le cycle de vie des espèces étaient assez bien connus grâce aux travaux pionniers de l'Orstom et à ceux du CNRO qui ont suivi.

• Des études entre l'abondance des crevettes et les variations de l'environnement hydroclimatique ont été entreprises. Les crevettes ayant une durée de vie courte et la phase exploitée de leur cycle de vie portant sur une année, les variations de l'environnement sont susceptibles d'expliquer, mieux que pour des espèces à grande longévité, l'existence de variations interannuelles de l'abondance qui se répercutent sur la pêche.

• Un effort conséquent a porté sur les évaluations des captures par espèce de tous les éléments de la pêcherie et leurs évolutions par engins de pêche, en particulier pour la pêche traditionnelle dans les zones où elle est importante. De nombreux échantillonnages sur les captures ont été réalisés. La connaissance de la taille des individus, et donc de leur âge lorsque l'on connaît la croissance, a permis des études fines des niveaux d'exploitation des stocks par le suivi des cohortes des individus nés dans un même intervalle de temps. Ce type d'étude a été réalisé pour les deux espèces principales et par zone.

• Les prises accessoires des crevettiers, constituées principalement de poissons, ont été étudiées tant qualitativement que quantitativement.

• La construction d'un modèle bioéconomique figurait parmi les objectifs attendus de la phase II du PNRC. Ce modèle a été construit en intégrant les connaissances biologiques sur la ressource et les connaissances économiques sur l'ensemble des composantes de la pêcherie. Il a bénéficié de l'apport des analyses de l'observatoire économique de la filière crevettière sur les pêcheries industrielles et artisanales. Ce modèle a permis de produire des simulations susceptibles d'appuyer des décisions sur des enjeux très actuels tels que la réduction de la durée de la campagne de pêche, le changement de maillage et de longueur de corde de dos, l'impact économique de pratiques de pêche peu sélectives. Enfin, une interface utilisateur a été développée pour rendre cet outil accessible à l'ensemble des décideurs et un atelier de transfert a été réalisé en octobre 2004.

L'ouvrage est organisé en trois parties. La première est consacrée à la présentation et à l'analyse de la biologie de la ressource crevettière côtière, de son environnement et de leurs interrelations. La deuxième décrit les différents types d'exploitation et traite de la dynamique des populations des deux principales espèces de crevettes et de l'évaluation de leurs stocks respectifs. La troisième et dernière partie présente la modélisation bioéconomique et ses principaux résultats, ainsi que l'évolution du système d'aménagement de la pêcherie en réponse aux différents enjeux qui se sont succédé depuis la naissance des pêcheries industrielle et artisanale.

L'ouvrage vise un public assez large. En premier lieu, les décideurs politiques et administratifs, ainsi que les armateurs et responsables de pêcheries. Les milieux universitaires nationaux et régionaux sont aussi concernés, ainsi que les nombreuses organisations non gouvernementales travaillant sur les milieux marins, les estuaires et les mangroves de Madagascar. Cet ouvrage devrait aussi intéresser les scientifiques travaillant sur les ressources en crevettes côtières tropicales d'autres pays, bien que les espèces soient souvent différentes, en particulier ceux de pays d'Afrique francophone dont les ressources crevettières ont une importance notable et sont confrontées à des questions de gestion et d'aménagement similaires à celles abordées dans cet ouvrage.

Enfin, des tableaux de données complémentaires pourront être consultés sur le site de l'Ecoscope du Centre de recherche halieutique méditerranéenne et tropicale de Sète à l'adresse :

http://www.mpl.ird.fr/ci/ecoscope/index.htm.

Partie I

Biologie et environnement

Les quatre chapitres de cette première partie de l'ouvrage exposent les connaissances les plus récentes sur les aspects biologiques et environnementaux relatifs aux espèces de crevettes pénéides côtières de Madagascar. Le premier (Rafalimanana et Caverivière) est consacré à une présentation générale de l'ensemble des espèces de crevettes exploitées ainsi qu'aux conditions hydrologiques, physiques et climatiques de leur environnement. Sont également rappelées les principales caractéristiques d'abondance, de distribution spatiale et bathymétrique. Leur biologie (cycles vitaux, période de reproduction et de recrutement dans la pêcherie) et traits de comportement sont synthétisés. Ces différents rappels sont indispensables pour aborder certaines de ces questions plus en détail dans les chapitres suivants. Dans le deuxième chapitre, Rafalimanana présente des résultats novateurs concernant les déplacements de crevettes, notamment pour *F. indicus*, espèce la plus abondante. Ces résultats, issus d'expériences de marquage en mer sur la côte ouest, mettent en évidence des échanges très limités entre les baies de la côte nord-ouest, alors qu'une diffusion plus importante est observée sur la côte ouest. Le chapitre 3 (Rafalimanana et Caverivière) expose, pour les trois principales espèces, les nouvelles estimations des paramètres de croissance obtenus grâce à plusieurs campagnes de marquage en mer. Ces paramètres sont des éléments clés pour la gestion de ces ressources. Ces nouvelles estimations mettent en évidence une variabilité spatiale et saisonnière de la croissance. Le dernier chapitre de cette partie (Voisin et Sandon) traite des relations pêche-environnement, qui ont une importance particulière pour les crevettes pénéides dont le recrutement dépend en grande partie des conditions du milieu naturel. Ces auteurs testent différentes hypothèses relatives notamment aux rôles de la salinité et de la superficie des mangroves. C'est pour cette dernière variable que la relation statistique avec les captures de crevettes semble la plus significative. Un tel résultat a des implications importantes quant à la nécessité de la conservation des mangroves.

< © C. Chaboud/IRD

Présentation du milieu et des espèces

Théophile Rafalimanana,
Alain Caverivière

© C. Chaboud/IRD

Introduction

Cette présentation du milieu et des espèces a pour but de situer les ressources naturelles en crevettes de Madagascar dans leur environnement. Elle entend contribuer à la compréhension d'ensemble des facteurs environnementaux de l'abondance et de la répartition de ces ressources, avant que certains ne soient étudiés de manière plus détaillée dans d'autres contributions. Indiquons d'ores et déjà qu'il s'agit de ressources côtières vivant dans des milieux à relativement haute productivité, sur des fonds vaseux à sablo-vaseux souvent turbides, et que les apports d'eaux douces et les forêts de palétuviers (mangroves) bordant les estuaires et certaines zones touchées par le balancement des marées (zone intertidale) jouent un rôle important, variable suivant les espèces.

Conditions physiques et hydroclimatiques

Le milieu physique

Topographie

L'île de Madagascar s'étend du nord au sud sur 1 650 km et se situe entre 11°57' et 25°39' de latitude sud. Elle est traversée par le tropique du

Capricorne et séparée de l'Afrique orientale par le canal du Mozambique d'une largeur d'environ 400 km.

Madagascar dispose d'un plateau continental qui s'étend jusqu'à l'isobathe des 200 mètres et représente une superficie d'environ 117 000 km². Ce plateau continental est relativement large sur la côte ouest, où il s'étale entre 30 et 60 milles de la côte, et étroit sur la côte est (3 à 5 milles, sauf dans la baie d'Antongil où il est beaucoup plus vaste).

L'île de Madagascar se caractérise par une dissymétrie qui oppose l'est et l'ouest (fig. 1).

On peut distinguer deux grands secteurs littoraux à l'ouest :

– du cap Sainte-Marie au cap Saint-André, soit de l'extrême sud vers le nord, s'étend une côte basse (sauf le cap Sainte-Marie lui-même, ainsi que la baie de St-Augustin près de la ville de Toliara) caractérisée par des cordons littoraux, mal pourvue en mouillage en dehors de quelques grandes embouchures (Onilahy, Mangoky et Tsiribihina) et marquée par un climat sec ;

– du cap St-André jusqu'au cap d'Ambre, situé à l'extrême nord, s'étire un secteur moins plat, beaucoup plus découpé, notamment par de nombreux estuaires et baies, et surtout plus humide.

Le littoral oriental a un caractère rectiligne (à l'exception de la baie d'Antongil), surtout entre Tolagnaro (Fort Dauphin) et Toamasina (Tamatave), et est bordé par une suite quasiment ininterrompue de cordons littoraux. Les lagunes sont peu soumises aux influences marines en raison d'une faible amplitude des marées et de graus bouchés.

Nature des fonds

Les crevettes côtières de Madagascar affectionnent les petits fonds vaseux ou sablo-vaseux du plateau continental. Ces fonds se rencontrent essentiellement sur la côte ouest de Madagascar entre Morondava au sud-ouest et le cap Saint-Sébastien au nord. Dans cette vaste région, ils sont souvent limités au sud par des hauts-fonds coralliens situés entre 10 et 20 mètres de profondeur et entre 5 et 15 milles de la côte ; les hauts-fonds madréporiques sont un peu plus profonds au centre et vers le nord, s'élevant sur des fonds de 20 à 40 m. Quelques fonds meubles existent sur la côte est, dans la baie d'Antongil et aussi le long de la côte rectiligne qui s'étale plus au sud, limités alors aux débouchés des fleuves et par la faible largeur du plateau continental.

D'autres zones ne sont pas propices aux crevettes et à leur pêche. Il s'agit des côtes nord-est, entre le cap d'Ambre et la baie d'Antongil, et sud-ouest (au sud de Morombe), zones où le plateau continental est très étroit avec une barrière récifale s'étendant de la côte jusqu'à 5 milles au large ; il y a aussi la partie sud de Madagascar, où le banc de l'Étoile, plate-forme de socle rocheux, s'enfonce en cascades successives jusqu'à une distance de 30 milles de la côte.

Les mangroves

La mangrove est la formation de palétuviers établie dans la zone de balancement des marées de tous les littoraux tropicaux. À Madagascar, cette forma-

tion arborée couvre environ 320 000 hectares (Iltis, 1995), essentiellement sur la côte ouest avec 98 % de la superficie totale (fig. 1). On dénombre huit espèces de palétuviers, identiques à celles de la côte de l'Afrique de l'Est. Les mangroves les plus étendues sont celles des estuaires des grands fleuves, dont elles occupent les rives et les bancs de vase (soit du nord au sud : Mahavavy du Nord, Ifasy, Mahajamba, Betsiboka, Mahavavy du Sud, Tsiribihina, Mangoky). Sur la côte est, la mangrove est réduite à quelques bosquets de palétuviers installés aux embouchures fluviales et aux passes des lagunes, par suite de la faiblesse du marnage des marées (Lebigre, 1990).

Une forte production primaire est observée dans les baies et les estuaires à forte couverture de palétuviers de la côte occidentale de Madagascar. La mangrove apporte beaucoup de matière organique par dégradation des feuilles et des troncs. Cet écosystème particulier a une importance halieutique et écologique bien reconnue, la faune y est abondante et c'est notamment une zone de nourricerie pour les crevettes juvéniles côtières de la famille des Penaeïdae. Un chapitre de cet ouvrage (Voisin et Sandon) traitera particulièrement des relations entre les types et superficies des mangroves avec la pêche des crevettes.

Les conditions climatiques et hydrologiques

Les conditions de l'environnement ont une grande influence sur les écophases des crevettes, notamment sur leurs distributions géographique et bathymétrique, la survie des larves et juvéniles, la croissance, la reproduction, …

Les conditions climatiques

Pendant l'hiver austral (de mai à octobre), la ceinture anticyclonique tropicale, qui peut être plus ou moins perturbée par le passage de dépressions d'ouest en est, entraîne sur Madagascar un régime d'alizés d'est à sud-est pour la région de Nosy-Bé (côte nord-ouest), ou d'est à nord-ouest pour la région de Mahajanga (côte ouest). Sur la côte sud-ouest, le régime d'alizés est établi, mais les alternances de brises de terre et de mer sont plus marquées que sur la côte nord-ouest (Crosnier, 1965).

Pendant l'été austral (de novembre à avril), la zone de convergence intertropicale étend son influence sur Madagascar. Le régime d'alizés devient moins régulier et une instabilité orageuse se développe. L'alizé du sud-est est contrarié par la mousson du nord-est qui provoque une houle de nord-est. C'est au cours de cette saison pluvieuse que les dépressions et cyclones tropicaux peuvent se produire à Madagascar. Ceux-ci rendent la navigation plus périlleuse et la côte orientale est la plus exposée.

Globalement, le climat est donc caractérisé par l'alternance d'une saison relativement fraîche et sèche de mai à octobre et d'une saison chaude et pluvieuse de novembre à avril. Toutefois, des variations selon les façades maritimes et les situations géographiques sont observées (fig. 2) :

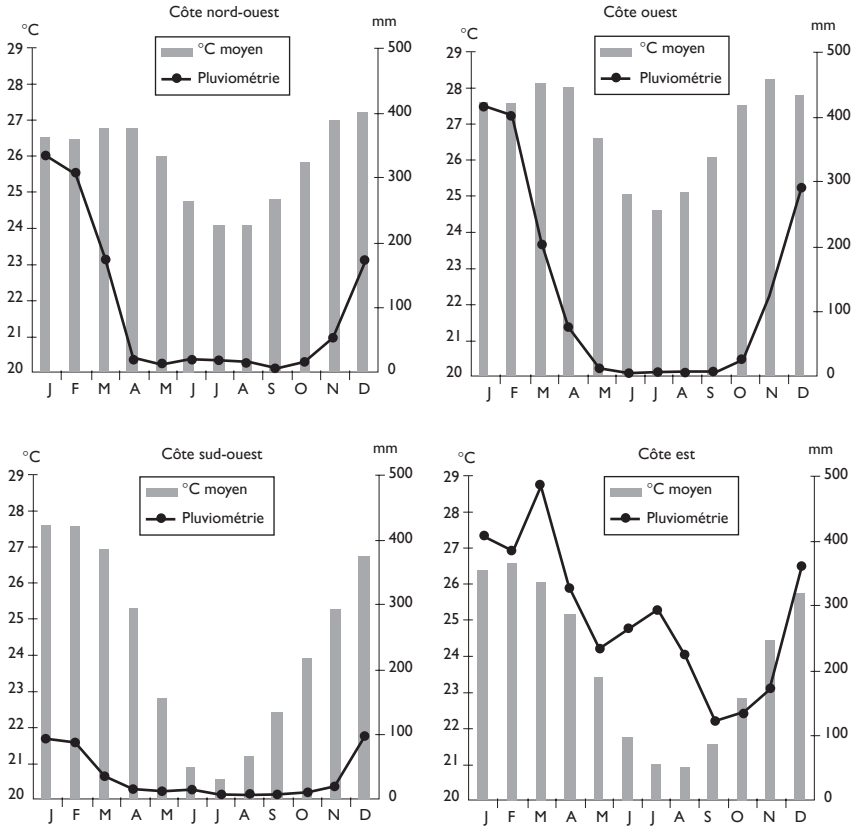


Fig. 2
Température de l'air et pluviométrie moyenne mensuelle (1990-1999)
(Source : Météorologie nationale, d'après RAFALIMANANA, *2003).*

– la côte nord-ouest est caractérisée par des amplitudes thermiques peu marquées. Toute l'année, le climat est chaud et humide, bien que les précipitations soient faibles en saison sèche. La période des pluies les plus abondantes, avec des risques de cyclones, se situe de novembre à mars.

– la côte ouest présente également une température élevée toute l'année. On note la présence de deux saisons plus marquées : la saison chaude et pluvieuse qui s'étend d'octobre à mars et la saison chaude et sèche qui s'étend d'avril à septembre.

– la côte sud-ouest présente des températures parfois élevées, mais l'amplitude thermique y est beaucoup plus forte qu'ailleurs, avec une importante différenciation saisonnière (saison froide marquée). Le climat est sec pratiquement toute l'année.

– la côte est présente un climat relativement chaud et humide, avec des précipitations importantes à toute période de l'année, une saisonnalité y existe cependant. Cette région présente également plus de risques cycloniques de novembre à mars.

La température et les précipitations ont une certaine influence indirecte sur les activités de pêche, par exemple la salinité côtière qui en dépend influe sur la disponibilité des crevettes aux différents types de pêche. Le régime saisonnier des vents régit dans une certaine mesure les possibilités de chalutage et de sorties en mer des pêcheurs piroguiers.

Les conditions hydrologiques

Les eaux qui baignent les côtes malgaches sont chaudes et généralement très pauvres en éléments nutritifs dissous venant des grandes profondeurs.

Les baies et les estuaires, en particulier ceux qui découpent la côte nord-ouest, fonctionnent par ailleurs – grâce à un système de circulation à deux couches de mouvements opposés – comme des trappes à matières organiques qui s'accumulent et se minéralisent au ras de la côte. Cette richesse organique est à la base de la forte productivité en crevettes constatée dans ces lieux.

Les principaux paramètres liés à l'eau, qui vont régir les écosystèmes estuaire-mer, sont le niveau de l'eau, le degré de salinité et le degré de turbidité.

Le mélange des eaux terrestres et marines est en perpétuel changement et se trouve sous les influences saisonnières :

• pour les eaux de mer :

– des cycles de marées quotidiennes ;

– du cycle lunaire de mortes et vives eaux tous les 14 jours ;

– du cycle annuel de fortes marées d'équinoxe et de solstice.

• pour les eaux douces :

– du bilan des pluies de l'année recueillies sur les bassins versants et dont dépend le débit moyen des fleuves ;

– de l'intensité des précipitations torrentielles en saison des pluies, qui engendrent chaque année des crues.

Le cycle de marée lunaire

L'ensemble des côtes est soumis à un régime de marées semi-diurnes, deux marées hautes et basses séparées les unes des autres de 6 h 15 mn environ. Le marnage est faible à l'est et au sud (50 cm à 1 m de marnage en vives eaux sur la côte est), mais il est relativement important sur la côte ouest où il diminue cependant du nord au sud. À l'ouest, le marnage est compris entre 0,5 mètre en mortes eaux et 4,2 mètres en vives eaux (partie nord).

Les apports d'eau douce

Les fleuves et rivières de Madagascar (fig. 1) sont soumis à un régime tropical humide et les précipitations sont les plus abondantes sur la côte est. Sur la côte ouest, saison sèche et saison des pluies sont bien marquées (Chaperon *et al.,* 1993). Les répartitions mensuelles des précipitations selon les régions sont représentées sur la figure 2. Les estuaires reçoivent les eaux issues d'un bassin versant spécifique. Beaucoup de bassins, d'importances inégales en étendue et en volume d'eau drainée, sont répertoriés sur les versants ouest de Madagascar. Les fleuves qui capturent les eaux des bassins fluviaux se jettent

dans les baies, les deltas, estuaires ou lagunes. La Betsiboka est le premier fleuve de Madagascar par la surface de son bassin versant (en y incluant la Mahajamba, dont les eaux de la majeure partie du bassin versant sont actuellement capturées par la Betsiboka) et le volume d'eau écoulé annuellement. Elle forme un delta important à travers une forêt dense de palétuviers, avant de se jeter dans l'estuaire de Bombetoka. Le bassin du Mangoky est le deuxième par la superficie. La Tsiribihina est le troisième fleuve par la superficie de son bassin versant et probablement le deuxième par le volume d'eau annuel écoulé, il se jette en mer par un immense delta. À noter également le bassin de la Manambolo, qui se jette directement dans le canal du Mozambique par un delta à peine marqué. Les principaux autres fleuves se jettent dans une baie spécifique.

La température et la salinité des eaux côtières

La température et la salinité sont deux paramètres essentiels dans l'étude des ressources halieutiques, qui conditionnent directement la croissance des animaux. La température a une influence directe sur la croissance ; une crevette d'élevage de l'espèce *P. monodon* grossit deux fois plus vite à 28 °C qu'à 24 °C (TOUSSAINT *et al.,* 1994). La salinité a également une influence sur la croissance des animaux, le point iso-osmotique des crevettes se situant autour de 20 ‰ (TOUSSAINT *et al.,* 1994). De plus, les conditions d'eaux saumâtres sont plutôt favorables au développement d'une forte productivité naturelle (alimentation des crevettes).

Dans les eaux très côtières de la côte ouest où se pratique la pêche traditionnelle, le facteur de différenciation des deux périodes climatiques est la pluviométrie et le débit des fleuves, dont les apports d'eau douce se traduisent par une forte dessalure des eaux en février (de 5 à 20 ‰) et par une salinité maximale en novembre (de 30 à 35 ‰). Une série de mesures récentes (1997-2000) concernant la salinité de l'eau a été réalisée dans des lieux où se pratique la pêche traditionnelle et/ou au niveau de la prise d'eau des fermes de crevetticulture (fig. 3). Dans l'ensemble, les mesures ont été réalisées chaque jour à marée haute.

Les salinités moyennes mensuelles les plus faibles sont observées au mois de février où il y a certainement une influence directe des précipitations. La salinité moyenne mensuelle croît rapidement jusqu'au mois de mai. Elle augmente ensuite régulièrement pour atteindre une valeur maximale de 30 à 35 ‰ au mois de novembre, puis diminue brusquement. Cette saisonnalité est surtout marquée dans les baies des zones nord et nord-ouest, où la pluviométrie est abondante. Dans la zone sud, la variation saisonnière de la salinité est moins importante.

Un peu plus au large, donc en zone de pêche industrielle, la différence entre les températures du mois le plus chaud et du mois le plus froid est plus marquée au sud qu'au nord (fig. 4). Un phénomène similaire est également constaté en ce qui concerne la salinité, où la baisse de la valeur moyenne minimale atteinte au mois de février est plus marquée au sud qu'au nord. Au nord,

L'estuaire du fleuve Mangoky, limite sud de la pêche sur la côte ouest.
© C. Chaboud/IRD

Collecte auprès de la pêche traditionnelle en baie de Narindra.
© G. Schumacher/Sogediproma

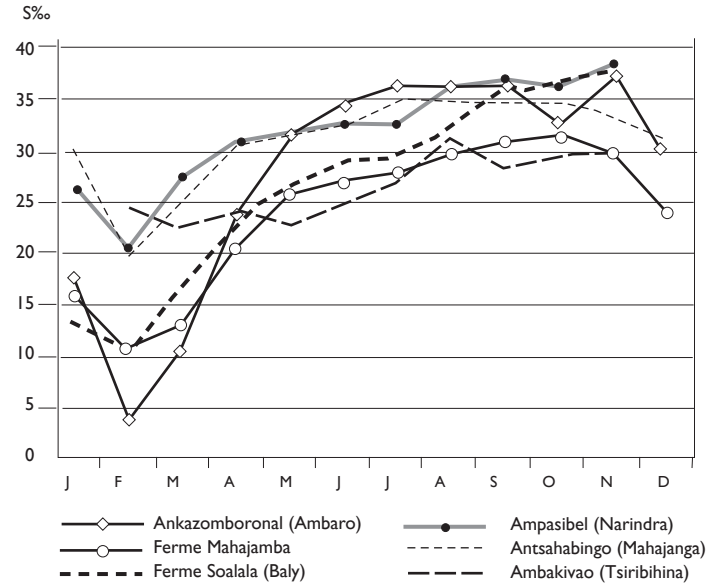


Fig. 3
Variations saisonnières de la salinité moyenne dans les différentes zones de pêche traditionnelle (données 1998-1999 archivées au PNRC).

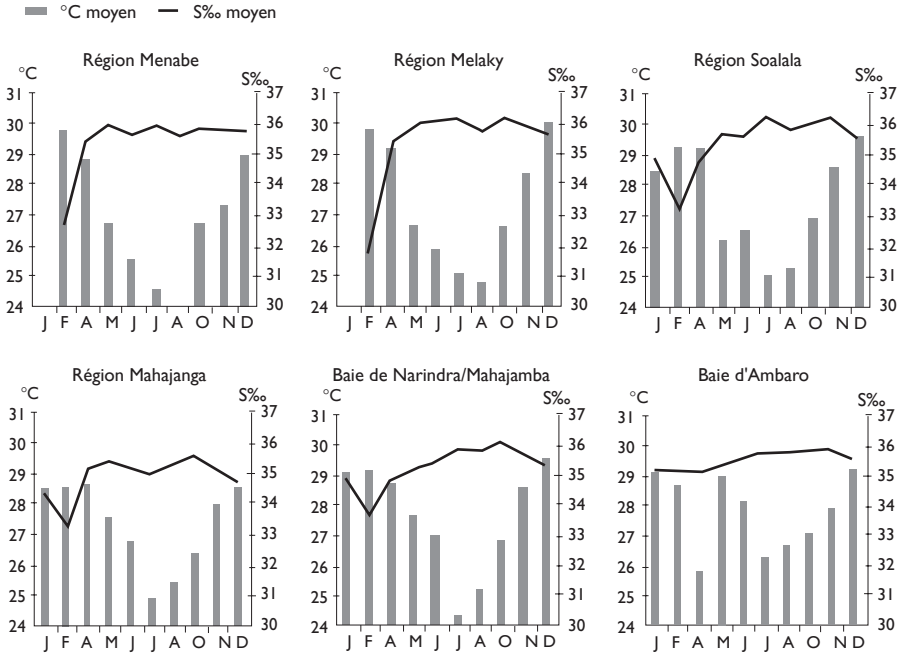


Fig. 4
Températures et salinités mensuelles moyennes des eaux de fond des zones chalutées du Sud au Nord (Source : Campagne de chalutage 2000-2001).

la valeur moyenne est entre 35 et 36 ‰ tout au long de l'année. En dehors des grandes périodes de pluie, la salinité moyenne oscille autour de 35 ‰ dans la région de Mahajanga et aux environs de 36 ‰ dans les zones sud. Au vu de l'amplitude des différences entre températures et salinités, et par comparaison avec les eaux très côtières, la saisonnalité dans la zone côtière exploitée par les crevettiers est surtout thermique.

Les espèces et leurs caractéristiques biologiques et écologiques

Position systématique

Les crevettes appartiennent à l'embranchement des arthropodes, à la classe des crustacés et à l'ordre des décapodes. Les décapodes constituent l'ordre le plus important des crustacés par le nombre des espèces et contiennent toutes les espèces comestibles (crevettes, homards, langoustes, langoustines, écrevisses, crabes,…).

Les crevettes côtières de Madagascar appartiennent au groupe des crevettes pénéides (infraordre des Penaeidea), à l'exception d'une toute petite crevette d'estuaire. Les crevettes pénéides abandonnent leurs œufs dans l'eau, ce qui les distingue des autres groupes de décapodes qui les portent attachés sous l'abdomen jusqu'à l'éclosion. Les crevettes pénéides sont dénommées en anglais « shrimps » ou « prawns », en espagnol « camarón » ou « gamba » ou « langostino » et en portugais « camarão ». Les crevettes pénéides sont classées de la manière suivante (Pérez Farfante et Kensley, 1997) :

Embranchement : Arthropoda

Super-classe : Crustacea (Pennant, 1777)

Classe : Malacostraca (Latreille, 1806)

Ordre : Decapoda (Latreille, 1803)

Sous-ordre : Dendrobranchiata (Bate, 1888)

Super-famille : Penaeoidea (Rafinesque-Schmaltz, 1815)

Famille : Penaeidae (Rafinesque-Schmaltz, 1815)

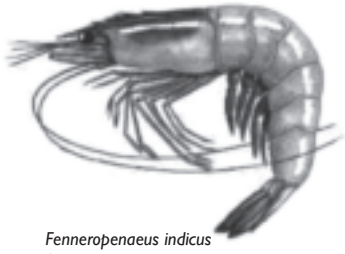
Solenoceridae (Wood-Mason, 1891)

Sicyoniidae (Ortmann, 1898)

Plus d'une dizaine de crevettes pénéides seraient présentes à Madagascar (Rafalimanana, 2003). Au niveau de la pêche commerciale industrielle, il apparaît que cinq espèces constituent l'essentiel des débarquements, dont trois en quantité importante. Elles sont indiquées ci-dessous, d'après la nomenclature du Muséum national d'histoire naturelle (Pérez Farfante et Kensley, 1997), où des sous-genres ont été élevés au rang de genre :

– *Fenneropenaeus indicus* (H. Milne Edwards, 1837), anciennement *Penaeus indicus* ;
– *Metapenaeus monoceros* (Fabricius, 1798) ;
– *Penaeus semisulcatus* (De Haan, 1844) ;
– *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798) ;
– *Marsupenaeus japonicus* (Bate, 1888), anciennement *Penaeus japonicus.*

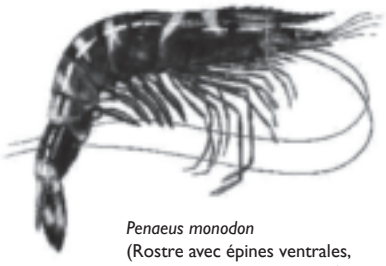
Les trois premières sont pêchées en quantités importantes, les deux dernières sont beaucoup moins abondantes mais à forte valeur marchande, en particulier les adultes de *P. monodon* (crevette géante tigrée). Ces cinq espèces sont représentées sur la figure 5 avec leurs appellations commerciales à Madagascar.



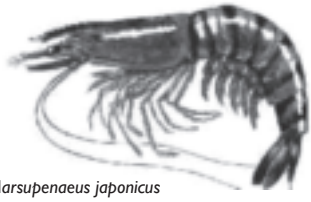
Fenneropenaeus indicus
(Rostre avec épines ventrales,
corps lisse, couleur blanchâtre)
« White »

Metapenaeus monoceros
(Rostre sans épine ventrale,
corps à poils fins, couleur rose)
« Pink » ou « Brown »

Penaeus semisulcatus
(Rostre avec épines ventrales,
corps lisse, couleur vert clair et
vert sombre alternées)
« Flower », « Brown » ou « Tiger»



Penaeus monodon
(Rostre avec épines ventrales,
corps lisse, couleur violacée)
« Black Tiger » ou « Camarón »



Marsupenaeus japonicus
(Rostre avec épines ventrales,
corps lisse, couleur jaunâtre, uropodes bleu jaune)
« Tiger » ou « Kuruma »

Fig. 5
Principales espèces de crevettes rencontrées à Madagascar, avec leurs appellations commerciales.
(Photos Scandinavian Fishing Year Book)

Une autre espèce de crevette pénéide, *Metapenaeus stebbingi* (Nobilis, 1904), est présente en quantité très faible dans les traits de chalut. Elle peut être un peu plus abondante en estuaire. En raison de sa petite taille, elle est souvent confondue avec des juvéniles de *M. monoceros*.

Pour finir, il existe aussi une toute petite crevette non pénéide, présente près de la côte et dans les estuaires. Il s'agit de la crevette Sergestidae *Acetes erythraeus*, appelée localement *tsivakihiny* et pêchée à l'aide de filets en moustiquaire ou parfois de pagnes. Le Reste (1970) a étudié sa biologie dans la baie d'Ambaro.

Distribution géographique

Les cinq principales espèces côtières sont présentes sur les façades est et ouest de Madagascar ; par contre, elles sont rares ou inexistantes dans le grand Sud. *F. indicus* se pêche cependant dans l'estuaire de l'Onilahy, à côté de Toliara, et dans les eaux lagunaires de la région de Tolagnaro.

Au niveau mondial, la distribution géographique de ces espèces est largement étendue dans l'océan Indien et le Pacifique ouest. *F. indicus*, *P. semisulcatus*, *M. japonicus* et *P. monodon* s'observent au moins jusqu'au Japon. *M. monoceros* et *P. japonicus* ont atteint la Méditerranée par l'intermédiaire du canal de Suez.

Distribution bathymétrique

Rafalimanana (2003) a étudié, à partir d'une grande campagne de chalutages scientifiques au chalut d'essai (*try net*) réalisée en 2000 et 2001[1] sur la côte ouest, la composition spécifique des captures par strate bathymétrique suivant la saison de pêche (haute ou basse) pour les trois principales espèces de crevettes exploitées (fig. 6). La distribution apparaît continue sur toutes les profondeurs pour toutes les espèces. *F. indicus* est particulièrement abondante dans les bandes inférieures à 10 mètres et elle se raréfie à mesure que la profondeur augmente. Par contre, *P. semisulcatus* se rencontre en plus grandes quantités à partir de 20 m de profondeur.

Pendant la période de haute saison, une quantité relativement importante de *F. indicus* est encore pêchée dans la bande de 20-30 m, elle devient presque nulle à partir de cette profondeur pendant la basse saison.

On peut en déduire que la pêche au-delà de 30 m n'apparaît plus intéressante pour les professionnels du fait des faibles rendements observés.

Cycle biologique

La plupart des crevettes pénéides ont un cycle amphibiotique alternant une phase marine et une phase estuarienne. De nombreuses études ont été faites sur les cycles biologiques des crevettes pénéides côtières : sur les côtes ouest-américaines (Gross, 1973 ; Edwards, 1978), sur les côtes est-américaines

1. 2 540 traits au chalut d'essai ont été réalisés sur des radiales séparées de 20' de latitude et comportant 4 strates bathymétriques s'échelonnant de 5 à 35 mètres.

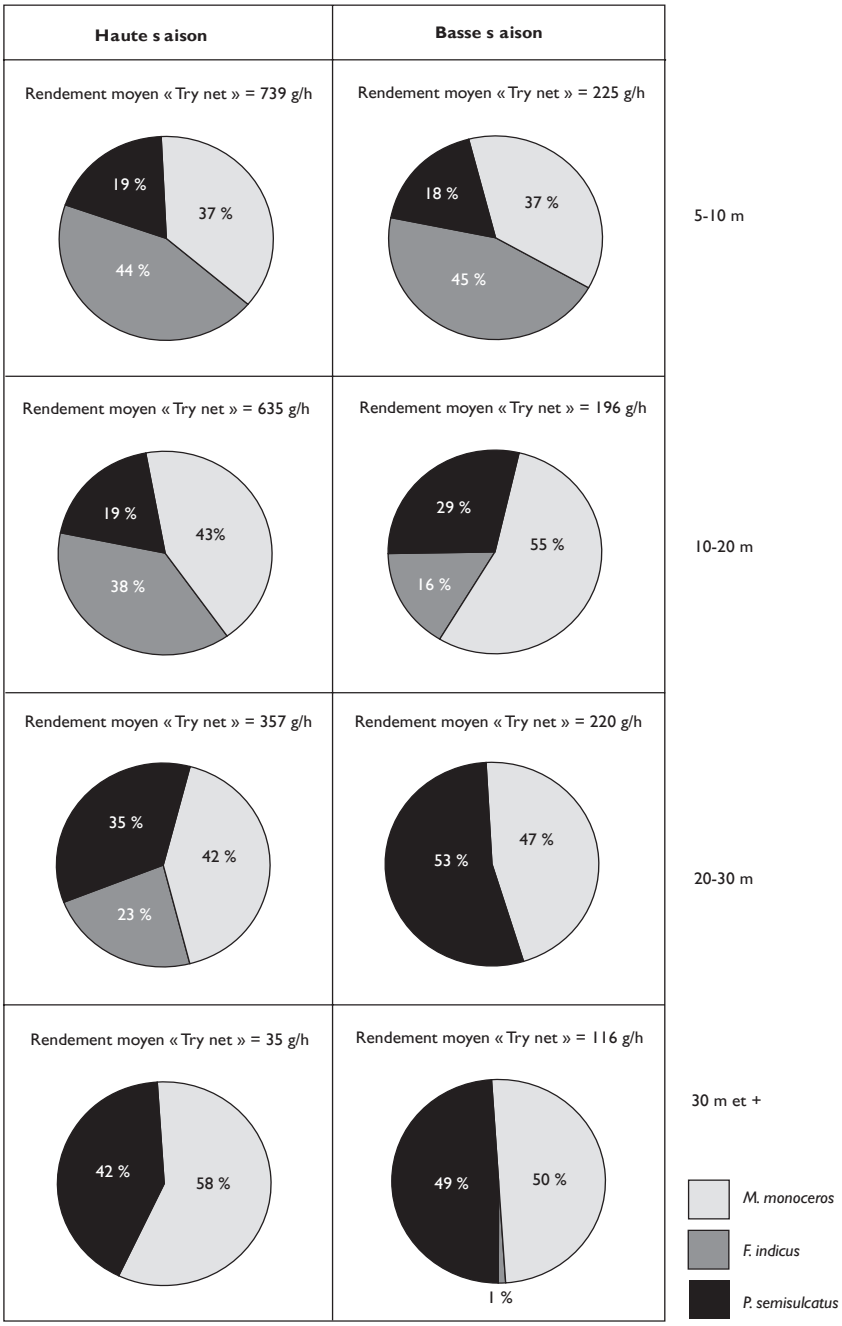


Fig. 6
Composition spécifique moyenne des captures par saison et par strate bathymétrique pour les trois principales espèces de crevettes exploitées sur la côte ouest de Madagascar. Haute saison : décembre à mai ; basse saison : juin à novembre. (Source : RAFALIMANANA, 2003).

(Pérez Farfante, 1969), aux Indes (Jones, 1969), au Japon, sur la côte nord-ouest de Madagascar (Marcille, 1978), et sur la côte ouest-africaine (Garcia et Lhomme, 1977). Les différents stades du cycle biologique des crevettes pénéides des plateaux continentaux se schématisent de la façon suivante (fig. 7) : les femelles pondent des œufs au niveau du fond et en mer vers le large. De ces œufs éclosent des larves planctoniques au stade « nauplius ». Le développement larvaire s'effectue à travers plusieurs stades successifs : cinq stades « nauplius », trois stades « protozoe » et trois stades « mysis ». La dernière « mysis » subit une mue qui la transforme en postlarve. Les premiers stades postlarves sont encore planctoniques, mais les suivants sont semi-benthiques. Les postlarves pénètrent dans les estuaires ou se rapprochent de la côte. Lorsque les crevettes ont acquis leur formule rostrale définitive, elles sont qualifiées de « juvéniles ». À ce stade, les crevettes quittent le milieu estuarien et migrent vers les zones intertidales (zone de balancement des marées). Elles sont appelées « subadultes » lorsque les organes sexuels externes (petasma chez les mâles et thelycum chez les femelles) sont entièrement formés. Les crevettes retournent en mer lorsqu'elles atteignent une dizaine de centimètres.

Le cycle de vie des crevettes pénéides tropicales est relativement court, aux environs de 18 mois. Ce sont des espèces à croissance rapide.

Les crevettes pénéides peuvent avoir une très grande adaptabilité à des conditions de milieu très diverses. La tolérance aux variations du milieu est plus grande chez les adultes que chez les jeunes. En effet, des crevettes de grande taille peuvent se rencontrer dans les zones intertidales, mais les très jeunes se trouvent rarement en pleine mer. *Farfantepenaeus notialis* juvénile habite

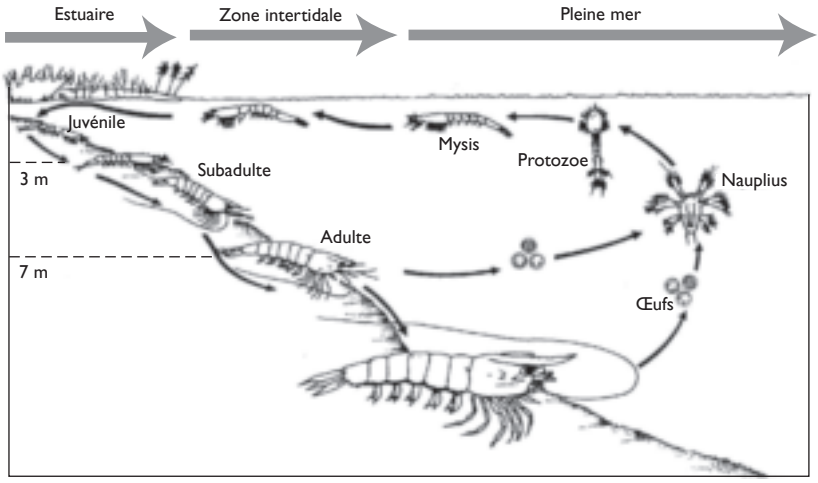


Fig. 7
Schéma du cycle vital des crevettes pénéides.
(Source : Motoh, 1981, modifié par Rafalimanana, 2003).

dans des eaux presque douces, mais également dans des estuaires sursalés (GARCIA et LHOMME, 1977). GARCIA et LE RESTE (1981) citent le cas des *Penaeus semisulcatus* du golfe entre l'Iran et l'Arabie Saoudite (BASSON *et al.,* 1977) où les larves ne sont jamais rencontrées dans l'estuaire. *Melicertus latisulcatus* et *Penaeus esculentus* ont leurs nourriceries dans la zone littorale marine (KIRKEGAARD et WALKER, 1969).

Pour les crevettes côtières de Madagascar, les nombreuses observations effectuées en baie d'Ambaro (CROSNIER, 1965 ; LE RESTE et MARCILLE, 1976 a ; LE RESTE, 1978) indiquent que *Fenneropenaeus indicus* est l'espèce où le phénomène de migration estuaire-zone intertidale-mer ouverte est le plus net. La taille et l'âge moyens à la migration ($L_{mig}50$) seraient de (ANONYME, 1989) :

– 9 mm LC[2] (1,5 mois) pour le passage vers la zone intertidale ;

– 28 mm LC pour les femelles (4,5 mois) migrant vers la mer ;

– 24 mm LC pour les mâles (4,5 mois) migrant vers la mer.

LE RESTE et MARCILLE (1976 a) ont observé également le phénomène de migration estuaire-zone intertidale-mer chez les *Metapenaeus monoceros.*

Périodes de reproduction et recrutement dans les pêcheries

Les crevettes sont très prolifiques ; chaque femelle peut pondre jusqu'à 500 000, voire un million, d'œufs suivant les conditions du milieu et la taille de l'animal. Cette grande fécondité fait que la ressource est assez robuste, de sorte que la pression de pêche ne mettra en péril le potentiel de reproduction de la ressource (surexploitation de recrutement) que pour des niveaux particulièrement élevés. Toutefois, la survie des larves est très variable suivant les conditions du milieu.

Chez les crevettes pénéides tropicales, la reproduction au niveau de la population est pratiquement continue, mais des pics de reproduction sont observés sur certaines périodes. Pour *F. indicus*, deux périodes principales de ponte sont observées (LE RESTE et MARCILLE, 1976 a) : l'une en octobre/novembre (génération « A ») et l'autre en mars/avril (génération « B »). Pour *M. monoceros*, une période de ponte est observée en septembre/octobre et une autre en mai (LE RESTE et MARCILLE, 1976 b).

LE RESTE (1978) a particulièrement étudié le cycle de reproduction de l'espèce *F. indicus* dans la zone nord-ouest de Madagascar et ses relations avec l'importance de la pêche (fig. 8).

Il existe au cours d'une année une alternance de deux générations. La première (A) est issue de pontes relativement modestes entre septembre et décembre, avec un maximum en octobre-novembre. Les crevettes de cette génération rencontrent tout au long de leur développement des conditions exceptionnellement favorables (croissance, nourriture, courants) et bénéficient ainsi d'un taux de mortalité faible. Il en résulte qu'un grand nombre

2. LC : Longueur céphalothoracique mesurée entre le creux orbitaire et le bord postérieur de la carapace.

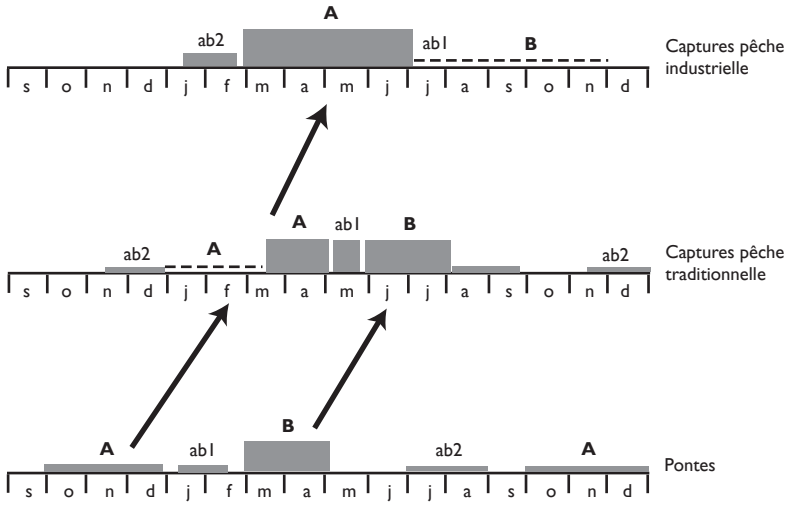


Fig. 8

Diagramme (Le Reste, 1978) représentant les périodes de pontes et les saisons de pêche (l'épaisseur du trait est grossièrement proportionnelle à l'importance de la production de l'époque). Les traits en pointillés indiquent les périodes où les captures sont presque nulles en dépit de ce qu'auraient pu laisser espérer les variations saisonnières des pontes.

d'entre elles parviennent à l'état adulte et se reproduisent. Cette période de reproduction se situe entre mars et juin, avec un maximum en mars-avril. Bien que les conditions ne soient que moyennement favorables (mars-avril) ou même mauvaises (mai-juin) pour la maturation des gonades, le nombre d'œufs émis est très grand à cause du grand nombre de génitrices. Cette génération n'était que partiellement exploitée par la pêche traditionnelle parce que les jeunes crevettes adultes de cette génération quittent très tôt la zone de pêche intertidale. La deuxième génération (B), qui est issue de cette période de reproduction, comprend au départ un très grand nombre d'individus ; mais les conditions rencontrées au cours du développement sont défavorables, ce qui provoque une mortalité élevée. De ce fait, un nombre restreint de crevettes parviennent à l'état adulte et se reproduisent. Aussi, malgré des conditions très favorables à la maturation des gonades, l'importance de la ponte à l'échelle de la population est faible. Cette période de ponte se situe entre septembre et décembre et nous sommes ainsi ramenés au point de départ du cycle. La génération B est peu exploitée par la pêche industrielle parce que les adultes de cette génération ne gagnent la zone de chalutage qu'au moment de la ponte et que par ailleurs, les crevettes de cette génération ont subi une mortalité anormalement élevée du fait des conditions du milieu défavorables rencontrées tout au long de leur développement. Notons que d'autres cohortes plus discrètes (nommées ab1 et ab2 sur la figure 8) existent ; elles sont issues de pontes secondaires qui ont lieu vers janvier-février et juillet-aout, où les fécondités des deux générations s'ajoutent. Le Reste (1978) a pu calculer qu'à partir de 2,5 fois moins de larves la

génération A produit près de 7 fois plus d'œufs mûrs que la génération B. Il a aussi écrit que les crevettes *F. indicus* issues des pontes d'octobre-novembre (génération A) sont responsables de près de la moitié des captures durant la saison de pêche dans la pêcherie traditionnelle et de la quasi-totalité des captures dans la pêcherie industrielle. Les crevettes issues des pontes de mars-avril (génération B) ne sont responsables que de la moitié environ des captures dans la pêcherie traditionnelle et ne participent pas à celles de la pêcherie industrielle pendant la saison de pêche. Il conclut que le cycle biologique de l'espèce est très court puisqu'il y a deux générations par an. Il faut noter que les schémas d'exploitation en pêche traditionnelle ont maintenant changé avec l'utilisation de nouveaux engins, sennes et filets maillants, pouvant travailler plus au large qu'avant et entrer en compétition avec la pêche industrielle sur ses lieux de pêche. Les faibles niveaux d'exploitation en début d'année en pêche traditionnelle et pêche industrielle sont maintenant dus à la fermeture de la pêche.

Le recrutement, défini comme le processus par lequel un groupe d'âge de crevettes s'intègre pour la première fois dans le stock exploitable, est donc variable suivant les pêcheries et les saisons. Il a été étudié en mer et sur la côte ouest de Madagascar par Rafalimanana (2003) à partir d'une campagne d'échantillonnages scientifiques au chalut d'essai *(try net*) réalisée en 2000 et 2001 et de données relevées par les observateurs embarqués sur les chalutiers industriels entre 1998 et 2001. Des indices de recrutement mensuels ont été calculés, en prenant en compte les pourcentages d'individus en dessous d'une certaine taille et les abondances observées, pour les trois zones de pêche et les trois principales espèces. Les conclusions sont les suivantes :

– *Fenneropenaeus indicus* (données campagne chalutage)

Pour la zone nord, le fort recrutement des *F. indicus* a lieu aux mois de mars et avril. À partir du mois de juin et jusqu'à la fin de l'année, le recrutement est presque nul.

Pour la zone nord-ouest, le maximum de recrutement est obtenu au mois de mai. Un recrutement de faible intensité est obtenu de septembre à décembre.

Pour la zone sud-ouest, le recrutement est mieux étalé au cours de l'année. Toutefois, la période creuse du mois de juin-août est toujours marquée. La période de fort recrutement est obtenue aux mois de mars-avril. Un deuxième pic de recrutement peu important est également obtenu au mois d'octobre.

– *Metapenaeus monoceros* (données observateurs)

Pour les trois zones, les indices de recrutement augmentent jusqu'en avril. Ils décroissent irrégulièrement jusqu'à la fin de la saison de pêche. Un petit pic secondaire est également observé au mois de septembre.

– *Penaeus semisulcatus* (données observateurs)

Pour l'ensemble de la côte ouest, on observe également un maximum au mois d'avril. Ce pourcentage diminue jusqu'en fin de campagne. Un maximum secondaire beaucoup moins important est également observé au mois de septembre.

Le recrutement varie également d'une année à l'autre, principalement en fonction des conditions hydroclimatiques, notamment la pluviosité et les débits des fleuves. La variabilité du recrutement expliquerait, jusqu'à une période récente, l'essentiel des variations d'abondance interannuelles et donc des captures. Les variations saisonnières de l'abondance apparente des différentes espèces de crevettes seront abordées plus spécifiquement dans les deux études de l'ouvrage consacrées à la pêche traditionnelle et à la pêche industrielle.

Comportement

Les déplacements

Les exigences liées à la nature du substrat, à la richesse trophique du milieu, à l'hydrologie peuvent obliger les crevettes à se déplacer. À Madagascar, aucun phénomène de migration géographique de grande amplitude n'a été signalé. La stabilité assez grande des conditions hydrologiques et l'isolement relatif des fonds à crevettes pourraient expliquer ce comportement. Il existe cependant des migrations estuaire-mer, dont nous avons déjà parlé en abordant le cycle biologique des crevettes, qui touchent particulièrement l'espèce principale *F. indicus*. Au nord, des stocks individualisés de cette espèce seraient observés devant chaque estuaire (Marcille, 1978), elle paraît se déplacer un peu plus en allant vers le sud de la côte ouest, où les grands estuaires sont plus rares. Cette question sera traitée dans le chapitre suivant.

La dispersion

Le comportement des crevettes et leur aptitude à se grouper en bancs sont variables suivant les espèces et la saison (Garcia et Le Reste, 1981). Généralement, les pénéides présentent des phases de « bancs », « essaims » ou « mattes » (Crosnier, 1965 ; Pérez-Farfante, 1969 ; Chabanne et Plante, 1969 ; Munro, 1975 ; Marcille, 1978). Les travaux de Marcille (1978) précisent que les *F. indicus* ont un comportement en banc permanent, tandis que *M. monoceros* et *P. semisulcatus* sont grégaires en début d'année (saison pluvieuse) et dispersées en fin d'année (saison sèche). Des entretiens beaucoup plus récents avec les patrons de pêche semblent indiquer qu'avec la diminution de l'abondance, des mattes de *F. indicus* ne s'observent plus qu'en début de saison de pêche.

Le rythme nycthéméral

Les pénéides adultes s'enfouissent généralement dans la vase durant le jour et nagent au voisinage du fond pendant la nuit. Ce schéma peut cependant être perturbé en fonction de l'intensité de lumière traversant la couche d'eau et diminuer si les eaux sont turbides. Le rythme quotidien (rythme nycthéméral) d'activité pourrait avoir des changements saisonniers en relation avec les variations hydroclimatiques (Garcia *et al.,* 1973). Il peut aussi varier

suivant les espèces. À Madagascar, RAFALIMANANA (2003) a étudié la composition spécifique des captures selon la période du jour à partir de la campagne scientifique au chalut d'essai déjà décrite. Pour la côte ouest, la répartition spécifique des captures est calculée selon la période du jour (pêche de jour ou de nuit) et selon la saison (haute saison et basse saison de pêche). On met ainsi en évidence (fig. 9), d'une part, l'importance des rendements horaires de chalutage, et d'autre part l'importance relative (en pourcentage) de chaque espèce dans les captures.

Globalement, il apparaît que l'importance des différentes espèces dans les captures n'est pas la même suivant la période du jour. Elle varie également avec la saison. Pendant la haute saison, presque la moitié des captures est constituée par *F. indicus* pour les pêches de jour et par *M. monoceros* pour les pêches de nuit. Pendant la basse saison, les captures de *M. monoceros* restent relativement élevées de jour comme de nuit. L'importance relative de *F. indicus* est beaucoup plus faible pendant cette période au profit de *P. semisulcatus*. Il apparaît ainsi un rythme totalement opposé dans la composition des captures entre *F. indicus* et *P. semisulcatus*. Le rendement est meilleur de jour pour la première et de nuit pour la seconde.

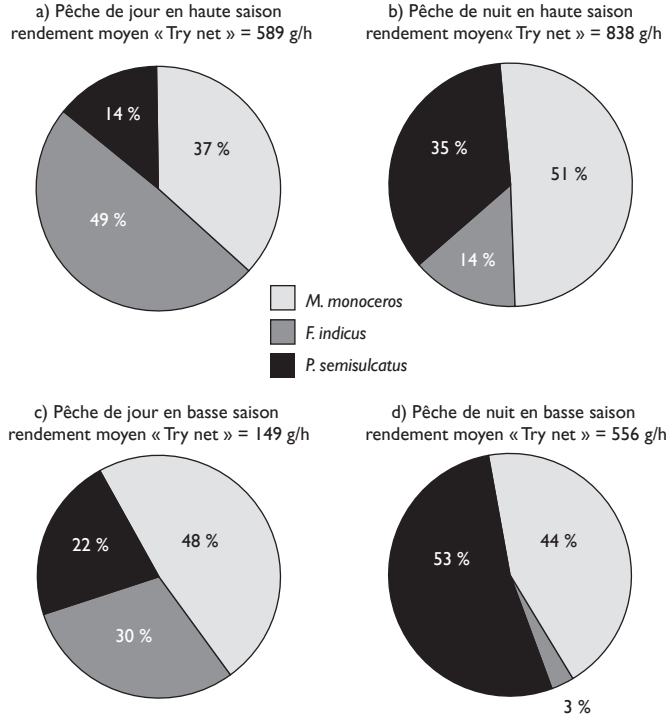


Fig. 9

Composition spécifique moyenne des captures par période jour/nuit et par saison de pêche pour les trois principales espèces de crevettes exploitées sur la côte ouest de Madagascar. Haute saison : décembre à mai et basse saison : juin à novembre.

L'influence du cycle lunaire

L'influence du cycle lunaire est plus nette pour les subadultes en migration estuaire-mer que pour les adultes en mer. Certains auteurs indiquent que la sensibilité des crevettes au stimulus de migration dépend du stade de mue. Cette dernière est centrée sur la pleine lune, inhibant la migration qui commence après le dernier quartier, lorsque la mue est terminée (RACEK, 1959 ; BODDEKE *et al.,* 1977). Les courants de marée sont plus forts en pleine et nouvelle lune, et cela joue aussi sur les migrations. Plusieurs études confirment que les captures dans la zone intertidale atteignent un maximum en période de nouvelle lune (DE BONDY, 1968 ; GARCIA, 1972, 1977 ; RABARISON, 1984, 1987 ; RASOARIMIADANA, 1985 ; RAFALIMANANA, 1990 ; RAZAFINDRAINIBE *et al.,* 1995).

Pour les adultes de *P. semisulcatus* et *M. monoceros*, MARCILLE (1978) signale que les captures seraient plus élevées en période de pleine lune à la fin de la saison fraîche et en début de saison chaude, mais les résultats varient d'une année à l'autre et la significativité de la différence constatée n'est pas certaine.

Déplacements en mer des crevettes *Fenneropenaeus indicus*

Théophile Rafalimanana

© A. de Rodellec/PNRC

Pour les crevettes adultes en mer, la répartition géographique est liée aux conditions de milieu. Les migrations saisonnières de grande amplitude en hiver sont signalées aux limites extrêmes de distribution de l'espèce chez les pénéides (Burkenroad, 1939 ; Lindner et Anderson, 1956). Dans certaines régions limites, l'adaptation des pénéides se traduit par l'arrêt de la croissance et une baisse de l'activité de l'animal (Garcia *et al.,* 1973 ; Lhomme, 1981).

Les contraintes de disponibilité alimentaire, de conditions hydrologiques et d'habitat peuvent inciter les crevettes à migrer. Lindner et Anderson (1956) ont signalé un déplacement de 580 km de *Litopenaeus setiferus* le long de la côte Atlantique des USA. Ruello (1975) mentionne qu'une crevette pénéide *Melicertus plebejus* a parcouru 930 km en Australie.

Les résultats obtenus lors des études sur les migrations géographiques des *Farfantepenaeus duorarum* aux États-Unis ont montré que des distances de 5 milles nautiques pouvaient être couvertes dans la journée par l'animal et que des déplacements de plus de 150 milles pouvaient être observés (Costello et Allen, 1965).

Aucun phénomène de migration de grande amplitude n'a été mis en évidence à Madagascar. Ceci pourrait s'expliquer par l'isolement des fonds à crevettes et la stabilité hydrologique. Toutefois, Vincent-Cuaz (1964) a signalé l'existence d'une migration trophique de *F. indicus* pendant la saison sèche (de mai à juillet), mais cette supposition reste à vérifier.

Les données

L'étude des déplacements des crevettes est entreprise à partir des données de marquage-recapture obtenues au cours des campagnes de marquages effectuées pendant la saison chaude 1999 devant la côte ouest de Madagascar, en période de fermeture de la pêche pour laisser aux crevettes le temps de grandir et éventuellement de se disperser. Les opérations de marquage ont été réalisées par des scientifiques embarqués sur des crevettiers commerciaux, avec l'appui du GAPCM, et selon le protocole décrit par LHOMME (1998). Ces navires ont eu l'autorisation de chaluter dans ce seul but de marquage. Les recaptures de crevettes marquées ont été essentiellement faites par la pêche industrielle, rarement par la pêche artisanale et la pêche traditionnelle. Seules les recaptures avec position complète ont été prises en compte et quelques données aberrantes ont été écartées (trajet supérieur à 2 milles par jour, le déplacement passif par transport d'un courant fort sur une longue distance pourrait être possible mais très peu probable dans les cas rencontrés).

Les nombres de recaptures valides pour *M. monoceros* et *P. semisulcatus* (102 et 20) étant faibles pour l'étude envisagée, celle-ci ne portera que sur les données de *F. indicus* : 933 observations, avec 22 observations complémentaires obtenues en 2002 lors de marquages de juvéniles dans la baie d'Ambaro au nord de la côte ouest et également en saison chaude.

Trajectoires des crevettes recapturées

Tous les calculs et représentations font l'hypothèse d'un trajet en ligne droite pendant la période de liberté, c'est-à-dire le temps entre la remise de la crevette dans son milieu naturel après son marquage et le moment où elle a été recapturée. C'est donc un trajet minimum en distance et en vitesse moyenne ; un trajet plus long avec une vitesse moyenne plus rapide est possible mais inconnu.

Les distances linéaires et les vitesses de déplacement des crevettes recapturées en fonction du nombre de jours de liberté (groupés par décade) sont représentées sur la figure 10.

La longueur maximale observée du trajet en ligne droite théorique est de 60 milles, la moyenne de la distance totale parcourue est de 7 milles. Le trajet journalier moyen (en ligne droite) calculé est de 0,22 mille.

Au Sénégal, LHOMME (1981) a calculé les distances moyennes parcourues par *F. notialis* lors d'expériences de marquage similaires (saison chaude) et trouve les résultats suivants :

– fonds de pêche de Saint-Louis, marquage effectué en septembre 1976 : 20,4 milles ;

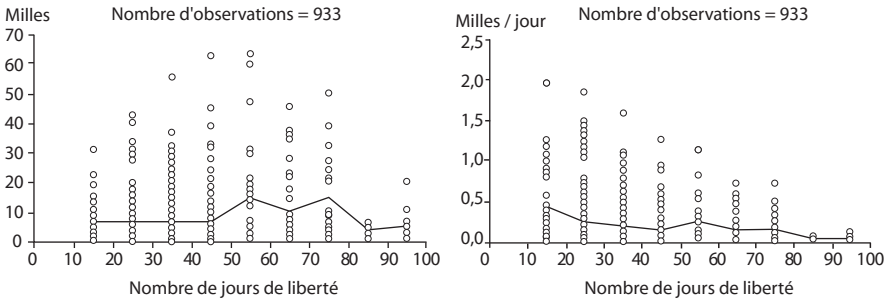


Fig. 10
Distances linéaires et vitesses de déplacement chez F. indicus *en fonction du nombre de jours de liberté [valeurs individuelles (ronds) et moyennes (lignes)].*

– fonds de pêche de Roxo-Bissagos, marquage effectué en septembre 1974 : 6,9 milles ;

– les distances journalières moyennes parcourues étaient de 2,1 milles à Saint-Louis et de 1,5 mille à Roxo.

Par conséquent, la valeur du trajet journalier observé décroît avec le nombre de jours de liberté. On peut supposer que les crevettes marquées migrent au hasard dans toutes les directions dans les premiers temps et, les étendues des fonds de pêche étant assez réduites, les crevettes peuvent très bien retourner vers leur point de départ au fil des jours.

Les positions de marquage et de recapture sont représentées avec le logiciel MAPINFO (fig. 11, 12 et 13).

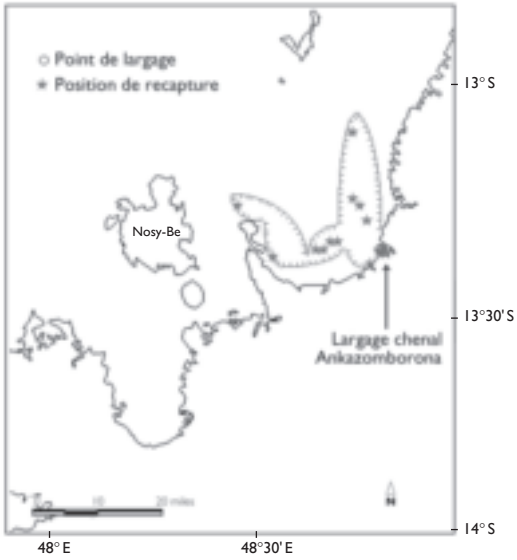


Fig. 11
Déplacement des crevettes F. indicus *après marquage – Zone nord, 2002.*

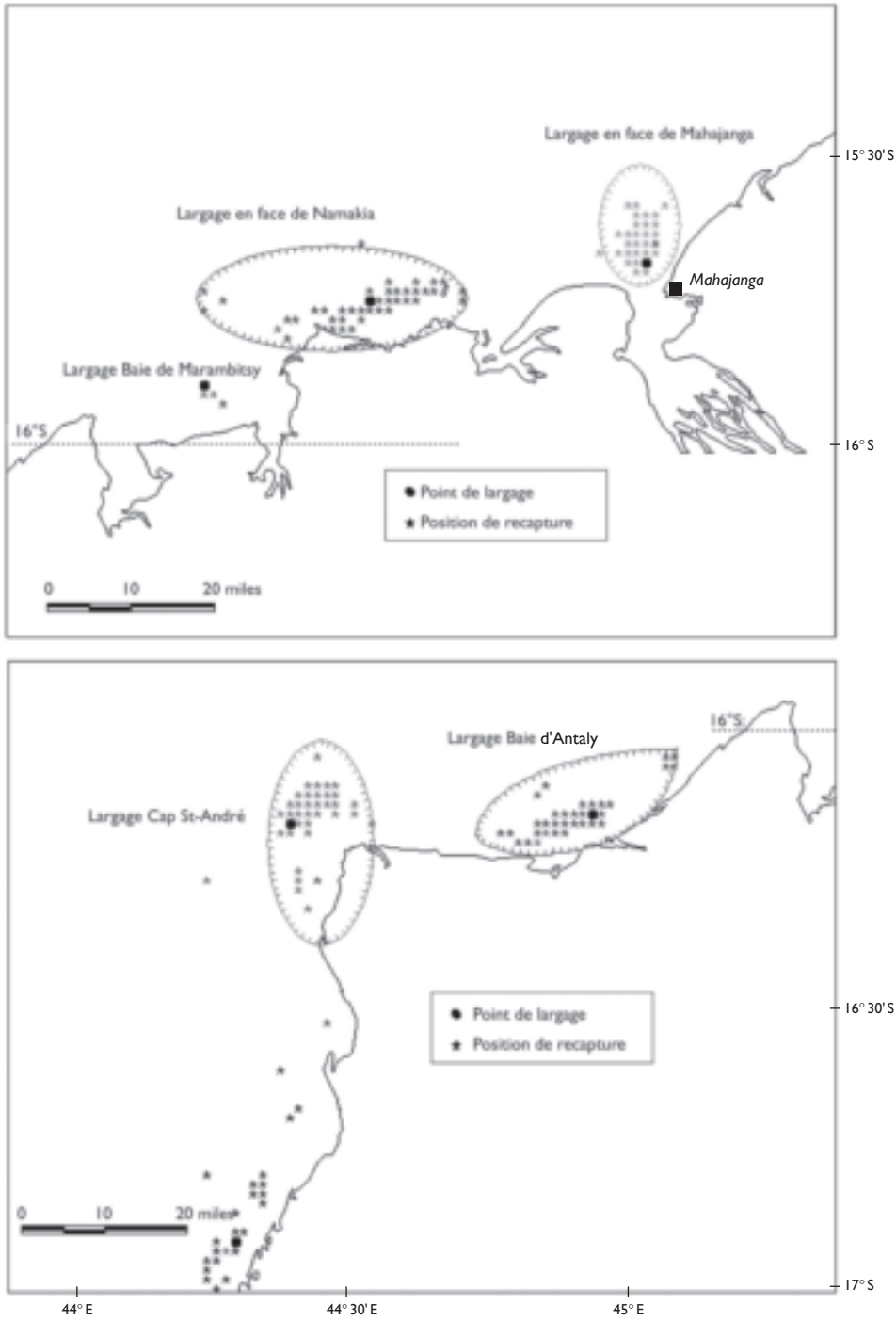


Fig. 12
Déplacement des crevettes F. indicus *après marquage – Zone nord-ouest, 1999.*

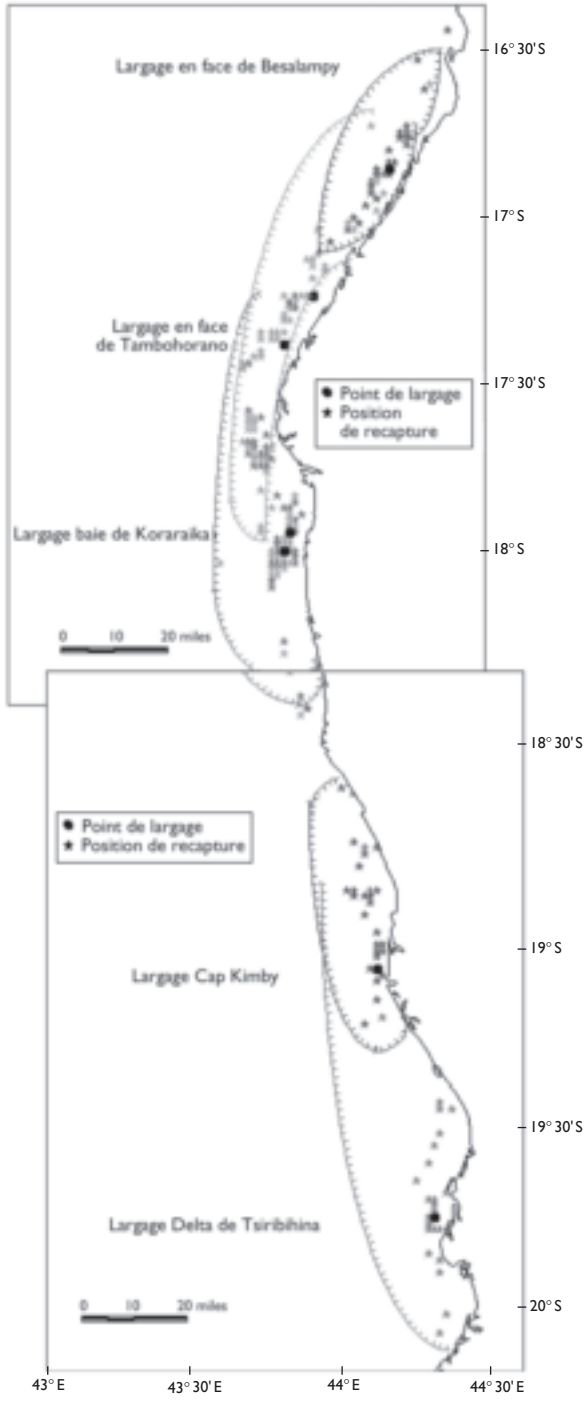


Fig. 13
Déplacement des crevettes F. indicus *après marquage – Zone sud-ouest, 1999.*

D'après les quelques données de recapture obtenues dans la zone nord en 2002 (fig. 11), la dispersion des crevettes se fait apparemment au hasard dans tous les lieux de pêche de cette zone. D'après de précédentes opérations de marquage menées aussi en baie d'Ambaro en décembre 1972 et janvier 1973, également en période de fermeture de la pêche, les crevettes marquées ont été recapturées surtout à l'ouest de la baie d'Ambaro (Le Reste et Marcille, 1976 b ; Le Reste, 1978) : 288 recaptures à l'ouest sur un total de 321 recaptures. L'expérience de marquage de janvier 2002 montre que les crevettes se disperseraient aussi bien à l'ouest qu'au nord-ouest de la baie.

Dans la zone nord-ouest, la dispersion des crevettes apparaît sous forme d'amas (fig. 12). D'après Le Reste (1978), il semble que les migrations sont de faible amplitude dans cette zone, et qu'une grande partie des recaptures ont eu lieu sur place.

Dans la zone sud-ouest, il semble que la dispersion soit uniforme sur toutes les zones de pêche (fig. 13).

Dans l'ensemble, pour les zones nord et nord-ouest les crevettes semblent rester dans les mêmes baies, il n'y a pas de déplacement de migration d'une baie à une autre ; par contre, plus au sud les crevettes semblent se mélanger d'un fond de pêche à l'autre.

La variation des vitesses de déplacement

Analyse des variances et modélisation linéaire des données de marquage-recapture

On cherche à analyser les facteurs de variation de la vitesse de déplacement. Pour chaque crevette recapturée la vitesse de déplacement est calculée par le rapport de son trajet linéaire sur son nombre de jours de liberté. On analyse l'effet sur cette variable des facteurs sexe, stade de maturité pour les femelles, taille (LC) au largage, latitude de largage et sonde moyenne de largage-recapture. Les modalités pour chacune de ces variables sont présentées dans le tableau 1. La modélisation linéaire est réalisée à l'aide de la procédure GLM (General Linear Model) du logiciel SAS (SAS Institute Inc.)

Tableau I
Modalités des variables explicatives pour la modélisation des vitesses de déplacement.

Classe	Niveau	Valeur
Sexe	2	Mâle ou Femelle
Stade de maturité	4	I, II, III, IV (Subrahmanyam)
Taille LC	12	20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42 mm
Latitude	4	Parallèle 15-16°S, 16-17°S, 17-18°S et 19-20°S
Bathymétrie	3	5-10 m, 10-15 m et 15-20 m

Les crevettes marquées sont remises dans leur milieu (marquage en estuaire).
© A. de Rodellec/PNRC

Mesure de la longueur des crevettes avant marquage en zone d'estuaire.
© A. de Rodellec/PNRC

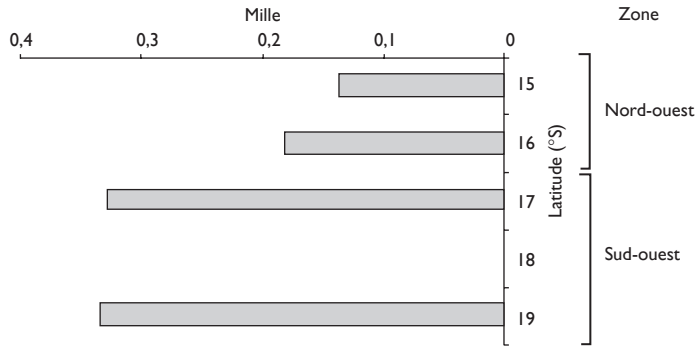


Fig. 14
Variation des vitesses moyennes de déplacement des crevettes selon la latitude.

Les données de marquage-recapture des crevettes adultes de 1999 sont utilisées pour cette modélisation. Nous n'avons pas intégré les données de marquage de juvéniles de 2002 dans les analyses.

Résultats

Les premiers tests ont montré que les effets sexe, stade de maturité et taille au largage ne sont pas significatifs, ce qui suppose qu'il n'y a pratiquement pas de déplacements « polarisés ». Les déplacements observés sont donc assimilés à des déplacements aléatoires de type dispersif.

La modélisation a finalement été réduite à une analyse de variance considérant seulement la variable spatiale (latitude). La variance expliquée par le facteur latitude est relativement faible (9,5 % sur 933 observations), mais l'effet est hautement significatif. Les résultats montrent que la vitesse de déplacement augmente du nord au sud (fig. 14). Elle est de l'ordre de 0,15 mille/jour dans la zone nord-ouest et de 0,33 mille/jour dans la zone sud-ouest. Même dans ce dernier cas, le déplacement journalier reste faible comparativement aux valeurs observées par LHOMME (1981) au Sénégal.

La diffusivité des crevettes

Formulation mathématique

Les mouvements de diffusion peuvent être modélisés par la seconde loi de Fick, qui relie les variations spatiales et temporelles de densité :

$$\frac{\delta n}{\delta t} = D \frac{\delta^2 n}{\delta z^2}$$

D : coefficient de diffusivité
n : densité
t : temps
z : déplacement

Le paramètre du mouvement D (coefficient de diffusivité) peut être obtenu graphiquement à partir de la droite passant par l'origine, et qui exprime la surface occupée par les crevettes relâchées, en fonction du nombre de jours de liberté. Cette surface est calculée à partir de la plus grande distance observée (soit $S = \pi \times d_{max}^2$ en mille²). La pente de la relation entre surface et temps est égale à D (en mille²/j). L'utilisation de la plus grande distance observée peut prêter à discussion. Elle est choisie ici car, comme indiqué plus haut, la valeur du trajet journalier observé décroît avec le nombre de jours de liberté, ce qui prouve qu'il y a des retours vers l'arrière et que la crevette marquée peut fort bien être allée beaucoup plus loin que son point de recapture. Les résultats qui seront présentés doivent donc être considérés plutôt comme des maxima.

Nous ne considérons ici que les données de marquages des adultes effectués au mois de janvier, en pleine période de saison de pluie. Nous avons effectué séparément la résolution graphique de la diffusivité pour les deux zones considérées.

Résultats

Au-delà de deux mois de liberté, le nombre de recaptures diminue et le déplacement apparent des crevettes est faible, ces données n'ont pas été prises en compte dans les calculs. Pour les données de la zone nord-ouest, nous avons aussi éliminé les valeurs correspondant à [20-30] et [50-60] jours de liberté que nous considérons comme des exceptions. Les ajustements des droites de régression linéaire sont représentés sur la figure 15. Les coefficients de diffusivité maxima obtenus sont de 92 milles²/jour pour la zone nord-ouest et de 239 milles²/jour pour la zone sud-ouest.

La mobilité des populations des crevettes est souvent ignorée dans les modèles de dynamique des populations. Elle est de plus en plus intégrée dans les analyses des ressources migratoires comme les thons. Nous n'avons pas de valeur de référence concernant les crevettes.

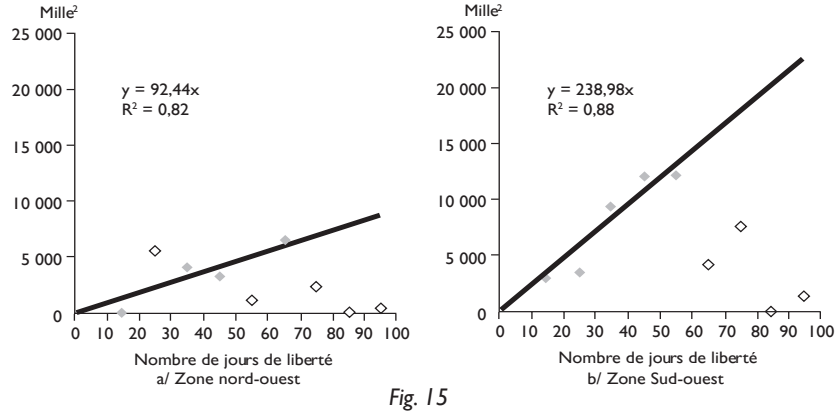


Fig. 15

Graphes d'ajustement linéaire des données de la surface maximale atteinte en fonction du nombre de jours de liberté (Les points en grisé correspondent aux valeurs prises en compte dans les ajustements linéaires).

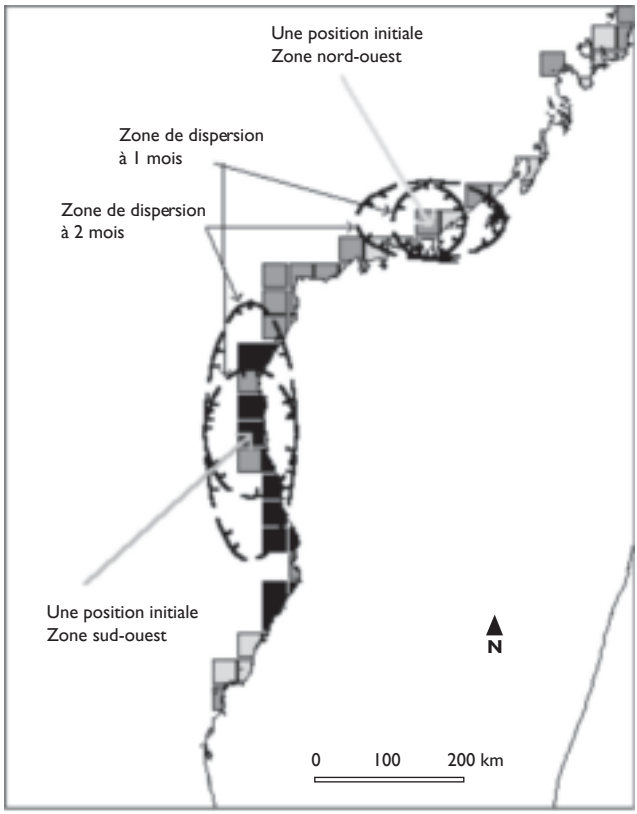


Fig. 16
Schéma de la diffusivité maximale mensuelle estimée des F. indicus *dans les zones nord-ouest et sud-ouest. La coloration plus ou moins foncée des carrés statistiques correspond à une production annuelle en crevette qui augmente avec l'assombrissement.*

La conséquence pratique de la prise en compte des coefficients de diffusivité estimés est qu'un carré statistique de 20' de côté, comme utilisé pour la pêche crevettière industrielle à Madagascar, pourra avoir la même abondance de crevettes au bout d'un mois que les carrés statistiques directement adjacents, dans la limite des barrières physiques et écologiques (topographie, préférences bathymétriques et sédimentologiques, courants marins,…) du milieu, dans le cas de la zone nord-ouest[3]. Pour le cas de la zone sud-ouest, la diffusivité des crevettes est environ le double de la précédente. Une représentation de la diffusivité maximale des crevettes dans les deux zones est schématisée sur la figure 16. Il s'agit d'ellipses car il a été grossièrement tenu compte de la

3. En effet, un carré de 20' a une surface d'environ 400 milles^2 entre l'équateur et les tropiques (1 minute de latitude équivaut à 1 mille mais n'a cette valeur qu'à l'équateur pour la longitude. La diffusivité de 92 milles^2/jour correspond à 2 760 milles^2 au bout d'un mois, soit la surface de 7 carrés statistiques, ce qui représente un cercle de 30' de rayon, soit le centre du carré de départ et la valeur du côté d'un carré adjacent.

profondeur maximale que peut atteindre la crevette *F. indicus*. Ainsi, la population de crevettes de la zone nord est caractérisée par un coefficient d'échange faible et dans l'hypothèse d'une possibilité physique de déplacement, il faut plusieurs mois aux crevettes pour passer d'une baie à l'autre. D'ailleurs, l'examen de la concentration en crevettes à partir des prises annuelles des crevettiers par carré statistique montre l'hétérogénéité de la répartition d'abondance, avec la présence de quelques carrés isolés à forte abondance correspondant à chaque baie. En ce qui concerne la zone sud-ouest, cette répartition est beaucoup plus continue, et il y a un échange plus rapide entre les fonds de pêche.

Conclusion

L'étude des déplacements des crevettes montre qu'il n'y a pas de déplacement polarisé pour les crevettes pénéides rencontrées à Madagascar, du moins pour les *F. indicus*. Toutefois, la diffusivité des crevettes n'est pas négligeable. Elle est plus faible au nord qu'au sud. Les photographies de la distribution des ressources présentent donc une certaine marge d'erreur à cause de la fluidité de ces ressources. Les crevettes pourraient se déplacer d'un mois à l'autre sur trois carrés statistiques contigus de 20' de côté.

L'étude des déplacements des crevettes *F. indicus* à partir de campagnes de marquages est à mettre en relation avec les cartographies de l'abondance obtenues à partir des statistiques de pêche par carrés statistiques de 20' de côté, qui indiquent pour la côte ouest de Madagascar une répartition continue de l'abondance dans la partie sud et une répartition discontinue dans la partie nord. Dans la partie nord, de la baie d'Ambaro jusqu'au cap St-André, les crevettes semblent confinées aux alentours de chaque baie.

Croissance des crevettes côtières *Fenneropenaeus indicus*, *Metapenaeus monoceros* et *Penaeus semisulcatus* à Madagascar

Théophile Rafalimanana,
Alain Caverivière

© A. de Rodellec/PNRC

Introduction

La connaissance de la croissance est un élément clé pour comprendre la dynamique des populations, notamment pour les espèces à vie courte comme les crevettes pénéides. L'étude de la croissance par décomposition modale des fréquences de taille étant réputée peu fiable pour ces espèces, la méthode par capture et recapture d'individus marqués à été retenue dès les premières recherches. Les premiers marquages ont eu lieu début 1972 en baie d'Ambaro, pour les deux principales espèces, *Fenneropenaeus indicus* et *Metapenaeus monoceros*, par Le Reste et Marcille (1976 a et b). D'autres campagnes ont été organisées en 1985-1986 et 1998 par le Centre national de recherches océanographiques (CNRO), avec de faibles résultats. Avec la création du Programme national de recherches crevettières (PNRC) en 1997, d'importantes campagnes ont été réalisées en 1999 et 2004 en utilisant des marques en ruban de vinyle et suivant le protocole indiqué par Lhomme (1998). Les résultats de 1999 et d'une petite partie de 2004 ont fait l'objet de publications (Rafalimanana, 2003, 2004 c). Les calendriers, lieux de réalisa-

tion, nombres d'individus marqués et recapturés par espèce, des campagnes de 1999 et 2004 sont présentés en Annexes Ia et b. Pour toutes les campagnes, près de 50 000 marques ont été posées sur 5 espèces, et les données recueillies sont utilisables pour étudier la croissance des trois principales espèces : *F. indicus*, *M. monoceros* et *P. semisulcatus*.

Cette étude présente les résultats des campagnes de marquage depuis 1972, avec un retraitement des données ayant déjà donné lieu à publication. En effet, l'analyse récente des campagnes de saison froide a montré des croissances individuelles nulles fréquentes en cette saison, qui doivent donc, à notre avis, être prises en compte pour toutes les campagnes, alors qu'elles étaient considérées comme erronées auparavant.

Croissance de *Fenneropenaeus indicus*

Données valides et indices de croissance

Les recaptures à partir des données de 1972-1973 de la baie d'Ambaro

La description des campagnes de marquage, la méthodologie et quelques résultats sont présentés par Le Reste et Marcille (1974). Les crevettes ont été marquées avec des disques de Petersen.

Au départ de l'analyse[4], nous avons pris en compte toutes les recaptures d'individus marqués en 1972. Les croissances négatives supérieures à - 1 mm ont été considérées comme nulles, car il est probable qu'il s'agisse d'un manque de précision des mesures de longueur ou/et d'un biais dû à la congélation des crevettes recapturées, puis à leur décongélation avant mesure en laboratoire. Les recaptures de crevettes marquées dans d'autres baies n'ont pas été prises en compte. La moyenne de la croissance journalière selon les temps de liberté (nombre de jours entre le marquage et la recapture) a été calculée (tabl. 2). Il est normal que la croissance diminue avec le temps de liberté, car elle diminue aussi avec l'âge. D'après les résultats, on peut considérer qu'à partir de 8 jours le stress du marquage n'existe plus.

Les observations avec des durées de liberté inférieures à 8 jours sont ensuite supprimées. On dispose alors de 410 observations pour les femelles avec 8 à 130 jours de temps de liberté et 204 pour les mâles avec 8 à 137 jours de liberté (tabl. 3).

Un traitement identique des données source sera fait pour les autres campagnes de marquage. La suppression ou non des observations avec des croissances nulles n'a que très peu ou peu d'incidence sur les résultats en saison

4. Les données de base nous ont été communiquées par Louis Le Reste, que nous remercions vivement.

Tableau 2
Moyenne des croissances journalières (Cj, en 100e de mm) de F. indicus *en zone A (baie d'Ambaro) en fonction des temps de liberté.*

	Mâles		Femelles	
Temps de liberté	**Cj moyen**	**Effectif**	**Cj moyen**	**Effectif**
2-7 jours	12,85	10	16,37	13
8-15	10,59	32	17,05	50
16-23	9,87	27	17,71	40
24-49	7,12	33	13,88	69
50-75	5,25	60	11,29	137
76-(130-137)	4,26	52	9,42	114

chaude, car leur effectif est faible ou nul. En revanche, on peut d'ores et déjà indiquer que ces données sont nombreuses en saison froide car la croissance y est très ralentie, et il ne serait pas correct de les enlever.

Données de 1985, 1986, 1998

De nombreuses campagnes de marquage ont été faites en 1985 en différentes saisons, de la baie d'Ambaro à la baie de Baly. Une campagne a été effectuée en saison chaude 1986 de part et d'autre de l'estuaire de la Betsiboka et une autre campagne a été réalisée en saison froide 1998 devant la baie de la Mahajamba. Au total, près de 10 000 individus de différentes espèces ont été marqués. Il y a eu très peu de recaptures, et encore moins de recaptures valides (deux principales raisons nous ont été indiquées : mauvaise technique dans les opérations de marquage et peu de coopération des équipages des crevettiers). L'examen des données de recapture disponibles au PNRC (peut-être aussi incomplètes) ne nous a permis de retenir que 32 couples de données marquage-recapture qui concernent la baie d'Ambaro en saison froide, soit 18 femelles de 8 à 55 jours de liberté et 14 mâles de 8 à 29 jours de liberté.

Données 1999

La marque utilisée à partir de 1999 est le ruban de vinyle. Cette marque et le protocole de marquage employé sont décrits par Lhomme (1998). Les données de base concernent la saison chaude et les marquages ont été faits en période de fermeture de la pêche qui s'étend de décembre à février. 971 recaptures valides ont été enregistrées pour la côte ouest, entre la baie de la Mahajanga au nord et Morondava au sud ; elles ne sont que 60 pour la côte est. Les caractéristiques des recaptures sont indiquées sur le tableau 3.

Données 2004

Elles concernent principalement la saison chaude pour *F. indicus,* on a pour cette saison 111 recaptures valides pour des marquages effectués en baie de Narindra, 302 recaptures pour des marquages effectués devant Morondava.

Indices de croissance en saison chaude

Pour la saison chaude et par zone de marquage, les effectifs des recaptures valides ainsi que le nombre de celles dont la croissance a été nulle, les longueurs céphalothoraciques moyennes au marquage des individus recapturés (Lc moy. en mm), les intervalles des nombres de jours de liberté, les croissances journalières Lc/jour (10^{-2} mm) et les indices de croissance, sont indiqués au tableau 3. L'estimation de l'indice de croissance prend en compte la taille moyenne au marquage ; en effet, plus les crevettes marquées sont grandes, plus leur taux de croissance sera faible lorsque l'on utilise une loi de croissance de Von Bertalanffy, comme nous le ferons. Pour corriger approximativement ce phénomène préjudiciable à la comparaison des valeurs d'indice par zone, l'indice de croissance a été calculé comme suit :

Indice de croissance = Lc/jour x (Lc moyen/b)

b = 25 pour les femelles et 20 pour les mâles

Les valeurs de b ont été choisies un peu plus faibles que la plus basse taille moyenne au marquage, ce qui permet à l'indice de croissance d'être d'autant plus élevé que la valeur de la Lc moyenne est haute, c'est le cas en particulier de la côte est par rapport aux autres zones.

Pour la côte ouest, les Lc/jour (et les indices de croissance) pour les mâles comme pour les femelles, sont élevés dans la baie d'Ambaro au nord, faibles dans la zone plus centrale représentée par les baies de Narindra, de la Mahajanga et de Namakia, ils remontent ensuite au sud à partir du cap Saint-André (fig. 17). On note la forte valeur de l'indice des mâles en 2004 pour

Tableau 3
Caractéristiques des individus de F. indicus *marqués et recapturés, pour divers lieux et années de la côte ouest et pour la côte est, en saison chaude. Lc = longueur céphalothoracique en mm.*

Lieu marquage **Année**	Ambaro 1972	Narindra 2004	Mahajanga 1999	Namakia 1999	Cap St-André 1999	Maintirano 1999	Morondava 1999	Morondava 2004	Côte est 1999
Femelles									
Effectif	410	60	41	57	234	214	66	179	44
Lc moy. marquage	28,16	30,17	27,59	30,09	33,48	30,52	30,17	30,22	36,68
Nb croissance à 0	3	1	0	8	48	17	12	1	0
Jours liberté	8-130	48-177	22-51	22-91	20-100	8-77	13-156	17-181	38-114
Lc/ jour (10^{-2} mm)	10,99	5,98	6,98	4,91	6,50	10,24	8,00	7,97	7,13
Indice croissance	12,38	7,22	7,70	5,91	8,70	12,50	9,65	9,63	10,46
Mâles									
Effectif	204	51	90	52	110	61	46	123	16
Lc moy. marquage	23,41	26,00	24,29	23,79	27,48	26,13	26,15	26,61	30,19
Nb croissance à 0	2	0	16	25	23	14	15	1	0
Jours liberté	8-137	53-175	22-146	23-91	20-113	10-66	10-109	21-175	46-128
Lc/jour (10^{-2} mm)	5,35	3,14	2,86	1,83	5,07	6,26	5,12	6,51	3,45
Indice croissance	6,27	4,08	3,47	2,18	6,97	8,18	6,69	8,66	5,21

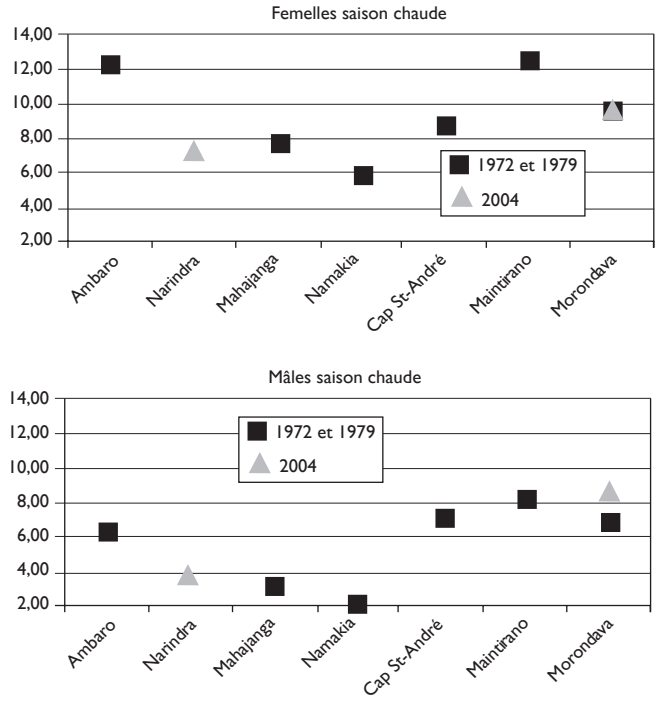


Fig. 17
Indices de croissance par zone (côte ouest du nord vers le sud) des F. indicus *femelles et mâles pour deux séries de campagnes de marquages.*

Morondava, où la croissance journalière serait même un peu supérieure à celle des femelles (ce qui n'est pas logique d'après ce que nous savons des croissances différentielles des mâles et des femelles). Cela pourrait provenir de ce que la taille moyenne des mâles lors de cette opération de marquage est la plus faible de toutes (la définition de l'indice pourrait ne pas avoir un rôle suffisamment compensatoire).

La figure 17 montre que pour les deux sexes les trois plus faibles valeurs des indices de croissance sont observées dans la zone centrale, qui correspond en gros à la zone B d'attribution des licences de pêche. Nous regrouperons donc l'ensemble des données de cette zone pour l'étude des croissances, ainsi que celles de la zone plus au sud, à partir du cap Saint-André, qui correspond à une très grande partie de la zone C d'attribution des licences de pêche.

Équations de croissance par zone et saison

On utilise l'équation simplifiée de croissance en longueur de Von Bertalanffy :
$Lc(t) = Lc\infty\ (1 - e^{-K*t})$

Elle permet d'estimer la longueur céphalothoracique Lc à un âge donné (t) et est bien adaptée aux crevettes (Garcia et Le Reste, 1981). Cette équation comprend deux constantes paramétriques. La constante Lc_∞ (ou Linf) est

aussi appelée longueur asymptotique ou longueur infinie. Lc_∞ est (en théorie) la taille moyenne des individus infiniment âgés (ou encore, des plus vieux individus possibles). La constante K est appelée constante de croissance ou encore paramètre de courbure. Elle détermine à quelle vitesse le poisson atteint sa taille maximale. La valeur de K est d'autant plus grande (pour une valeur de Lc_∞ donnée) que la croissance de l'espèce est plus rapide.

La méthode de FABENS (1965) permet d'estimer l'équation de croissance en longueur de Von Bertalanffy à partir des résultats des opérations de marquage-recapture. Elle fait appel à des ajustements par les moindres carrés.

Croissance de saison chaude

Les effectifs et les caractéristiques des individus recapturés après marquage sont repris par grande zone représentative des zones d'aménagement de la pêcherie crevettière (tabl. 4), soit trois zones A, B et C du nord au sud pour la côte ouest, une seule zone, D, pour la côte est. Les paramètres des équations de croissance obtenus par zone et en saison chaude à partir de ces données sont aussi présentés sur le même tableau.

Tableau 4

Caractéristiques des individus de F. indicus *recapturés après marquage et paramètres des équations de croissance de Von Bertalanffy dans les différentes zones d'aménagement de la pêche crevettière en saison chaude. Lc = longueur céphalothoracique en mm.*

	Côte ouest			**Côte est**
Zone	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D
Année	1972	1999-2004	1999-2004	1999
Femelles				
Effectif	410	158	693	44
Lc moy. marquage	28,16	29,47	31,41	36,68
Nb croissance à 0	3	9	78	0
Lc max.	43,1	41,0	48,0	50,0
Jours liberté	8-130	22-177	8-181	38-114
Lc/jour (10^{-2} mm)	10,99	5,94	8,23	7,13
Linf mm	42,87	39,69	40,86	48,25
K/jour	0,0106	0,0071	0,0108	0,0081
K/mois	0,319	0,217	0,327	0,247
Mâles				
Effectif	204	193	340	16
Lc moy. marquage	23,41	24,61	26,74	30,19
Nb croissance à 0	2	41	53	0
Lc max.	32,2	36,0	39,0	38,0
Jours liberté	8-137	22-175	10-75	46-128
Lc/jour (10^{-2} mm)	5,35	2,79	5,90	3,45
Linf mm	29,74	38,08	33,45	37,37
K/jour	0,0128	0,0023	0,0117	0,0061
K/mois	0,383	0,071	0,355	0,185

Une crevette F. indicus *marquée par un ruban de vinyle qui sera coupé de chaque côté, au-delà des annotations.*
© A. de Rodellec/PNRC

Mesure de la longueur céphalothoracique du creux orbital au rebord antérieur du céphalothorax.
© A. de Rodellec/PNRC

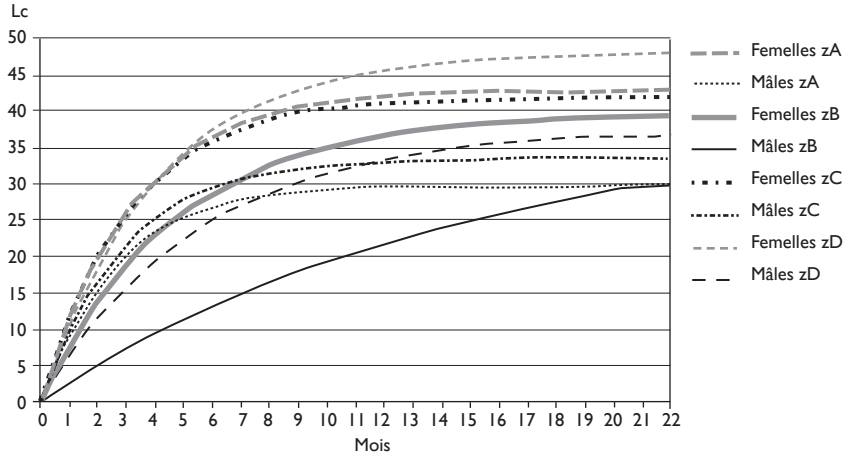


Fig. 18
Croissance par zone des mâles et des femelles de F. indicus *en saison chaude.*
Lc = longueur céphalothoracique en mm.

Pour la zone A, les valeurs de Linf et K sont très proches de celles de LE RESTE (1978), puis de RAFALIMANANA (2004 c), les temps de liberté valides ayant été respectivement fixés comme supérieurs à 30 jours et à 15 jours.

Pour la zone D, les valeurs pour les mâles sont données sous réserve car leur nombre est faible. Cependant, les résultats paraissent assez corrects.

La figure 18 représente les estimations des croissances par zone en saison chaude à partir de l'équation simplifiée de Von Bertalanffy, elles ne sont valables qu'à partir des tailles des plus petits individus marqués et recapturés.

Comme on le savait déjà, les croissances des femelles sont supérieures à celles des mâles.

Les courbes de croissance des femelles en zones A et C sont similaires, celle de la zone D est très proche des précédentes jusqu'à l'âge de 8 mois, elle s'en écarte par la suite car le Linf pour cette zone est plus élevé. La croissance dans la zone B[5] est nettement plus faible que dans les autres zones.

Pour les mâles, les croissances en zone A et C sont assez proches, quoique quelque peu plus rapides en zone C pour des âges inférieurs à 8-9 mois. La croissance en zone D est plus faible que pour les zones précédentes en première partie de vie. La courbe de croissance en zone D rattrape les valeurs des zones A et C entre 8 et 11 mois et les dépasse ensuite. La croissance en zone B paraît anormalement faible pour les premiers âges, le retard n'étant rattrapé qu'en fin de période.

5. Des données de marquage-recaptures dans la baie de Narindra, concernant la deuxième partie de la saison chaude de 1972, ont été non utilisées car non représentatives (9 mâles et 13 femelles de plus de 8 jours de liberté, marqués du 29 au 31 mars, avec 22 jours de liberté au maximum). Elles vont aussi dans le sens d'une faible valeur des croissances obtenues pour cette baie en 2004 et pour d'autres lieux de la zone B. La croissance moyenne journalière et l'indice de croissance des femelles (soit 5,94 et 7,00) sont de l'ordre des autres valeurs de la zone B (cf. tabl. 3) qui sont plus faibles que pour les autres zones. Pour les mâles, les valeurs sont un peu plus élevées (soit 4,49 et 5,65) mais quand même inférieures aux valeurs des autres zones de la côte ouest.

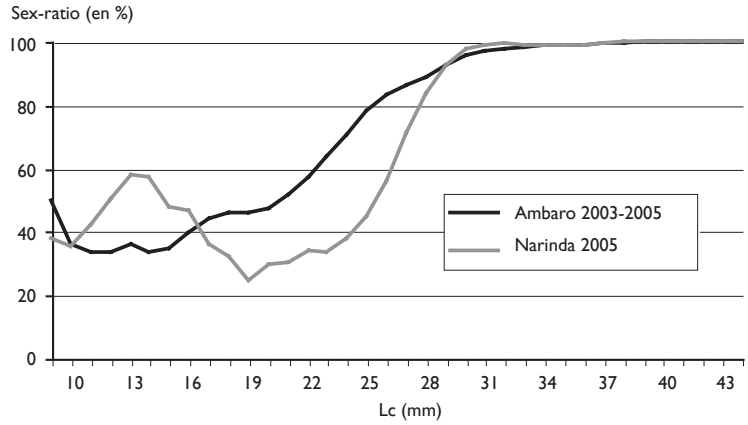


Fig. 19

Évolutions des sex ratios des F. indicus *femelles en fonction de la longueur céphalothoracique (Lc mm) pour l'ensemble de la pêche traditionnelle en zone A (baie d'Ambaro) et zone B (baie de Narindra).*

La faible croissance dans la zone B serait confirmée par l'évolution de paramètres qui sont indirectement liés à la croissance, il s'agit des sex ratios par classe de taille (pourcentages des femelles par rapport à l'ensemble mâles + femelles), dont nous présentons l'évolution pour l'ensemble de la pêche traditionnelle en zone A (baie d'Ambaro) et B (baie de Narindra) sur la figure 19. Ils ont été calculés à partir d'échantillons comportant 34 261 individus en baie d'Ambaro, qui ont été recueillis entre 2003 et 2005, et 7 192 individus en baie de Narindra, recueillis en 2005. L'évolution des sex ratios présente une courbe classique, en particulier pour le gros échantillon de la baie d'Ambaro. En effet, à la naissance le sex ratio est théoriquement de 50 %, par la suite les mâles dominent dans les petites tailles car la croissance des mâles étant plus faible ils mettent plus de temps pour passer d'une classe de taille à la suivante. Dans les plus grandes tailles c'est l'inverse, car les mâles qui sont plus âgés que les femelles pour une taille donnée, meurent plus vite dans ces classes de taille que les femelles, et à terme on ne trouve plus que des femelles dans les tailles les plus élevées. Ce graphique est intéressant car il montre qu'en zone B le pourcentage des femelles est inférieur à 50 % pour des tailles qui sont supérieures à celles observées en zone A. On peut en déduire que les mâles mettent encore plus de temps à traverser une classe de taille en zone B qu'en zone A, et donc que la croissance serait plus faible dans la zone B que dans la zone A.

Croissance de saison froide

Croissance de saison froide sur la côte est

Les marquages effectués en 2004 donnent les résultats suivants :

– 51 recaptures de femelles valides de 9 à 52 jours de liberté, taille moyenne au marquage de 37,18 mm Lc, croissance moyenne de 1,91 10^{-2} mm/jour (28 valeurs de croissance nulle), longueur maximale de recapture de 43,5 mm ;

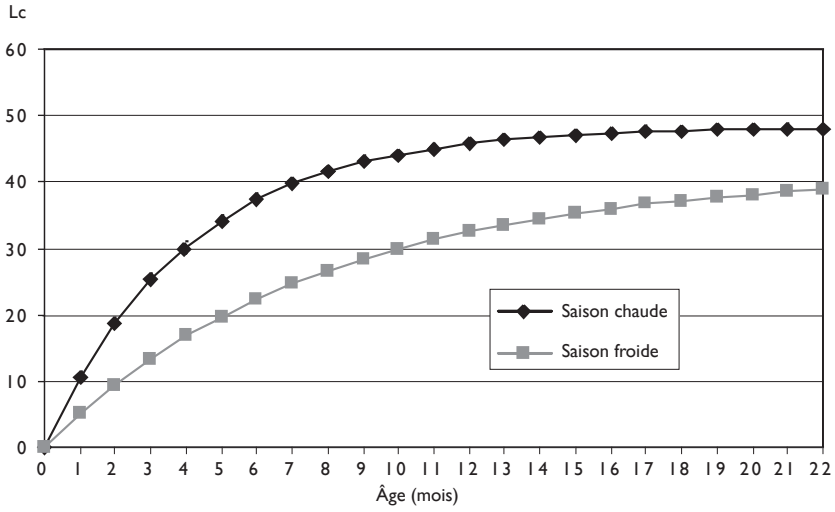


Fig. 20
Représentation de la croissance des F. indicus *femelles en saison chaude et en saison froide pour la côte est de Madagascar.*

– 27 recaptures de mâles valides de 8 à 49 jours de liberté, taille moyenne au marquage de 31,78 mm Lc, croissance moyenne de 1,64 10^{-2} mm/jour (15 valeurs de croissance nulle), longueur maximale de recapture de 36 mm.

La méthode de Fabens donne pour les femelles puis pour les mâles :

	Linf mm	K/jour	K/mois
Femelles	41,08	0,0043	0,131
Mâles	33,77	0,0079	0,240

Les temps de liberté sont beaucoup plus faibles qu'en saison chaude.

Étant donnés les effectifs de recaptures, les résultats pour les femelles sont les seuls utilisables pour des comparaisons intersaisonnières. Ils donnent une estimation de K beaucoup plus faible en saison froide avec un Linf également faible, ce qui correspond à une croissance nettement inférieure par rapport à la saison chaude (fig. 20).

Croissance de saison froide sur la côte ouest, essai de comparaison avec la saison chaude

Les données relatives à cette façade et à cette saison sont rares ; 32 recaptures valides pour les deux sexes réunis en baie d'Ambaro en 1975, 18 individus en baie de Narindra et 29 individus au large de Morondava en 2004. Elles concernent chacune des trois zones administratives de délivrance des licences de pêche pour la côte ouest, mais sont insuffisantes pour calculer des équations de croissance par zone qui soient valables.

Elles peuvent cependant servir à comparer approximativement les croissances de saison chaude et de saison froide (tabl. 5).

Tableau 5
Comparaison saisonnière (SC = saison chaude, SF = saison froide) des caractéristiques des individus marqués et recapturés pour trois zones de la côte ouest.

Année	1972 SC-1985 SF		2004		2004	
Zone	**Ambaro (A)**		**Narindra (B)**		**Morondava (C)**	
Saison	SC	SF	SC	SF	SC	SF
Femelles						
Effectif	410	18	60	11	179	19
Moyenne jours liberté	57,14	14,11	82,08	27,82	52,17	32,94
Lc/jour (10^{-2} mm)	10,99	10,93	5,98	4,74	7,97	7,51
Indice de croissance	12,38	12,43	7,22	6,39	9,63	10,29
Mâles						
Effectif	204	14	51	7	123	10
Moyenne jours liberté	54,04	10,86	87,39	26,29	48,80	41,60
Lc/jour (10^{-2} mm)	5,35	4,78	3,14	3,53	8,88	3,37
Indice de croissance	6,27	5,41	4,08	5,20	10,31	4,73

Les croissances moyennes journalières et les indices de croissance sont assez similaires pour les femelles en saison froide et en saison chaude, sauf pour Narindra (zone B) où les valeurs de saison froide sont plus faibles. Pour les mâles, les valeurs sont plus faibles en saison froide en zone A et C, ce n'est pas le cas pour la zone B (qui ne comporte que 7 individus mâles). On notera que les moyennes des temps de liberté sont beaucoup plus élevées en saison chaude qu'en saison froide[6]. Cela peut minorer les résultats des valeurs de croissance de la saison chaude par rapport à la saison froide, car la croissance diminue avec le temps (ainsi pour deux individus du même sexe marqués à une même taille, celui qui sera recapturé plus tard que l'autre aura en principe un taux de croissance plus faible).

Finalement, il semblerait donc (le nombre de données est faible en saison froide) que la croissance soit quelque peu ralentie sur la côte ouest en saison froide. Cela a déjà été montré pour la côte est (cf. plus haut). On peut noter qu'un ralentissement de croissance en saison froide serait bien connu en aquaculture de crevettes en zone tropicale, et en particulier à Madagascar (*com. pers*. Direction groupe Unima).

Vu le faible nombre de données disponibles pour la saison froide, nous avons regroupé les données des trois zones (79 individus recapturés au total) pour avoir une idée de la croissance pour la côte ouest en cette saison.

La méthode de Fabens donne pour les femelles puis pour les mâles :

	Linf mm	K/jour	K/mois
Femelles	53,81	0,0040	0,121
Mâles	34,38	0,0054	0,161

6. Ceci s'explique au moins en partie par la réalisation de marquages pendant la période de fermeture de la pêche en saison chaude, mais pas seulement, car il n'y avait pas de fermeture de pêche en 1972 pendant les marquages de saison chaude en baie d'Ambaro et la différence des temps moyens de liberté entre les deux saisons y est très importante.

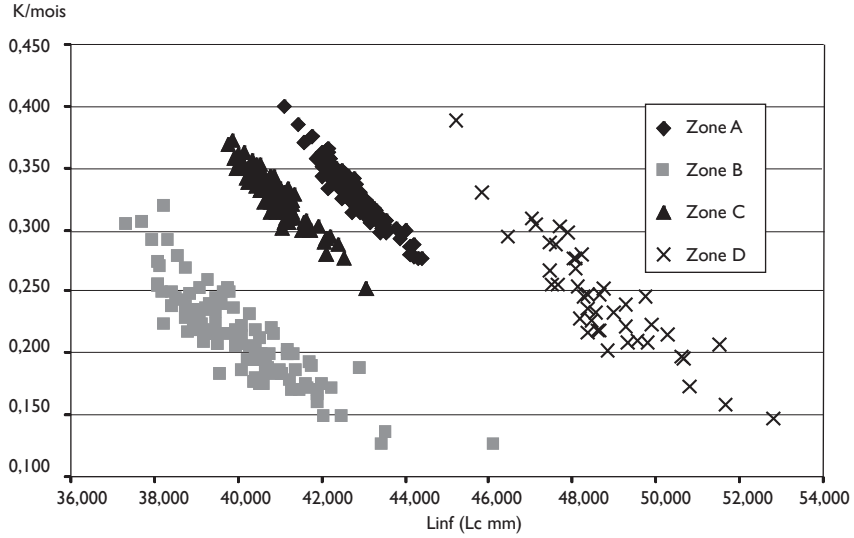


Fig. 21
Résultats des tirages bootstrap pour les paramètres de croissance par zone des F. indicus *femelles en saison chaude.*

Estimations de la variabilité des paramètres de croissance Linf et K

Des tirages bootstrap ont été faits à partir des couples de valeur marquage-recapture utilisés pour la détermination des croissances par zone des *F. indicus* femelles en saison chaude. Il s'agit de 100 tirages avec remise, c'est-à-dire que chaque tirage comporte un nombre d'individus correspondant aux observations, mais qu'un individu peut sortir plusieurs fois dans un tirage, ce qui implique que d'autres ne sortiront pas. Cela permet de situer les valeurs de K et Linf estimées par la méthode de Fabens par rapport à un nuage de points formé par les valeurs issues des 100 tirages bootstrap (ou égal au nombre de couples quand ce dernier est inférieur à 100).

Les valeurs issues de la première estimation par la méthode de Fabens sont au milieu du nuage de points pour les quatre zones. Les nuages de points (fig. 21) des zones A, B, C, sont assez voisins, les valeurs des coefficients de croissance étant plus variables que les valeurs de Linf ; la zone B montre une grande variabilité par rapport aux zones adjacentes. Le nuage de points pour la zone D (côte est) correspond à des valeurs de K plus faibles que pour les autres et surtout à des valeurs de Linf plus élevées. Cela serait dû en grande partie à un phénomène que nous allons maintenant analyser.

Problèmes concernant les estimations de Linf

Il est intéressant de comparer les valeurs de Linf calculées par la méthode de Fabens (tabl. 4) et celles estimées empiriquement à partir de l'ensemble des échantillons prélevés en usines en 1998-2000 sur la côte ouest (gros échantillons : 31 844 et 29 527 individus). Les estimations empiriques sont utilisées

en halieutique quand des estimations de la croissance n'ont pu être établies par lectures de pièces dures du squelette, données de marquage-recapture, décompositions modales des classes de taille, etc. Elles peuvent être faites en utilisant 95 % de la taille du plus grand individu, ou encore la moyenne des 20 plus grosses crevettes. On obtient alors respectivement 50,4 et 50,5 mm de Lc pour les femelles, 39,9 et 40,5 mm pour les mâles.

Les Linf estimés empiriquement à partir des échantillons de la côte ouest (zone A à C) sont bien plus élevés que ceux issus des marquages sur la même côte. Avec les valeurs de Linf estimées par la méthode de Fabens on ne peut attribuer aux plus grosses crevettes, qui vont bien au-delà de ces valeurs[7], qu'une classe d'âge par défaut (plus de x années, x étant l'âge maximal au-delà duquel ne peut aller la courbe de croissance de l'âge en fonction de la longueur). Cela pose des problèmes en dynamique analytique et modélisation bioéconomique : des modélisations « descendantes » à partir des recrutements estimés ne permettent pas de retrouver ces grosses crevettes, celles qui ont la valeur marchande la plus élevée. Ces Linf anormalement faibles ont déjà été observés (*comm. Pers.* Vendeville) lors de groupes de travail sur la crevette de la Copaco (Commission des pêches de l'Atlantique centre-ouest), et sans doute dans bien d'autres régions.

Nous nous sommes interrogés sur ces différences et pensons avoir quelques éléments de réponse.

Quand on examine de près les données de marquage-recapture, on peut remarquer que d'une manière générale les faibles valeurs de Linf estimées par la méthode de Fabens correspondent à une faible taille du plus grand individu recapturé, et à l'inverse. La méthode de Fabens utilise la procédure classique de minimisation de la somme des carrés des écarts, entre les longueurs observées des individus et les longueurs estimées, pour obtenir la courbe recherchée avec ses paramètres. Si les données de recapture concernent beaucoup de petits à moyens individus et peu ou pas de grands, ces derniers auront peu de poids et la méthode de calcul conduira souvent à des Linf nettement inférieurs aux tailles des gros individus capturés. À l'inverse, si les tailles des captures-recaptures sont relativement élevées, comme en zone D, le Linf sera assez proche des plus grandes tailles observées.

Nous avons testé les résultats d'une « dépondération » sur les données femelles de la zone A en utilisant les moyennes des données capture-recapture sur 20 classes de taille, donc sans tenir compte de l'effectif dans chacune de ces classes. La méthode de Fabens donne alors un Linf de 47,3 mm (au lieu de 42,9 pour la méthode classique), plus proche des Linf estimés par les méthodes empiriques et proche de celui estimé par la méthode de Fabens pour la zone D. Bien sûr, comme deux variables interviennent dans l'ajustement, le coefficient K/mois diminue, il passe de 0,32 à 0,21.

7. Par exemple, 2,3 % des femelles échantillonnées en usine sur la côte ouest ont une longueur égale ou supérieure à 43 mm Lc qui est la valeur juste supérieure au plus fort Linf calculé par la méthode de Fabens pour les trois zones de cette côte.

De plus, lorsque l'on représente les couples de Lc marquage-recapture sur un graphique en plaçant la Lc au marquage sur la courbe de croissance calculée, puis en traçant une droite entre ce point et la Lc de recapture représentée par la taille de l'individu et le nombre de jours de liberté (annexe IIa), on s'aperçoit que les « poils de brosse » des plus grands individus se trouvent au-dessus de la courbe de croissance et que c'est l'inverse pour les plus petits. Par conséquent, la courbe de croissance surestime la croissance des plus petits individus et sous-estime celle des plus grands, ce qui plaide pour un coefficient de croissance plus faible et un Linf plus grand. La courbe de croissance « dépondérée » (annexe IIb) montre un bon placement de tous les « poils de brosse » par rapport à la courbe.

On a indiqué que les grands individus recapturés sont sous-représentés par rapport aux distributions observées en usine. Plusieurs hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer cette différence :

– la marque gênerait un peu la croissance, elle serait plus rapide sans elle et les Linf plus grands. Cette hypothèse n'est pas étayée par des expérimentations en bassin, où des crevettes marquées ont montré une croissance au moins égale à celle des crevettes non marquées (Rodellec, 2003 a).

– la marque ne gênerait pas la croissance mais augmenterait la mortalité par prédation : une crevette marquée est plus visible, peut-être plus particulièrement dans un banc comme en forment assez souvent les crevettes de cette espèce, peut-être aussi quand elle s'enfouit si le ruban dépasse un peu du sédiment, ce qui peut attirer la curiosité d'un prédateur. Elle se déplace probablement aussi un peu moins vite lors d'une attaque, avec moins de chance d'en réchapper. Ainsi, il n'y aurait pas ou peu de crevettes marquées qui atteignent de grandes tailles.

On notera enfin qu'il est peu probable que les tailles maximales atteintes par une espèce varient significativement d'une zone à l'autre de la côte ouest de Madagascar, alors que les conditions du milieu y sont dans l'ensemble assez similaires (par rapport à une distribution à une échelle plus large, des différences notables existent quand même entre le nord et le sud de la côte ouest).

Nouvelles équations de croissance et synthèse

Nous proposons donc pour l'utilisation des courbes de croissance en dynamique analytique et modélisation de fixer le Linf des *F. indicus* femelles à 47 mm (valeur obtenue après « dépondération », comme indiqué plus haut). Ceci s'applique à l'ensemble des zones A-B-C de la côte ouest, et aussi à la zone D (côte est) bien que le Linf calculé par la méthode de Fabens y soit un peu supérieur (48,3 mm). La méthode de Fabens est alors appliquée aux données de marquage-recapture en fixant la valeur de Linf. Cela présente aussi l'avantage de pouvoir comparer plus aisément les courbes de croissance par zone. Comme il est difficile d'intégrer dans la modélisation les croissances de saison froide, qui de plus sont statistiquement moins représentatives (faible nombre de recaptures), les croissances estimées pour la saison chaude où s'ef-

fectue l'essentiel des captures de *F. indicus* seront utilisées pour l'ensemble de l'année.

Pour les mâles en zone A, la représentation en « poils de brosse » est assez similaire à celle des femelles, avec une sous-estimation de la croissance des plus grands individus. Une analyse par classe de taille (non pondérée) donne un Linf de 32,1 mm au lieu de 29,7 pour la méthode de Fabens classique. Nous sélectionnons par la suite une valeur de Linf de 33 mm pour les différentes zones de la côte ouest car les individus recapturés de plus de 33 mm sont de 0, 3, et 5 individus pour respectivement 204, 153 et 275 recaptures dans les zones A, B, C, et 1 sur 31 pour l'ensemble de cette zone en saison froide. Pour la côte est nous fixerons un Linf à 35 mm car il y a proportionnellement beaucoup d'individus supérieurs à 33 mm, 6 sur 15 et 6 sur 27 recaptures respectivement pour la saison chaude et la saison froide, mais avec seulement 2 et 1 individus supérieurs à 35 mm. À posteriori, on constate un problème pour la croissance des mâles en zone C, les petits individus mâles ont des longueurs aux âges supérieures à celles des femelles, ce qui n'est pas compatible avec les connaissances admises sur la croissance différentielle des mâles et des femelles. Pour contourner ce problème nous prendrons finalement un Linf de 35 mm pour les mâles de cette zone, ce qui permet d'obtenir pour les petits individus mâles des longueurs aux âges plus compatibles avec celles des femelles.

Les paramètres de croissance finalement obtenus, avec les Linf fixés retenus, sont indiqués dans le tableau 6. Les sommes des carrés des écarts des ajustements quand Linf est fixé sont bien évidemment supérieures à celles correspondantes quand Linf et K sont variables, mais nous avons constaté que les différences étaient faibles et les courbes de croissance avec Linf fixé apparaissent donc compatibles avec les données de marquage-recapture. Les graphiques correspondant aux paramètres de croissance avec les Linf fixés sont présentés sur la figure 22.

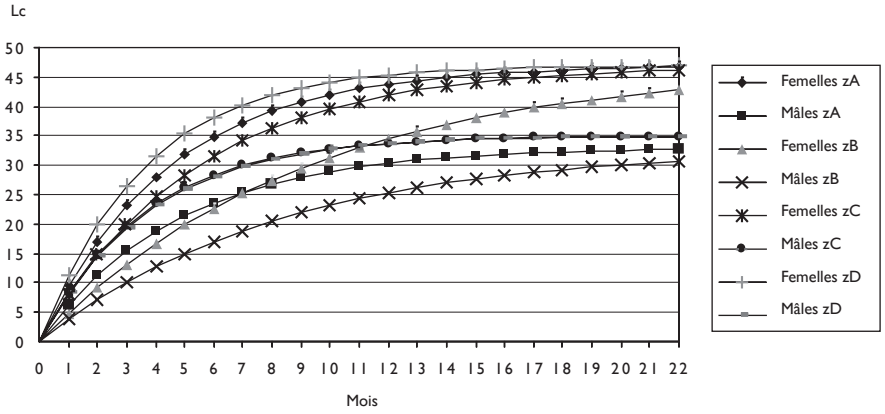


Fig. 22

Courbes de croissance par zone des F. indicus *femelles et mâles en saison chaude, Linf fixé.*

Tableau 6
Paramètres des courbes de croissance par zone et saison des F. indicus *femelles et mâles, avec les valeurs de Linf fixées.*

	Femelles *F. indicus*				Mâles *F. indicus*			
Saison chaude	**zone A**	**zone B**	**zone C**	**zone D**	**zone A**	**zone B**	**zone C**	**zone D**
Linf (mm Lc)	47,0	47,0	47,0	47,0	33,0	33,0	35,0	35, 0
K/mois	0,225	0,110	0,185	0,278	0,209	0,121	0,276	0,271
Saison froide	**Femelles *F. indicus***				**Mâles *F. indicus***			
Linf (mm Lc)		47,0		47,0		33,0		35, 0
K/mois		0,181		0,055		0,194		0,156

Croissance de *Metapenaeus monoceros*

Les marquages de saison chaude n'ont donné que très peu de recaptures, ce qui serait principalement dû au fait que la pêche se concentre sur *F. indicus* en cette saison et qu'il y a donc peu de captures de *M. monoceros*, qui est plus profonde et plus abondante de nuit (les crevettiers pêchent souvent peu de nuit quand *F. indicus* est abondante pour permettre le traitement des captures effectuées de jour).

Étude préliminaire des croissances

Dans un premier temps, nous présenterons les données de base disponibles et calculerons les paramètres de croissance comme cela a été fait précédemment pour l'espèce *F. indicus*. Nous reviendrons par la suite sur les équations de croissance, après quelques considérations sur la représentativité de leurs paramètres, comme cela a aussi été fait pour *F. indicus*. Les recaptures de moins de 8 jours de liberté ne sont pas prises en compte et les observations avec croissances nulles entre le marquage et la recapture sont gardées.

Les données de marquages concernent quatre lieux en saison froide : la baie d'Ambaro en zone A, la baie de Narindra en zone B, la région de Morondava en zone C et la côte est. Pour la baie d'Ambaro on notera que si les recaptures sont en saison froide, les marquages ne le sont pas toujours (quelques-uns en avril-mai). Seules des données pour la côte est sont utilisables pour la saison chaude.

Les caractéristiques par zone de marquage des individus marqués et des recaptures valides sont indiquées au tableau 7, ainsi que les premières estimations des paramètres de croissance. Il est à noter que les effectifs des recaptures sont particulièrement faibles pour les mâles et des estimations vraisemblables des paramètres de croissance n'ont pu être obtenues par la méthode de Fabens pour deux zones en saison froide : la baie de Narindra et la côte est.

Tableau 7
Caractéristiques par zone de marquage et saison des individus de M. monoceros *marqués et recapturés, premières estimations des paramètres de croissance.*

Saison-an Zone	SF 1972 Ambaro	SF 2004 Narindra	SF 2004 Morondava	SC 1999 Côte est	SF 2004 Côte est
Femelles					
Effectif	137	297	50	111	21
Nb croissance à 0	21	87	8	7	11
Lc moy. marquage (mm)	27,6	28,1	29,7	26,9	26,9
LC max.	35,6	37,0	38,5	44,0	39,0
Jours liberté	9-162	10-92	8-59	39-107	9-46
Lc/jour (10^{-2} mm)	6,04	3,46	6,61	5,56	3,43
Indice croissance	6,68	3,90	7,85	5,98	3,69
Linf mm	32,4	38,0	40,4	49,9	48,8
K/jour	0,012	0,004	0,007	0,003	0,001
K/mois	0,361	0,112	0,214	0,083	0,034
Mâles					
Effectif	13	16	26	37	24
Nb croissance à 0	1	9	8	5	13
Lc moy. marquage (mm)	21,4	22,4	23,3	23,0	24,2
LC max.	26,1	29,0	28,0	32,0	31,0
Jours liberté	9-90	21-97	8-76	39-79	9-34
Lc/jour (10^{-2} mm)	5,46	1,94	4,01	3,29	2,52
Indice croissance	5,85	2,17	4,66	3,78	3,04
Linf mm	26,5		29,3	31,8	
K/jour	0,013		0,007	0,004	
K/mois	0,382		0,220	0,123	

On remarque pour la baie d'Ambaro que la longueur maximale observée chez les femelles (35,6 mm) est bien supérieure au Linf estimé par la méthode de Fabens (26,5 mm). Le Reste et Marcille (1976 b) donnent un Linf supérieur (36,1 mm), à partir des mêmes données de base dont ils ont ôté les individus à croissance nulle et des individus à faible nombre de jours de liberté, sans que ce nombre soit précisé, le nombre d'individus femelles retenus étant de 66. Nous avons fait de nouvelles estimations en éliminant les croissances nulles et en retenant les seuls individus ayant plus de 15 jours de liberté ; on a alors 59 individus et un Linf de 32,27 mm qui est très proche de celui que nous avons estimé précédemment. Une sélection d'individus marqués avec plus de 30 jours de liberté comme celle effectuée par Le Reste et Marcille (1976 a) pour *F. indicus* ne nous donnerait plus qu'un nombre insuffisant d'individus (31). Nous ne nous attarderons pas plus ici sur les paramètres estimés de la courbe de croissance car nous y reviendrons par la suite. On notera cependant que pour cette zone les moyennes des croissances journalières de *M. monoceros* ne diminuent pas avec le nombre de jours de liberté, loin de là (tabl. 8), comme il serait normal et comme c'était le cas pour *F. indicus* au-delà de 8 jours de liberté.

Tableau 8
Moyennes des croissances journalières (Cj, en 100e de mm) en fonction des jours de liberté pour les M. monoceros *femelles recapturées en baie d'Ambaro.*

Temps liberté	Cj moyen	n
5-15	3,67	76
16-23	4,67	28
24-49	8,48	27
50 et plus	7,91	9

Nous avons examiné cette question pour les autres campagnes de marquage : les résultats sont meilleurs mais loin d'être satisfaisants. Pour l'espèce *M. monoceros* il est possible que le stress dû au marquage perdure plus longtemps que pour *F. indicus*, les variations observées des croissances journalières moyennes en fonction du nombre de jours de liberté pouvant cependant être dues à d'autres facteurs.

Comparaison des croissances journalières moyennes et des indices de croissance par zone et saison

Comme pour *F. indicus*, les croissances journalières moyennes et les indices de croissance de *M. monoceros* sont faibles en zone B (Narindra) par rapport aux deux autres zones (A, baie d'Ambaro et C, Morondava) de la côte ouest (tabl. 7 et fig. 23). Les croissances journalières moyennes en saison froide sur la côte est sont plutôt de l'ordre de celles de la zone B que de celles des zones A et C de la côte ouest.

Pour une seule zone, la côte est, nous avons des données de saison chaude et de saison froide ; la croissance y apparaît plus rapide en saison chaude, comme pour *F. indicus*.

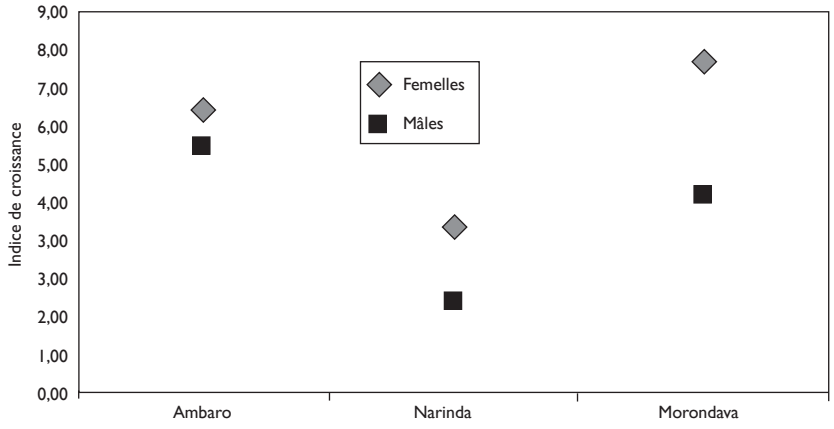


Fig. 23
Indices de croissance de M. monoceros *par zone de la côte ouest en saison froide.*

Tableau 9
Valeurs de Linf estimées par la méthode de Fabens (femelles et mâles de M. monoceros *par zone de la côte ouest en saison froide et pour les deux saisons sur la côte est) et de manière empirique à partir des plus grands individus observés dans la pêcherie.*

	Femelles *M. monoceros*					**Mâles *M. monoceros***		
	zone A	zone B	zone C	Est SC	Est SF	zone A	zone C	Est SC
Taille max. recapture	35,6	37,0	38,5	44,0	39,0	26,1	28,0	32,0
Méthode de Fabens Linf (mm Lc)	32,4	38,0	40,4	49,9	48,8	26,5	29,3	31,8
Méthode empirique								
Moy. 20 plus grands			45,2				41,6	
95 % longueur max.			43,7				41,8	

Considérations sur Linf

On remarquera (comme pour *F. indicus*) que les valeurs de Linf sont faibles (tabl. 9) par rapport aux valeurs empiriques issues des échantillons d'usines 1998-2000 pour la côte ouest (grands échantillons de 48 714 femelles et 22 247 mâles). On notera aussi, de manière similaire à *F. indicus*, que les Linf sont d'autant plus élevés que la taille du plus grand individu recapturé est élevée (tabl. 9).

La méthode classique de Fabens paraît donc susceptible de biaiser les estimations de Linf quand des tailles de recaptures élevées n'ont pas été enregistrées. Pour les mêmes raisons que celles évoquées plus haut à propos de *F. indicus,* il nous paraît préférable d'utiliser la méthode de Fabens avec des valeurs de Linf fixées, particulièrement dans l'usage des équations de croissance en dynamique analytique, ce que nous allons réaliser ci-dessous.

Nouvelles estimations des équations de croissance

Nous choisirons un peu empiriquement 43 mm Lc comme valeur de Linf pour les *M. monoceros* femelles de toutes les zones. Pour la côte ouest les équations de croissance résultantes concernent la saison froide, elles seront cependant appliquées sur l'ensemble de l'année en dynamique analytique car la période de fermeture annuelle concerne une bonne partie de la saison chaude et la pêche des premiers mois suivant l'ouverture se concentre sur *F. indicus*. Pour les femelles de la côte est nous regrouperons les données de capture-recapture de saison froide et chaude (cela sera aussi fait pour les mâles) car la pêche est moins concentrée sur *F. indicus* en saison chaude.

Pour les mâles nous retiendrons une valeur de Linf de 35 mm, compromis entre les Linf précédemment estimés par la méthode classique de Fabens et les valeurs provenant de la méthode empirique. C'est également la valeur retenue pour *F. indicus* en zone C (saison chaude) et D, en regroupant toutes les zones pour la côte ouest car les effectifs de capture-recapture par zone sont faibles.

Tableau 10

Paramètres des courbes de croissance par zone et saison des M. monoceros *femelles et mâles, avec les valeurs de Linf estimées ou fixées. S.C.E. (Somme des carrés des écarts).*

	Femelles *M. monoceros*				**Mâles *M. monoceros***	
	zone A	**zone B**	**zone C**	**zone D**	**Côte ouest**	**zone D**
Saison	SF	SF	SF	SC et SF	SF	SC et SF
Méthode de Fabens						
S.C.E.	123	277	47	272	55	40
Linf (mm Lc)	(32,38)	38,0	40,4	50,2	29,8	32,1
K/mois	(0,361)	0,112	0,214	0,081	0,175	0,122
Linf fixé						
S.C.E.	181	280	48	280	57	41
Linf (mm Lc)	43,0	43,0	43,0	43,0	35	35,0
K/mois	0,131	0.074	0,169	0,118	0,099	0,091

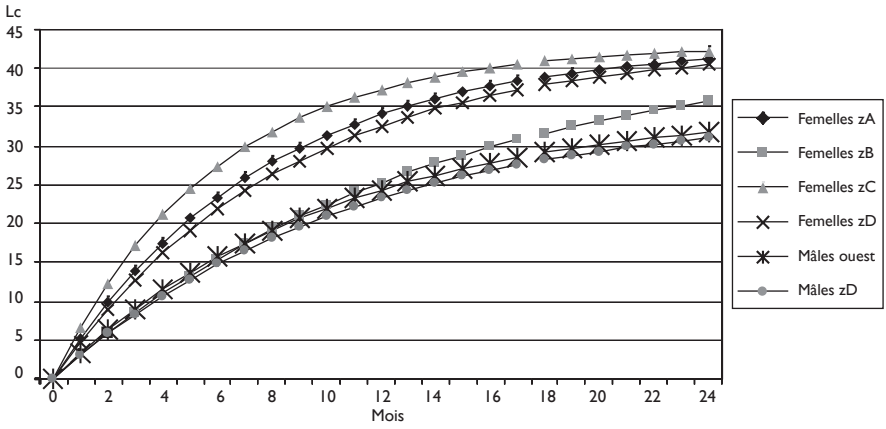


Fig. 24

Courbes de croissance par zone des M. monoceros *femelles et mâles avec les Linf fixés, en saison froide pour les zones A-B-C, en saison chaude et froide pour la zone D.*

Les paramètres des courbes de croissance par zone et saison, avec les valeurs de Linf estimées ou fixées, sont donnés au tableau 10, avec les sommes des carrés des écarts (S.C.E.) issues de la recherche des meilleures estimations. Leur comparaison est intéressante dans le cas de Linf estimé et fixé car on voit, comme en zone B où les valeurs de Linf et K sont très différentes selon les deux méthodes, que les différences entre les S.C.E. sont particulièrement faibles[8]. Par conséquent, le fait d'imposer des Linf différents de ceux estimés par la méthode classique conduit à des estimations des coefficients de croissance K pratiquement aussi bons du point de vue de l'ajustement statistique.

8. La différence est plus importante pour la baie d'Ambaro (zone A) où les problèmes rencontrés ont été discutés précédemment.

Cela se retrouve dans les représentations graphiques en « balai brosse » des croissances des individus marqués et recapturés (non figurées ici) qui montrent généralement[9] une très bonne répartition des trajectoires des croissances individuelles autour de la courbe de croissance retenue.

Les courbes de croissance avec les Linf fixés sont représentées sur la figure 24. Les courbes de croissance pour les femelles des zones A, B et D sont assez proches, celle pour la zone B montre une croissance plus lente (comme pour *F. indicus*), à taille égale les crevettes sont nettement plus âgées que dans les autres zones.

Croissance de *Penaeus semisulcatus*

Il s'agit d'une étude préliminaire à partir de marquages de saison froide (saison 2004) réalisés en deux lieux de la côte ouest : la baie de Narindra (zone B) et au large de Morondava (zone C).

On notera que seules deux femelles valides ont été recapturées sur les 301 individus marqués en janvier 2004 (saison chaude) à Narindra (la pêche se concentre sur l'espèce principale *F. indicus*), avec 90 et 100 jours de liberté (marquées à 28 et 30 mm) et une croissance moyenne de 7,37 10^{-2} mm/jour.

Comme pour *Penaeus indicus*, la zone B montre des croissances journalières moyennes plus faibles que la zone C (tabl. 11). Les indices de croissance, tenant compte de la taille moyenne de marquage, calculés comme pour *Penaeus indicus*, vont dans le même sens, quoique les différences soient moins importantes que pour *Penaeus indicus*.

Tableau 11
Caractéristiques par zone de marquage et sexe des individus de P. semisulcatus *marqués et recapturés en saison froide.*

P. semisulcatus	**Femelles**		**Mâles**	
Zone	Narindra	Morondava	Narindra	Morondava
Effectif	140	47	123	27
Nb croissance à 0	23	3	28	5
Lc moy. marquage (mm)	32,1	33,0	26,7	27,2
Lc max.	42,0	42,0	39,5	33,0
Jours liberté	15-97	9-62	11-80	9-59
Lc/jour (10^{-2} mm)	7,22	8,62	4,69	5,09
Indice croissance	9,27	11,36	6,25	6,93
Linf mm	44,7	44,9	34,2	37,9
K/jour	0,006	0,009	0,007	0,005
K/mois	0,191	0,261	0,208	0,152

9. La répartition des trajectoires individuelles est considérée satisfaisante pour les femelles de la zone A, malgré une différence assez importante entre la S.C.E. des deux estimations.

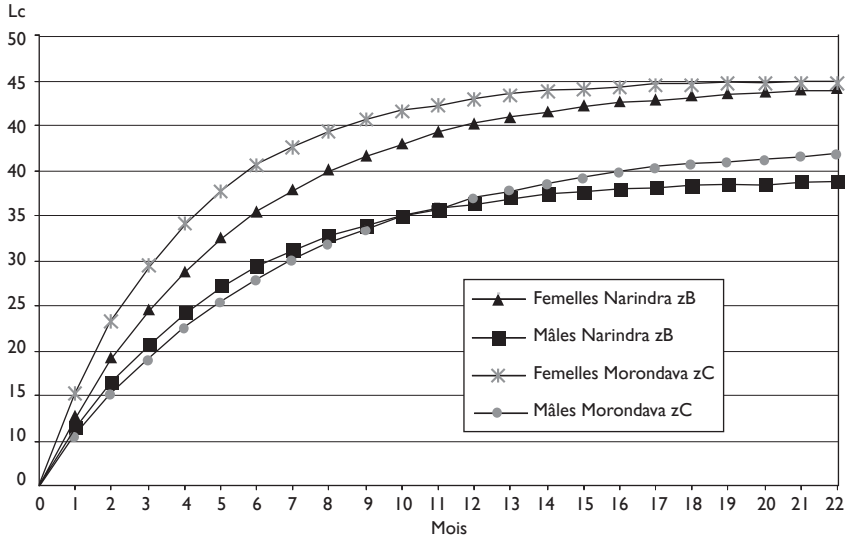


Fig. 25
Courbes de croissance par zone des P. semisulcatus *femelles et mâles en saison froide pour les zones B et C.*

Les courbes de croissance pour les deux zones sont présentées à la figure 25.

Conclusion

L'étude des croissances à partir de données de marquage-recapture montre, pour les trois espèces étudiées, qu'il existe des différences entre les zones, avec des croissances qui sont particulièrement faibles pour les deux principales espèces en zone B, par rapport aux deux zones adjacentes de la côte ouest. La faiblesse relative des taux de croissance obtenus en zone B se retrouve lors des différentes années où il y a eu des campagnes de marquages dans cette zone, soit en 1972, en 1979 et en 2004 : il ne peut donc s'agir d'un phénomène dû à des conditions particulières une année donnée. En outre, une analyse basée sur les sex ratios par classe de taille, indirectement liés à la croissance, semble bien confirmer que la croissance des *F. indicus* en zone B est plus faible qu'en zone A. La zone B comprend la baie de Narindra, cette baie et ses abords montrent de grandes abondances de crevettes, en particulier de *F. indicus*. Les conditions hydrologiques y paraissent au premier abord proches de celles de la zone A et nous ne pouvons pas pour le moment expliciter les faibles croissances estimées pour cette baie. Ces faibles croissances en zone B sont peut-être en rapport avec la diminution des rendements récemment observée, car elles augmentent le risque de surexploitation par rapport à des zones où les croissances sont plus rapides.

Des croissances plus lentes en saison froide ont été mises en évidence quand les données permettent une comparaison pour les deux principales espèces, particulièrement pour *F. indicus* et *M. monoceros* de la côte est.

Il a été indiqué que la méthode de Fabens classique, qui estime par les moindres carrés les paramètres K et Linf de l'équation de croissance de Von Bertalanffy, appliquée aux données de marquage-recapture donne souvent une estimation du paramètre Linf inférieure aux tailles des plus grands individus observés dans la pêcherie, et cela d'autant plus que les tailles maximales des individus recapturés sont faibles. C'est un biais quasi systématique et nous avons listé plusieurs raisons qui pourraient expliquer une proportion anormalement basse de recaptures de crevettes de grande taille. Il a donc été estimé pour les deux principales espèces des équations de croissance à partir de valeurs de Linf fixées, valeurs définies à partir des tailles des plus grands individus observés et à partir de certaines des valeurs de Linf obtenues par la méthode classique. On choisit une même valeur de Linf par sexe pour les différentes zones de la côte ouest, car il est peu probable que les tailles maximales atteintes par une espèce varient significativement d'une zone à l'autre de la côte ouest de Madagascar, alors que les conditions du milieu y seraient dans l'ensemble assez similaires.

Il faut aussi considérer que la croissance des crevettes peut être très variable d'un individu à un autre, plus sans doute que dans le cas des populations de poissons pour lesquelles des équations de croissance de type Von Bertalanffy sont classiquement utilisées, comme cela a été observé pour le poulpe commun de l'Atlantique centre-est (Domain *et al.,* 2000). Il ne faut donc accorder qu'une relative confiance aux équations de croissance obtenues. En dynamique analytique, il serait préférable d'estimer l'état d'exploitation des stocks en utilisant des paramètres variables des équations de croissance pour tester la sensibilité des résultats à ces variations.

Annexe Ia

Nombres d'individus marqués et recapturés par espèce lors des campagnes de marquage de 1999. SC = saison chaude, SF = saison froide.

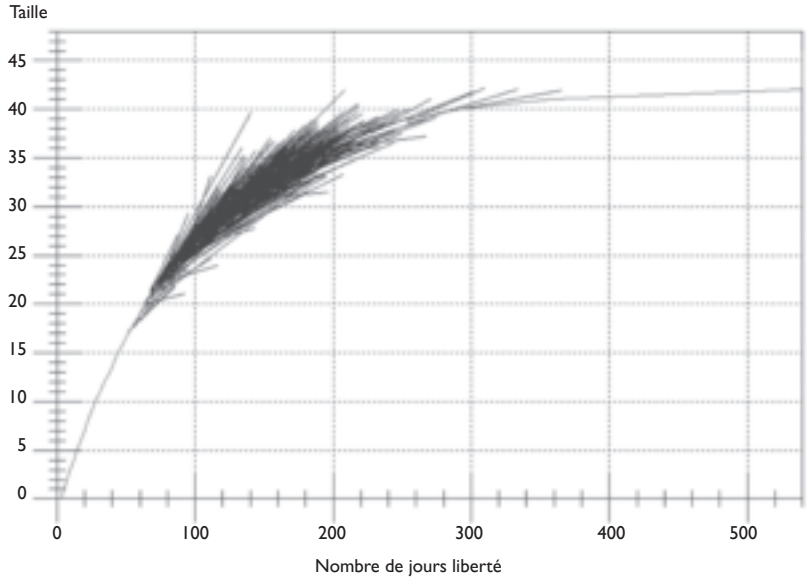
Dates et lieux	Saison	*F. indicus*		*M. monoceros*		*P. semisulcatus*		*P. japonicus*		*P. monodon*	
		♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
09-13/01/1999	**SC**										
Côte est	Marquées	364		4071		473		40		1	
	Recapturées	16	44	38	111	17	16				
22-27/01/1999	**SC**										
Mahajamba à	Marquées	2426		2072		1342		71		19	
Cap St-André	Recapturées	252	336	6	41	7	14			6	
04-07/02/1999	**SC**										
Sud du Cap	Marquées	2705		911						126	
St-André	Recapturées	107	284	12	32					3	5
11-15/08/1999	**SF**										
Baie Narindra	Marquées	36		1971		1382		3		2	
à baie Ambaro	Recapturées	2		2	3	23	29				
Totaux marqués		**5531**		**9025**		**3197**		**114**		**148**	
		18015									

Annexe Ib

Nombres d'individus marqués et recapturés par espèce lors des campagnes de marquage de 2004. SC = saison chaude, SF = saison froide.

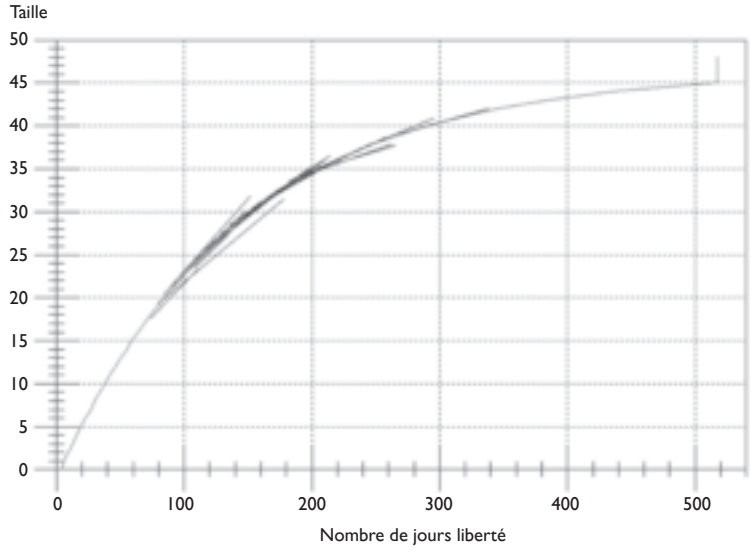
Lieux	Date	Saison	*F. indicus*		*M. monoceros*		*P. semisulcatus*		*P. japonicus*	
			♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Côte est	**13-15/01/2004**	**SC**								
Marquées			36	20	1356	1538				
Recapturées			4	1	1	2				
Côte est	**16-17/07/2004**	**SF**								
Marquées			451	176	395	423				
Recapturées			31	52	25	22				
Morondava	**18-20/02/2004**	**SC**								
Marquées			1384	1588	47	92				
Recapturées			125	195	1	0				
Morondava	**07-10/07/2004**	**SF**								
Marquées			162	147	561	760	307	406	15	23
Recapturées			10	19	34	61	43	49	1	2
Narindra	**27-30/01/2004**	**SC**								
Marquées			257	266	19	83	113	188		
Recapturées			52	60	1	1	0	2		
Narindra	**24-26/06/2004**	**SF**								
Marquées			47	55	151	2036	467	493	1	2
Recapturées			8	11	16	303	124	144		
Totaux marqués			**2337**	**2252**	**2529**	**4932**	**887**	**1087**	**16**	**25**
			14065							

Annexe 2a



Représentation des croissances individuelles (en balai brosse) des femelles de F. indicus *en zone A (baie d'Ambaro).*

Annexe 2b



Représentation des croissances moyennes pour 20 classes de taille des femelles de F. indicus *en zone A (baie d'Ambaro).*

Relations entre la pêche crevettière et les facteurs environnementaux

Pierre Voisin,
Yann Sandon

© A. de Rodellec/PNRC

Introduction

L'étude des relations pêche-environnement s'inscrit dans le cadre général de la gestion rationnelle de la pêcherie. Alors que différentes mesures ont été prises récemment par les gestionnaires de la ressource, ou sont susceptibles de l'être à l'avenir, mieux comprendre l'implication des aléas environnementaux dans les variations interannuelles d'abondance apparaît essentiel afin de pouvoir évaluer la réelle efficacité des nouvelles modalités d'exploitation, ou définir de nouveaux plans de gestion.

Nombre de travaux ont permis de mettre en évidence à travers le monde l'influence de l'environnement sur l'abondance des crevettes pénéides (Lhomme, 2001, pour une revue mondiale). L'observation des données historiques de certaines pêcheries à ressource annuelle permet de constater des anomalies (années particulièrement bonnes ou mauvaises) au niveau de la prise réalisée chaque année, sans que l'effort de pêche appliqué au stock ait varié de manière marquée. C'est le cas à Madagascar où les débarquements toutes espèces confondues connaissent d'importantes fluctuations à chaque campagne dans la plupart des zones de pêche (l'effort varie localement mais s'adapte à l'abondance en première approximation). La cause en est la brièveté du cycle vital, de l'ordre de l'année, les captures dépendant essentiellement d'une seule période de recrutement (Garcia et Le Reste, 1981). Les conditions du milieu deviennent alors déterminantes puisque, dans les premiers temps du cycle, les crevettes effectuent des migrations d'un biotope à un autre dans lesquels elles rencontrent des conditions plus ou moins dommageables.

Au-delà d'un certain seuil de débit fluvial, un phénomène d'« effet chasse » peut exister qui transporte vers le large les juvéniles qui formeront le recrutement de la pêche industrielle. De forts débits peuvent aussi réduire les chances de réussite pour les postlarves de pénétrer dans les estuaires et les mangroves pour y croître. Les débits des fleuves et les précipitations qui les alimentent constituent ainsi des variables environnementales susceptibles de pouvoir expliquer les variations des prises effectuées par la pêcherie.

En outre, en termes de productivité locale, le rôle de la mangrove en tant que nourricerie de nombreuses espèces de poissons et crustacés a largement été mis en évidence (MACNAE, 1974 ; ROBERTSON et DUKE, 1987 ; BLASCO, 1991 ; KAIRO *et al.,* 2001). Après l'éclosion des œufs pondus en mer, les larves de pénéides y pénètrent pour y trouver des conditions favorables à leur croissance. L'étendue offerte localement par le marais maritime a pu être reliée linéairement à la quantité de captures atteinte dans la zone de pêche attenante dans différents pays, comme en Indonésie (MARTOSUBROTO et NAAMIN, 1977). DOMALAIN *et al.* (2000 a) analysent l'adéquation de cette causalité à Madagascar et parviennent à mettre en relation la production totale des trois segments industriel, artisanal et traditionnel dans dix régions, avec la surface des mangroves. Certaines régions cependant se détachent assez largement de ce schéma, constat que les auteurs interprètent par un fonctionnement hydrologique particulier.

Le présent travail a donc pour but d'essayer d'établir une quantification de l'influence de ces deux composantes environnementales, apports d'eau douce et surfaces des mangroves, dans la variabilité temporelle et spatiale de l'abondance en crevettes dont dépendent les rendements et les captures.

Matériel et méthode

Données disponibles

Apports d'eau douce

Pour évaluer les apports d'eau douce jusqu'à des périodes récentes nous ne disposons que de données mensuelles de pluviométrie au niveau de dix stations (Nosy Bé, Analalava, Majunga, Maintirano, Besalampy, Morombe pour la côte ouest ; Mahanoro, Sainte-Marie, Tamatave et Antalaha pour la côte est).

Mangroves

L'étude se rapporte exclusivement à la façade ouest, car la mangrove est peu développée sur la côte orientale (LEBIGRE, 1990). La localisation des mangroves et le calcul de leur surface ont été effectués sous Mapinfo 6.0® en

s'appuyant sur une base de données géographique (la BD500) construite par la FTM[10] à partir d'images satellitales Landsat acquises en 1997.

Données de pêche

Concernant l'exploitation de la ressource crevettière, les données que nous employons sont issues essentiellement de la base Banacrem[11] qui rassemble les résultats de la pêche motorisée par carré statistique de 20 milles de côté pour la période 1995-2003 : pêche des crevettiers industriels et pêche artisanale de petites embarcations n'excèdent pas en principe plus de 50 ch de puissance motrice. Banacrem permet d'accéder à la production pondérale et aux rendements journaliers par bateau, mais seules les captures de la principale espèce de crevette *Fenneropenaeus indicus* y sont individualisées d'un ensemble toutes crevettes ; *F. indicus* est donc la seule espèce pour laquelle il est possible de réaliser une analyse spécifique. La pêche traditionnelle non motorisée est, elle, appréciée à partir de recensements et d'enquêtes réalisés dans les villages côtiers.

Les données de captures, combinées aux structures démographiques des populations issues du traitement en usine ou/et des échantillonnages au débarquement de la pêche traditionnelle, permettent la mise en œuvre d'analyses de cohortes par zone (Caverivière et Razafindrakoto, chapitre 8), dont peuvent être extraites des valeurs mensuelles de recrutement.

Méthode

Apports d'eau douce

Le recrutement de *F. indicus* et *M. monoceros* (ces deux espèces représentant environ 80 % de la capture annuelle) dans les zones de pêche, vers l'âge de 3 mois, intervient principalement entre novembre et avril-mai (Rafalimanana, 2003). La période de décembre à mars est qualifiée de période critique pour la pêcherie car elle est essentielle à la survie des futures recrues qui donneront l'essentiel des prises. C'est donc cette période que nous retiendrons pour étudier si les apports d'eau douce à cette époque de l'année expliquent la variabilité du recrutement et les résultats de pêche de la campagne qui débute fin février. Les données de pluviométrie sont agrégées dans le temps sur deux séries de mois (décembre à mars et janvier à mars) couvrant la période critique de manière à représenter le degré d'apport.

Mangroves

Pour l'étude de l'influence des mangroves, nous avons discrétisé le littoral malgache occidental en mettant en regard les positions des navires en pêche (vitesse de 2 à 3 nœuds) et en définissant les zones de pêches principales, avec les grandes mangroves identifiées, 18 au total. Chaque mangrove est associée

10. Foiben-Taontsaritanin'i Madagasikara, Institut national de géodésie et cartographie de Madagascar.
11. Base nationale crevettière malgache.

à un des types défini par LEBIGRE (1990), qui caractérise leur géomorphologie, ainsi que d'une certaine manière leur fonctionnement hydrologique. Cinq types de mangroves sont distingués : les mangroves de delta, de fond de baie, d'estuaire, ainsi que les mangroves lagunaires et les mangroves littorales. Pour les mangroves retenues, les prises annuelles en *F. indicus* et toutes espèces confondues dans les carrés statistiques Banacrem qui leur correspondent ont été sommées. Les productions annuelles moyennes sur la période 1995 à 2002 sont ensuite calculées, dans le but de gommer les variations interannuelles imputables aux facteurs de l'environnement et aux modifications de l'effort alloué par année et zone de pêche. Pour la zone de mangroves de Morombe à l'estuaire du Mangoky, qui montre une variation importante des captures, seules les prises plus abondantes de la période 2000-2002 ont été retenues. En effet, la zone de pêche était peu exploitée jusqu'en 1999 du fait de son éloignement du port de débarquement, l'installation d'une société de pêche dans un port plus proche a par la suite permis une exploitation plus intensive, considérée plus à l'image du potentiel productif de la zone. L'hypothèse est faite que les stocks sont exploités avec un même niveau d'intensité par rapport à l'abondance dans toutes les zones de pêche rattachées aux mangroves considérées. La pêche traditionnelle est aussi prise en compte pour les mangroves où elle est importante, soit les baies d'Ambaro et de Narindra, à partir de recensements et d'enquêtes réalisés en 2001-2002 pour la première et 2001-2003 pour la seconde.

Production et abondance

L'abondance d'une espèce ou d'un groupe d'espèces dans une zone est généralement estimée à partir des rendements obtenus par les engins de pêche commerciaux ou scientifiques (campagne d'évaluation). Les rendements dépendent des efforts de pêche alloués et ils sont difficiles à estimer quand il n'y a pas eu de standardisation de ces derniers. La prise en une heure de pêche d'un navire tirant un grand chalut n'est pas la même que celle d'un navire qui en tire un petit du fait d'une puissance de pêche distincte. Sans standardisation de l'effort de pêche, la comparaison de l'abondance entre années et zones sera alors malaisée. Dans certains cas cependant, et c'est celui de la pêche crevettière malgache, on peut considérer que les productions obtenues sont des indices de l'abondance. En effet, les crevettes côtières de Madagascar ont une durée de vie brève, les âges de la phase exploitée ne sont que de quelques mois et l'essentiel de la production est réalisée aussi en quelques mois (Caverivière et Razafindrakoto, chapitre 8). Ainsi, dans toutes les zones, les captures en mer les plus importantes ont lieu en début de saison de pêche, elles diminuent ensuite rapidement avec l'avancement de la saison et deviennent si faibles vers la fin que la plupart des crevettiers arrêtent de pêcher avant la date officielle de fermeture, la valeur des prises ne compensant pas à cette période le coût de leur obtention. La prise annuelle dans une zone peut alors souvent être considérée comme représentative de l'abondance.

Vente et pesée de la prise au retour de la pêche.
© C. Chaboud/IRD

Traitement des crevettes de pêche industrielle dans une usine de Mahajanga.
© C. Chaboud/IRD

Résultats

Apports d'eau douce

Pluviométrie et recrutement en zone A

On a utilisé l'ensemble des recrutements mâles et femelles des mois de janvier à avril issus des études de dynamique analytique réalisées sur *F. indicus* de la zone d'aménagement A (nord de la côte ouest de Madagascar), la pêche industrielle et traditionnelle étant essentiellement faite en baie d'Ambaro (Caverivière et Razafindrakoto, chapitre 8). Les mois de janvier à avril couvrent la majeure partie du recrutement annuel de l'espèce, il s'agit des individus de la classe d'âge 2 (âge compris entre 2 et 3 mois). La période s'étend de 1998 à 2004. Il est alors étudié s'il existe une relation entre le recrutement et un indice cyclonique qui cumule les précipitations constatées sur l'île de Nosy Bé (proche de la baie d'Ambaro) entre le début du mois de janvier et la fin du mois de mars des mêmes années. L'indice est dit cyclonique car il couvre la période pendant laquelle les cyclones surviennent très généralement. Ces fortes tempêtes tropicales sont un élément important de la variabilité de la pluviométrie d'une année sur l'autre et provoquent de violentes crues des fleuves qui chassent les eaux côtières vers le large et amènent des éléments nutritifs pour le premier maillon de la chaîne alimentaire.

La situation des points annuels représentant l'ensemble des individus recrutés entre janvier et avril en regard de la somme des précipitations des mêmes années recueillies entre janvier et mars est présentée sur la figure 26. Une relation liant recrutement et pluviométrie ne peut être mise en évidence avec les données des sept années disponibles, bien que les indices cycloniques aient été très variables, présentant des pluviométries de moins de 600 à plus de 1 400 mm de cumul.

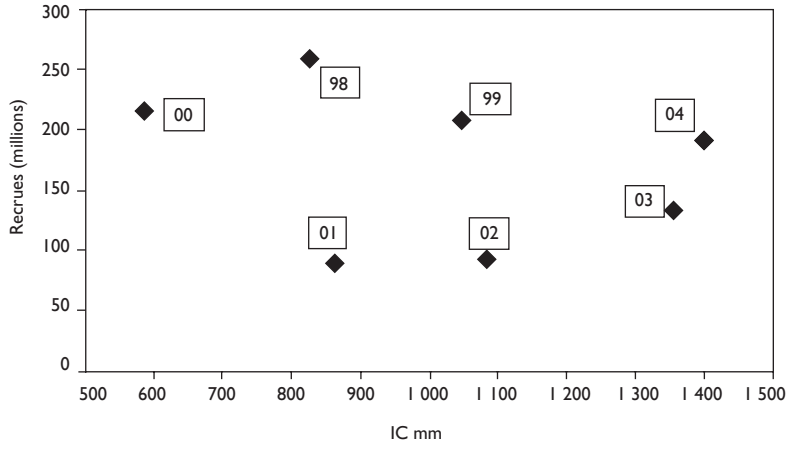


Fig. 26

Nombres de recrues entre janvier et avril dans la zone A et cumul des pluies (indice cyclonique : IC) relevées entre janvier et mars à Nosy Bé. Période 1998-2004.

Des estimations du recrutement ne sont pas disponibles sur une assez longue période pour faire le même type d'analyse pour d'autres zones.

Pluviométrie et production de crevettes en zone A et D

Seules les zones d'aménagement A et D, présentant des données suffisamment homogènes entre 1995 et 2004, ont été étudiées.

Zone A

Aucune relation entre indice cyclonique et prises annuelles de l'espèce principale *F. indicus* ou de l'ensemble des crevettes côtières n'a pu être établie, soit en mer (pêche industrielle) où une augmentation de l'abondance pourrait exister par sortie des jeunes adultes des estuaires (effets de la crue des fleuves ou/et de la baisse de salinité des eaux), soit pour l'ensemble mer-estuaires (pêche industrielle et pêche traditionnelle). Cela était prévisible puisque l'utilisation des recrutements de l'espèce principale, plus adaptée que celle des captures annuelles, n'avait pas permis de déceler une relation avec la pluviométrie de saison humide.

Zone D

Pour la zone D (côte est), où la pêche crevettière s'effectue principalement en baie d'Antongil et sur la côte faisant face à l'île Sainte-Marie, un indice cyclonique a été calculé à partir des pluviométries relevées sur cette île et au port de Toamasina plus au sud. L'indice est la moyenne des cumuls des pluies de janvier à mars dans les deux lieux. Une bonne relation ($R^2 = 0{,}85$, $p < 0{,}01$) en forme de courbe polynomiale d'ordre 2 apparaît exister entre indices cycloniques et prises annuelles toutes crevettes (fig. 27). La relation est moins bonne ($R^2 = 0{,}70$) avec la seule espèce *F. indicus*, qui est moins dominante dans cette zone (avec souvent moins de la moitié des prises toutes crevettes) que sur la côte ouest. La prise en compte de l'ensemble des espèces de crevettes est plus représentative car elle permet de s'affranchir des variations annuelles dans la composition des captures dues à des modifications des stratégies de recherche ou autres.

Le type de courbe obtenu fait tout de suite penser à la fenêtre environnementale optimale décrite et commentée par Cury et Roy (1989) et reprise par la suite par Roy *et al.* (1992) parmi d'autres auteurs. L'hypothèse d'origine de la fenêtre environnementale optimale assume que la relation entre le recrutement des espèces de petits pélagiques côtiers et les remontées d'eaux froides (upwellings) riches en sels nutritifs à l'origine de la chaîne alimentaire est en forme de dôme. La non-linéarité de la relation est expliquée en considérant les effets positifs ou négatifs de plusieurs facteurs environnementaux. Schématiquement, quand l'upwelling est trop faible la production de nourriture est insuffisante à une bonne survie larvaire, quand il est trop fort beaucoup de larves sont transportées en dehors du plateau continental. Les apports d'eaux douces pourraient avoir des influences similaires, directes ou indirectes (par leurs relations possibles avec d'autres facteurs environnementaux), sur la survie des larves et/ou postlarves des crevettes côtières de la zone étudiée.

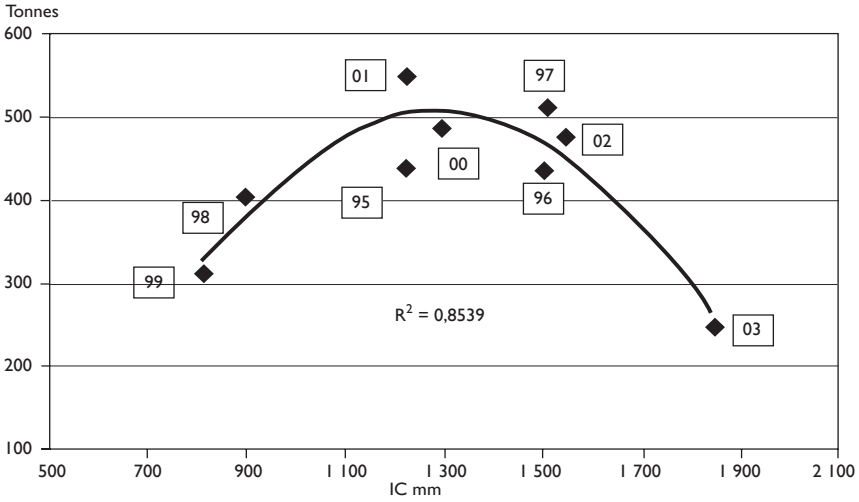


Fig. 27
Cumul (moyenne des stations de Sainte-Marie et Toamasina) des pluviométries de janvier à mars (indice cyclonique : IC) et captures annuelles de crevettes côtières sur la côte est, années 1995-2003.

Notons que si l'indice cyclonique moyen des deux stations pour l'année 2003 est particulièrement élevé avec une valeur de 1,85 m au lieu de 1,55 m pour le second plus haut indice cyclonique, la différence en ce qui concerne la seule station de l'île Sainte-Marie, la plus proche des principaux lieux de pêche, est encore plus importante : 2,02 m au lieu de 1,57 m. Et si l'on tient compte du mois de décembre pour le calcul de l'indice cyclonique, mois particulièrement pluvieux à Sainte-Marie en 2002, le cumul est de 2,64 m, contre 1,80 m pour la seconde plus haute valeur de la même période ; la différence est considérable. L'exceptionnelle pluviométrie enregistrée sur la majorité de l'aire de pêche pendant la saison des pluies 2002-2003 pourrait donc être à l'origine des faibles rendements et captures observés en début de saison de pêche 2003 sur la côte est.

Mangroves

Avec notre découpage du littoral, les régressions des productions moyennes en *F. indicus* et toutes espèces de crevettes confondues par rapport à la surface des mangroves et leur type ne permettent pas de mettre en évidence des relations nettes.

Pour faire intervenir d'une autre manière la morphologie des mangroves, notamment en ce qui concerne sans doute leur accessibilité pour les larves, nous avons évalué pour chacune d'entre elles la distance, notée *d*, du trait de côte jusqu'à leur centroïde approximatif (tabl. 12). En outre, quatre mangroves allant du Manambolo à Belo sur Mer, que l'on avait considérées séparément auparavant puisque n'étant pas du même type, ont finalement été rassemblées car la zone de pêche est quasiment sans discontinuité et les crevettes sont relativement mobiles dans la région (Rafalimanana, chapitre 2).

Tableau 12
Surfaces en hectares des mangroves (du nord vers le sud de la côte ouest), distances à la mer en km, prises moyennes de crevettes (tonnes) dans les zones correspondantes et étendues de productivité théorique en crevettes (EPT) des mangroves.

Zone de pêche	Surface en ha	Distance (km)	Prises *F. indicus*	Prises toutes crevettes (t)	EPT
Baie d'Ambaro	36 570	0,5	1 530	1 730	36 570
Baie d'Ampasindava	5 324	0,5	100	110	5 324
Baie de Narindra	25 980	40	1 150	1 250	4 110
Mahajamba	49 608	32	68	132	8 770
Mahamavo	5 456	2	25	55	3 860
Betsiboka	20 403	21	39	79	4 450
Mahavavy du Sud	18 016	5	37	64	8 060
Baie de Baly	9 965	8	150	270	3 520
Baie d'Antalihy	14 734	0,5	250	380	14 734
Cap Saint-André	5 278	0,5	270	380	5 278
Sambao	5 842	0,5	140	210	5 842
Besalampy	21 630	0,5	550	800	21 630
Maintirano	10 723	0,5	210	290	10 723
Manambolo à Belo sur Mer	45 886	0,5	1 420	1 840	45 886
Morombe-Mangoky	12 299	0,5	160	260	12 299

Le centroïde de 9 des mangroves est situé très près de la mer ouverte et ces mangroves ont été regroupées sous le terme de mangroves côtières. Une relation entre la surface de ces mangroves et les captures en crevettes réalisées dans leurs zones a été recherchée. Une relation linéaire très hautement significative ($R^2 = 0{,}934$, $p < 0{,}001$) a été obtenue (fig. 28), elle est un peu moins bonne si l'on ne considère que l'espèce principale *F. indicus*. Les relations permettent de calculer une production moyenne annuelle de 33,2 kg par hectare de crevettes toutes espèces et de 23,5 kg pour l'espèce principale *F. indicus*. Il n'y a pas de relation significative quand toutes les mangroves (15 au total) sont prises en compte.

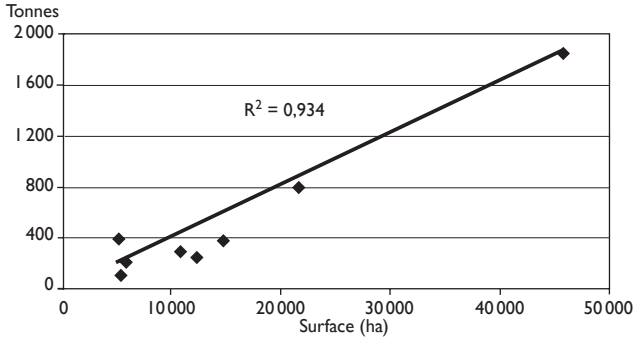


Fig. 28
Relation entre la surface des mangroves côtières et la capture toutes espèces de crevettes réalisée dans leur zone.

On peut supposer que plus le centroïde d'une mangrove est éloigné de la mer ouverte, moins sa productivité en crevettes sera importante, du fait de la difficulté pour les larves en provenance de la mer ouverte de pénétrer loin à l'intérieur des terres ou pour toute autre raison. Cette baisse ne doit pas être directement proportionnelle à la distance *d*, l'effet d'un éloignement de la mer ouverte de 2 km (par exemple) ne doit pas être le même que si l'on passe d'une distance de 30 à 32 km. On a choisi la racine carrée de la distance *d*, que l'on peut qualifier d'éloignement des mangroves, pour pondérer la surface S des mangroves quand la distance *d* est supérieure à 0,5 km. Le résultat est appelé étendue de productivité théorique (EPT) de la mangrove et les valeurs sont aussi indiquées sur le tableau 12. La mise en relation des EPT des mangroves et des captures en crevettes effectuées dans leurs zones a ensuite été réalisée. La figure 29A montre qu'une bonne relation apparente relie 14 des 15 mangroves, la baie de Narindra étant une très nette exception. Une observation cartographique détaillée révèle cependant que la baie de Narindra a une ouverture sur la mer beaucoup plus large que toutes les autres grandes baies à mangrove, comme celles de la Mahajamba et de la Bombetoka (fleuve Betsiboka), les profondeurs y sont aussi plus grandes, la sonde des 15 mètres pénétrant profondément dans la baie ; les zones de mangrove importantes sont plutôt vers la sortie de la baie. De plus, on notera que c'est la seule baie où la pêche des crevettiers industriels est abondante. Ces observations peuvent permettre de penser que la plupart des mangroves de la baie de Narindra seraient assimilables à des mangroves côtières. Si cette hypothèse est bonne, alors la baie de Narindra ne ferait plus exception (fig. 29B) et la relation entre les étendues de productivité théorique et les productions deviendrait alors très hautement significative. La relation avec la seule espèce *F. indicus* est un peu plus faible, mais également très hautement significative. Les relations obtenues donnent 33,4 kg de crevettes toutes espèces par hectare d'étendue productive théorique, dont 24,6 kg de *F. indicus*, chiffres très proches de ceux obtenus avec les seules mangroves côtières.

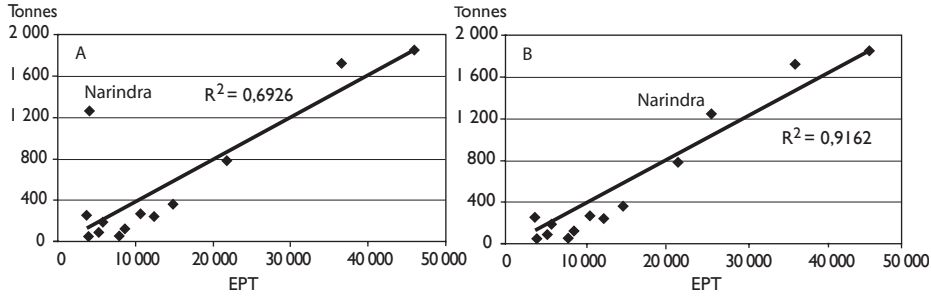


Fig. 29

Relation entre l'étendue de productivité théorique (EPT) des mangroves et la capture toutes espèces de crevettes réalisée dans leur zone. A) Les mangroves de la baie de Narindra sont considérées comme éloignées de la mer ouverte. B) Les mangroves de la baie de Narindra sont considérées comme côtières.

Discussion-conclusion

La recherche de relations entre les variations d'abondance des crevettes côtières et celles de variables climatiques est généralement difficile de par la difficulté d'obtenir des indices fiables représentatifs de l'abondance sur des périodes suffisamment longues nécessaires à ce type d'étude. Elle a été de plus particulièrement malaisée dans notre cas car nous n'avons pu disposer que de peu de séries de données sur les apports d'eaux douces, souvent considérés comme une des causes de la variabilité des abondances. En particulier, les apports des fleuves, qui auraient pu permettre d'apprécier le rôle des crues, n'ont pas été disponibles pour la dernière décennie sur laquelle nous disposons des meilleures données concernant la pêcherie. Des études ont cependant pu être réalisées à partir de données pluviométriques. Elles se sont révélées particulièrement intéressantes en ce qui concerne la côte est où le début de la saison de pêche 2003 a été singulièrement mauvais. Cet accident dans la production a été mis en relation avec des pluies particulièrement abondantes sur la zone principale de pêche pendant la période qui a précédé l'ouverture de la saison de pêche et son début. Une relation en forme de dôme a pu être mise en évidence entre un indice cyclonique cumulant les pluies de la plus grande partie de la saison humide et les captures annuelles de crevettes côtières. Une fenêtre environnementale optimale est encadrée sur la gauche par de faibles valeurs de production correspondant à de faibles apports d'eaux douces (hausse de la mortalité naturelle par insuffisance d'apports nutritifs, par une augmentation de la prédation dans des eaux moins turbides,…) et sur la droite par une valeur de production particulièrement faible correspondant à de trop forts apports d'eau douce (transport vers le large, violente agitation des eaux et modifications des fonds par les cyclones,…). Des relations de ce type peuvent sans doute exister pour d'autres zones, cependant une étude entre pluviométrie *versus* recrutements et captures en zone A (baie d'Ambaro) n'a pas permis d'en mettre en évidence, la période d'étude étant toutefois plus courte. Dans cette zone, une très mauvaise saison de pêche est survenue au niveau de la pêche industrielle en mer en 2005. Une étude des conditions pluviométriques n'a pas permis de déceler d'anomalie (Caverivière, 2006) et cette mauvaise saison a pu être finalement imputée à une très forte augmentation de la pêche de juvéniles en estuaire par des filets fixes et des barrages à petites mailles (Caverivière et Razafindrakoto, chapitre 8).

Dans une autre partie de l'étude, nous nous sommes intéressés aux relations susceptibles d'exister entre les surfaces des mangroves, lieux de croissance des jeunes crevettes, et les productions en crevette dans et devant ces mangroves, les productions annuelles moyennes étant alors prises comme indices de l'abondance. Cette dernière assomption paraît probable pour des espèces à courte durée de vie dont l'essentiel de la pêche se fait en quelques mois, c'est cependant une hypothèse qui peut être critiquée. Une très bonne relation

linéaire existe entre surfaces des mangroves dites côtières et prises annuelles en crevettes toutes espèces, ainsi que pour l'espèce principale *F. indicus.* Les mangroves côtières regroupent les mangroves préalablement classées comme littorales, lagunaires, d'estuaires, dont le centre de gravité a été estimé à 500 mètres de la mer ouverte. Pour inclure dans une relation les autres mangroves, dont le centroïde a été estimé plus lointain, une étendue de productivité théorique (EPT) a été calculée qui divise les surfaces de ces mangroves par la racine carrée de la distance de leur centre de gravité approximatif à la mer ouverte. Bien sûr, la méthode de calcul est plutôt empirique et peut être discutée. Avec cette méthode, toutes les zones de mangrove s'alignent suivant une relation, hormis la baie de Narindra. À partir d'éléments cartographiques et de pêche, les mangroves de cette baie ont été classées comme des mangroves côtières, ce qui peut cependant aussi être débattu. Avec cette hypothèse, une très bonne relation concernant l'ensemble des zones de mangrove est obtenue et la « productivité » annuelle des mangroves, zones de nourricerie des postlarves et juvéniles, serait de l'ordre de 33 kg de crevettes par hectare, dont 24-25 kg de *F. indicus*.

La surface des mangroves serait donc représentative de la production crevettière d'une zone et leur réduction pourrait entraîner des effets néfastes pour les pêcheries de crevettes. Or, le risque d'une diminution de la surface des mangroves est présent à Madagascar, avec l'existence de pratiques potentiellement nuisibles décrites par Kairo *et al.* (2001). L'exploitation continue et non contrôlée du bois de palétuvier autour des grands centres urbains, le développement croissant des fermes aquacoles, ayant généralement un impact non négligeable et provoquant un afflux de population dans leur périphérie (et par suite une pression incontrôlée sur les espaces environnants), constituent autant de facteurs à l'origine de la vraisemblable régression de certaines mangroves depuis le début des années 1990 (Iltis et Ranaivoson, 1998). Si un recul important de la mangrove est avéré, nous risquons alors d'assister à une chute difficilement réversible (Kairo *et al.,* 2001) des débarquements crevettiers dans le pays, comme cela a été le cas en Indonésie après les sérieuses atteintes portées aux marais maritimes (Martosubroto et Naamin, 1977). Néanmoins, en termes de productivité halieutique, les déboisements modérés ont certainement peu d'effet puisqu'ils touchent probablement en premier lieu l'estran de la mangrove. Les aires des mangroves prises en compte dans l'étude ont été considérées en première approximation comme proportionnelles aux surfaces des chenaux intérieurs. Ces chenaux dans lesquels vivent les postlarves et juvéniles à marée basse, qui représentent en quelque sorte la « capacité de charge » de la mangrove, sont probablement touchés dans une phase plus avancée de déboisement.

Partie 2

Exploitation

Cette partie décrit l'exploitation des ressources de crevettes ainsi que l'impact qu'elle exerce sur la dynamique de ces ressources et sur les espèces accessoires qui font l'objet de captures significatives par les unités de pêche crevettière.

La première contribution (H. Razafindrakoto) traite des composantes industrielle et artisanale de l'exploitation. On y met en évidence la rapidité avec laquelle on est passé d'une pêcherie en développement à une pêcherie mature confrontée à la baisse des rendements et des résultats économiques et donc aussi à la nécessité d'une réduction et d'une meilleure régulation de l'effort et de la capacité de pêche. Une des caractéristiques de la pêcherie malgache est l'importance et la vitalité de sa composante traditionnelle. Les deux contributions suivantes y sont consacrées. Rodellec du Porzic et Caverivière présentent de façon détaillée la panoplie des engins de pêche puis analysent la sélectivité des principaux d'entre eux. Cette question est particulièrement sensible en raison du schéma d'exploitation séquentiel observé dans les principales régions de pêche : le volume et la structure par taille des captures de la pêche traditionnelle conditionnent en partie celles des segments industriel et artisan. Rakotodratsimba, Chaboud et Rasoanandrasana font ensuite le point sur les enquêtes de pêche traditionnelle réalisées depuis 2003. Ils en présentent la méthodologie et les principaux résultats, notamment pour la côte nord-ouest où l'activité traditionnelle est la plus importante. Les deux contributions suivantes (Caverivière et Razafindrakoto) étudient l'impact de l'exploitation halieutique sur les populations de *F. indicus* et *M. monoceros* par analyse virtuelle des populations. Cette méthode permet, à partir de l'analyse des captures par taille, de reconstituer l'évolution des biomasses et des recrutements par zones d'exploitation. L'application du modèle de Thompson et Bell conduit ensuite à un diagnostic de pleine exploitation si les captures sont exprimées en volume et de surexploitation quand elles le sont en valeur. Ce diagnostic de surexploitation s'avère beaucoup plus affirmé si l'on intègre l'impact des engins non sélectifs de la pêche traditionnelle, notamment pour les zones d'exploitation A et B. La dernière contribution traite de la délicate question des captures accessoires des pêches industrielle et artisanale (Randriarilala, Rafalimanana et Caverivière). Si le taux de capture accessoire observé s'avère globalement inférieur à ceux rencontrés dans la majorité des pêcheries crevettières tropicales, on note cependant un taux de rejet encore important qui s'explique par les difficultés de valorisation des prises accessoires sur le marché national.

< © C. Chaboud/IRD

Principaux traits d'évolution de la pêcherie crevettière industrielle et artisanale

Herimamy Lalaniaina Razafindrakoto

© A. de Rodellec/PNRC

Introduction

La pêcherie crevettière industrielle s'est installée en 1967 suite aux résultats de prospections faites par le navire *Chidorigo* (Vincent-Cuaz, 1964, 1967) et par des chercheurs du centre Orstom de Nosy-Bé (Fourmanoir, 1952 a, b ; Crosnier, 1965). Durant quatre décennies, elle n'a cessé d'évoluer. Elle est actuellement l'un des piliers de l'économie de Madagascar. La ressource crevettière fait partie des ressources stratégiques (article 135 de la constitution malgache), qui conditionnent et déterminent la vie économique et financière de la nation (Randrianasolo, 1998).

Du fait de cette importance, elle est l'objet de beaucoup d'enjeux et a suscité de nombreux débats et négociations entre l'État qui est propriétaire de la ressource et les armements qui en sont les exploitants.

L'évolution de la pêcherie industrielle (les zones de pêche, les armements, les flottilles, les productions,…) sera présentée à partir des données et travaux historiques disponibles et de la base de données informatisée Banacrem mise en place en 1995 (Andriantsoa, 1998). Des données fournies par les armements seront aussi utilisées pour préciser la répartition des captures par espèces. La pêche artisanale, qui est de bien moindre importance, sera plus rapidement décrite.

L'évolution des deux pêcheries en termes de réglementation et modifications des engins et méthodes de pêche sera présentée.

Définition de la pêcherie crevettière à Madagascar

Le décret n° 94-112 du 18 février 1994, portant organisation générale des activités de la pêche maritime, stipule que la pêche commerciale se subdivise en trois types d'activités :

– la ***pêche traditionnelle***, « pratiquée à pied ou au moyen d'une pirogue », motorisée ou non ;

– la ***pêche artisanale***, « comportant l'utilisation d'une embarcation ayant un moteur de puissance inférieure ou égale à 50 CV » ;

– la ***pêche industrielle***, « comportant l'utilisation d'une embarcation ayant un moteur de puissance supérieure à 50 CV. Pour la pêche crevettière, la puissance maximale autorisée et destinée à la propulsion est limitée à 500 CV ».

D'après le décret n° 71-328 (réglementant l'exercice de la pêche par chalutage dans la mer territoriale malgache) modifié par le décret n° 94-112 du 18 février 1994, la pratique du chalutage est subordonnée à la possession, selon le cas :

– d'une licence portant autorisation de pratiquer le chalutage au moyen de bateaux dont la force motrice est supérieure à 50 CV. Actuellement, cette licence n'est attribuée que pour une zone ;

– d'une licence portant autorisation de pratiquer le chalutage au moyen de bateaux dont la force motrice est inférieure ou égale à 50 CV. Les mini-chalutiers ne sont pas astreints à pratiquer la pêche dans une seule zone de pêche, mais sont autorisés à travailler dans les zones avoisinant leur port d'attache.

Depuis 1995, la possession d'une licence de pêche est subordonnée au paiement d'une redevance annuelle.

Les zones de pêche

Les biologistes du centre Orstom (Office de recherche scientifique et technique d'outre-mer) de Nosy-Bé avaient entrepris, dès 1951, des prospections en vue d'évaluer la possibilité d'établissement d'une pêcherie industrielle crevettière (Fourmanoir, 1952 a, b). En 1958, la Division des Pêches maritimes du service de l'Élevage a contribué à ces recherches. Des protocoles d'accord ont été signés entre le gouvernement et des organismes privés étrangers, tels que la Société japonaise Kawakami (22 novembre 1962 et 13 novembre 1963) et la Société libano-américaine « Packfreez » (7 novembre 1967), pour que ceux-ci engagent des chalutiers à participer aux travaux. Également, dans le désir de s'implanter, d'autres sociétés ont effectué des prospections à titre privé, avec

autorisation gouvernementale, respectivement de 1966 à 1969 et de mars 1967 à mars 1968. L'ensemble de ces campagnes de prospection a porté sur une très grande partie des côtes nord-ouest et ouest.

Les fonds de pêche

Les zones chalutables (fig. 1 de l'introduction) sont réparties en trois groupes (Crosnier, 1965 ; Marcille, 1978) :

– les baies qui se situent entre les caps Saint-André et Saint-Sébastien, elles ont une profondeur relativement faible et sont profondément enfoncées dans les terres. Leurs fonds (Jouannic, 1973) sont de nature vaseuse ou sablo-vaseuse. Beaucoup d'estuaires y débouchent et elles sont bordées de zones de mangroves bien développées. Ce sont des biotopes d'élection des crevettes pénéides ;

– la frange côtière sur des portions de côte rectiligne, au sud du cap Saint-André, de même qu'entre Mahajanga et la baie de Mahajamba. Les fleuves se jettent directement à la mer. Les fonds à crevettes occupent alors une bande parallèle à la côte ;

– les fonds sableux du pré-continent. Situés à des profondeurs plus importantes (de 20 à 70 m), ces fonds sont très pauvres en crevettes et des formations coralliennes y rendent le chalutage impossible par endroits.

Sur la côte ouest la pêche s'est développée en premier dans sa partie nord et a atteint rapidement le cap Saint-André, cet ensemble présentant de nombreuses baies et mangroves. La progression s'est ensuite poursuivie vers le sud, jusqu'à l'estuaire du Mangoky et la ville de Morombe, encore plus au sud les fonds ne sont pas favorables à la présence des crevettes côtières.

Sur la côte est, les fonds à crevettes occupent la baie d'Antongil dans le nord-est, où a lieu l'essentiel de la pêche, et une bande parallèle à la côte qui s'étend de Mananara (entrée de la baie d'Antongil) jusqu'à Farafangana au sud-est. Actuellement, l'unique armement qui est basé à Toamasina prospecte de temps en temps sur les zones qui sont les plus au sud (Manakara, Farafangana).

En pratique, les chalutiers crevettiers opèrent dans une bande qui s'étend des isobathes 2 à 30 m, c'est-à-dire dans les baies et dans la frange côtière.

Les zones d'aménagement de la pêche crevettière

Les zones ont été définies initialement en vue de travaux d'analyse statistique (Chabanne et Plante, 1971) à partir de dix-neuf zones de pêches identifiées sur la côte ouest.

Un zonage s'étendant un peu plus vers le sud (fig. 1, introduction) a été établi par Marcille (1972) qui a alors tenu compte, d'une part des concentrations géographiques d'adultes pêchés par les chalutiers, d'autre part des zones de ponte localisées par Le Reste (1973).

Par la suite, le zonage a connu d'autres modifications avec une extension encore plus sud (ANDRIAMBAHATRA, 1983) et une partition de la côte est.

En 2000, les 14 zones ont été regroupées en quatre grands bassins d'exploitation (A à D, fig. 1 de l'introduction). Au début de la mise en place de ce découpage, il y avait sur la côte ouest coexistence de deux zones exclusives de fait (A et B), exploitées par un seul armement, et d'une zone commune (C), où plusieurs armements étaient en concurrence pour le partage de la ressource. Depuis la mise en place d'un nouveau système d'attribution de licences annuelles, il n'y a plus de zone commune et un crevettier ne peut désormais pêcher que dans la zone pour laquelle une licence unique lui a été attribuée (sauf dérogation motivée et exceptionnelle).

En 1995, pour améliorer la gestion de la pêcherie, l'administration des pêches avec l'appui de la FAO a standardisé la collecte des informations des activités de pêche. Les origines géographiques des captures sont localisées à partir d'un carroyage (DINTHEER et RAZAFINDRAKOTO, 1996) où chaque carré de 20' de latitude et de longitude est attribué à une zone d'aménagement.

Évolution de la pêche industrielle

Historique

Le premier armement de pêche malgache a été créé en 1965, il s'agit de la Société malgache de pêcherie (Somapêche), basée à Mahajanga. L'exploitation industrielle proprement dite a débuté en 1967. La société Packfreez, basée à Morondava, a prospecté pendant trois ans (de 1967 à 1969) avant de devenir une société de droit malgache : la Grande Pêcherie de l'Ouest (GPO), qui a commencé ses activités en 1969. Suite à la campagne de prospection du chalutier « Soavina I », la Société industrielle de pêche à Madagascar (Sipmad) fut créée et basée à Ambilobe en mai 1967 et elle a débuté ses activités en septembre 1969. La société Sthele et Compagnie, qui avait entrepris des prospections de mars 1967 à mars 1968 fut le promoteur de la société « Les Pêcheries de Nosy Bé (PNB), mise sur pied en 1970. La société Armement des Mascareignes qui a effectué une prospection dans la région de Nosy Bé du 11 juin au 27 août 1969, était le principal actionnaire de cette entreprise à ses débuts, elle fut reprise par la Société cotonnière d'Antsirabe en 1972.

La GPO, qui n'avait aucune infrastructure terrestre, fut contrainte par le gouvernement malgache à bâtir une usine de traitement à Mahajanga fin 1973. Cette obligation d'installations à terre fut une des raisons de la vente des actions de Packfreez aux United Fisheries of Kuwait (UFK) en 1975. C'est ainsi qu'en cette année 1975, la société Fanjonoana Malagasy Kowetiana (Famako) prit la relève de la GPO. En juillet de la même année (1975), la Sipmad d'Ambilobe a cessé totalement ses activités et n'a pas été reprise. La

baie d'Antongil et une portion du littoral est furent exploitées pour la première fois en 1981 par la société « Réfrigépêche », nouvellement créée et basée à Toamasina. Cette implantation s'est inspirée des travaux de MARCILLE (1972, 1978).

En 1981, les Koweïtiens de la Famako ont formulé une demande de cessation d'activités et de liquidation. La Somapêche put alors devenir la nouvelle partenaire de l'État au sein d'un nouvel armement nommé « Société des pêcheries du Boina » (Sopebo) en 1982.

En 1993, le nombre d'opérateurs impliqués dans la pêche crevettière avait augmenté de façon spectaculaire, la plupart des nouveaux armements n'ont survécu qu'une seule campagne.

Depuis 1995, des armements se sont associés ou ont fusionné pour former des groupes ou renforcer les armements déjà existants. Certains groupes sont diversifiés, contrôlant des armements de pêche industriels amis et aussi artisanaux, ainsi que des unités de crevetticulture. Les principaux groupes ou armements à ce jour sont Somapêche (20 chalutiers industriels), Unima (16 chalutiers industriels, armements PNB et Aquamen), Réfrigépêche (12 chalutiers industriels, armements Réfrigépêche Ouest, Réfrigépêche Est et Crustapêche), Pêchexport (6 chalutiers industriels). Suite à la mise en place d'une réglementation antitrust, aucun armement ne peut posséder plus de 40 % de la flottille en activité, certains groupes se sont dissociés pour contourner cette mesure.

La flottille et les engins de pêche

Le nombre de navires (fig. 30) a augmenté progressivement.

De 1967 à 1969, 6 petits glaciers opéraient au nord-ouest et 5 autres étaient basés à Morondava. Fin 1969, la pêche industrielle crevettière malgache avait utilisé 13 chalutiers en fer avec des longueurs variant de 16 à plus de 30 m. À la fin de 1970, 19 chalutiers travaillaient sur la côte nord-ouest. En 1971, 13 navires supplémentaires sont arrivés sur cette même côte. Les sociétés de pêche industrielle n'ont cessé d'augmenter le nombre de leurs navires jusqu'en 1972, à part la Sipmad suite à des problèmes de gestion et d'insuffisance technique de personnel (RAKOTOVAHINY, 1971). À partir de 1972, certains navires ont été désarmés mais des unités neuves ont été introduites. En 1974, la prise de participation de la compagnie japonaise Kyokyo et l'apport de ses techniciens ont permis à Sipmad d'accroître le nombre de ses navires à 8 congélateurs. De fin 1974 jusqu'à fin 1975, 44 unités opèrent dans la pêcherie. Suite à l'arrêt d'activité de la Sipmad en juillet 1975, le nombre de chalutiers fut réduit à 36 fin 1975, 35 en 1976, pour remonter en 1977 et atteindre 40 unités fin 1979. En 1993, le nombre de chalutiers était de 64 sur la côte ouest et de 5 sur la côte est. La venue temporaire d'un nouvel armement sur la côte est en 1996-1997 avait porté à 13 le nombre de navires opérant sur la façade orientale, tandis que sur la côte ouest le nombre était maintenu à 64 unités. À partir de 2003, le nombre de crevettiers s'est stabilisé à 71, en raison d'une décision de gel de l'effort de pêche industrielle.

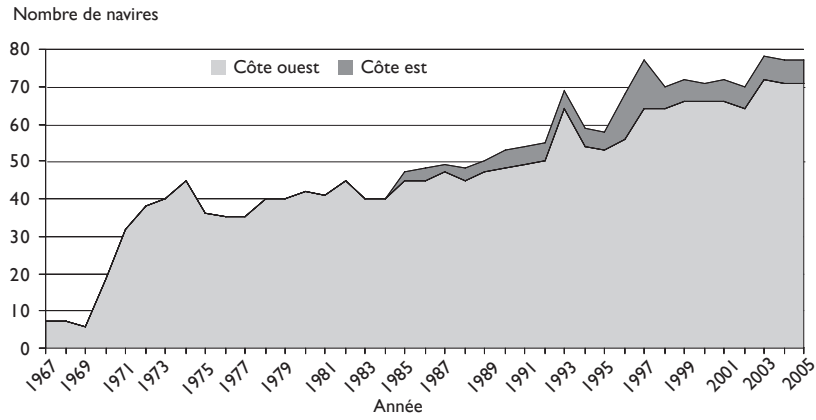


Fig. 30
Évolution du nombre de navires sur les côtes ouest et est.

Une évolution technique importante a été le remplacement progressif des petits chalutiers, pour la plupart des glaciers, par des congélateurs avec une large autonomie permettant de traiter (congélation mais aussi pour certaines unités le tri et le conditionnement en « master cartons ») toutes leurs captures à bord.

Actuellement, suite à la situation difficile qui prévaut dans la pêcherie (diminution des captures, dégradation des résultats économiques), certains armements ont commencé à désarmer leurs navires. En 2006, le nombre de chalutiers autorisés est retombé à 56 sur la côte ouest et à 5 sur la côte est. Sur la côte ouest la principale réduction concerne la zone B où n'opèrent plus désormais que 4 chalutiers-congélateurs.

Très tôt, les chalutiers ont utilisé des gréements floridiens à tangons, avec un chalut de chaque côté du navire. Le système est communément appelé twin (chaluts jumeaux). À partir de 1994, les chalutiers-congélateurs ont commencé à utiliser le système de double-twin (fig. 31), constitué de deux paires de chaluts séparés par un patin. Depuis 2005, un retour vers le système twin semble s'amorcer. Depuis peu, un dispositif de crible à tortues (TED) est obligatoire sur chaque chalut.

Le GAPCM coordonne des études sur des dispositifs de réduction des captures accessoires de poissons (BRD) confiées à des technologistes des pêches de l'Ifremer (Meillat, 2006). Ces innovations et recherches répondent au souci croissant de réduire l'impact de la pêche crevettière sur la biodiversité marine, notamment les captures accessoires de tortues et de poissons.

Dans la réglementation des pêches, les chalutiers industriels peuvent tirer deux à quatre chaluts à panneaux, dont la longueur cumulée des cordes de dos ne peut dépasser 77 m (mesure prise en 1971). Depuis 2004, la longueur maximale autorisée a été réduite à 69 m. Le maillage autorisé du cul des chaluts est de 40 mm étiré au minimum. Actuellement, les crevettiers utilisent tous des mailles de 50 mm.

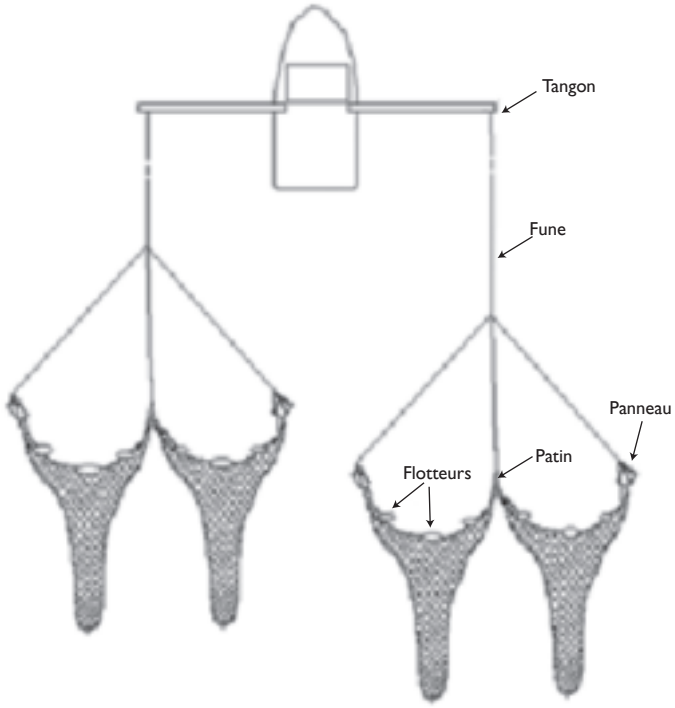


Fig. 31
Schéma d'un crevettier gréé en double-twin.

Effort de pêche

Une variable fondamentale dans l'aménagement d'une pêcherie est l'effort de pêche, que l'on peut exprimer de plusieurs façons (nombres de bateaux, de jours de mer, de jours de pêche,…). Pour la pêcherie crevettière malgache, l'unité d'effort a été définie pour la première fois par MARCILLE (1978), il s'agit de l'heure de pêche d'un chalutier glacier de 400 CV.

La puissance de pêche installée

Depuis 1966, la puissance totale installée (fig. 32) a augmenté progressivement en fonction du nombre de navires opérationnels et de leur puissance moyenne qui s'est régulièrement accrue jusqu'à la fin des années 1990.

La puissance moyenne du moteur principal des chalutiers est ainsi passée de 300 à 440 CV depuis le début de la pêcherie. À partir de 1995, les évolutions pour les nouvelles zones d'aménagement (A, B, C et D) des puissances motrices ont été obtenues à partir de la base de données Banacrem (fig. 33).

En zone A, la puissance installée annuelle moyenne est proche de 5 000 CV et présente deux périodes bien distinctes :

– de 1995 à 1999, cette puissance annuelle varie de 5 100 à 6 500 CV ;

– de 2000 à 2005, elle est réduite et se situe entre 3 500 et 4 900 CV.

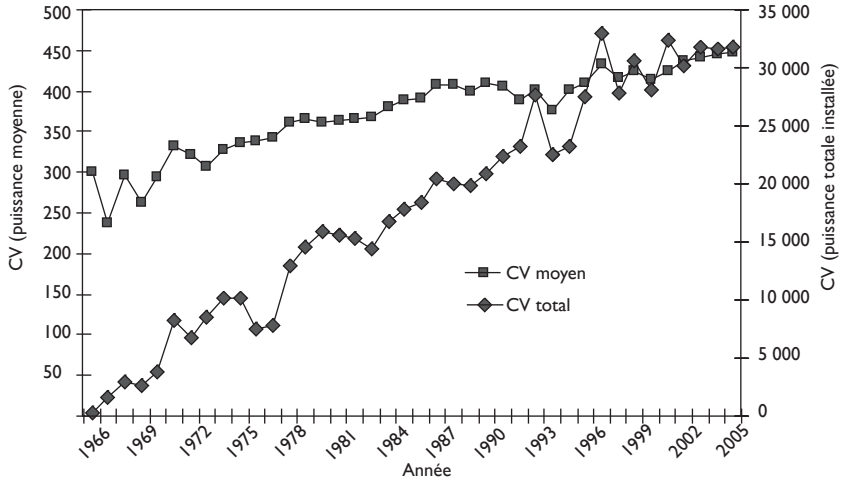


Fig. 32
Évolutions de la puissance totale installée et de la puissance moyenne d'un navire, en cheval-vapeur (CV).

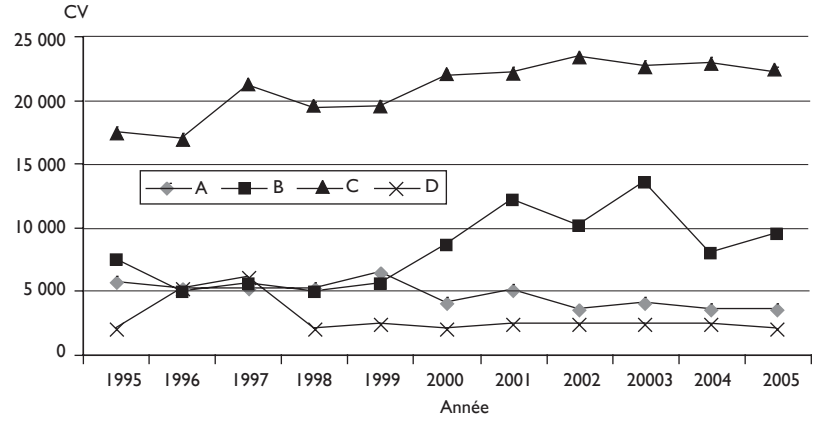


Fig. 33
Évolution des puissances motrices par zone (A à D) et par an.

Les glaciers ont été retirés progressivement de la zone jusqu'en 2002.

En zone B, la puissance installée qui était de 7 500 CV en 1995 a diminué à 5 200 CV jusqu'en 1999, après elle augmente progressivement pour atteindre 13 000 CV en 2003, puis elle est redescendue à moins de 10 000 CV.

Pour la zone C, on note une tendance à la hausse allant de 17 000 CV en 1995 à 22 000 CV en 2000, puis il y a une stabilisation autour de 23 000 CV.

Sur la côte est (zone D), l'arrivée de 8 chalutiers en 1996 avait augmenté la puissance installée de 2 500 à 6 000 CV. En 1998, ces nouveaux chalutiers ont été transférés sur la côte ouest et la puissance s'est stabilisée autour de 2 400 CV par an.

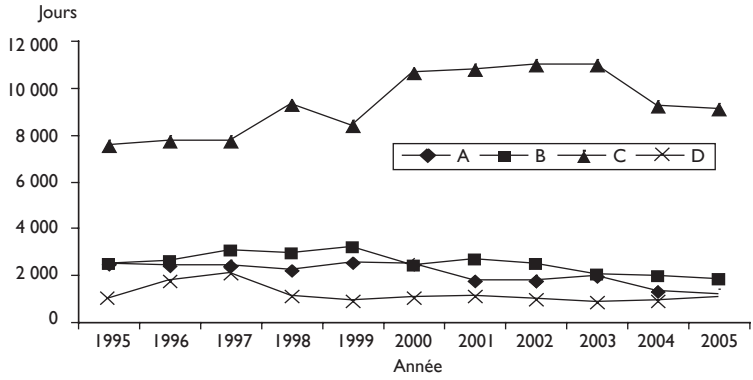


Fig. 34
Évolution du nombre de jours de pêche annuels par zone.

Actuellement (2006-2007), la puissance installée dans la pêcherie est en régression, suite au désarmement de navires. Des discussions sont en cours pour que la réglementation concernant l'effort de pêche soit basée en nombre d'unité de corde de dos des chaluts.

Le nombre de jours de pêche

Même si la puissance installée ou le nombre de navires permettent d'avoir une idée globale de la pression exercée sur la ressource, le temps d'application (ou jours de pêche) permet de l'appréhender plus clairement (fig. 34).

En zone A, le nombre de jours de pêche s'est stabilisé autour de 2 400 jours jusqu'en 2000, puis il est descendu en dessous de 2 000 jours en 2001, pour atteindre 1 300 jours en 2005.

En zone B, le nombre de jours de pêche annuel moyen est en moyenne de 2 700 jours entre 1995 et 2002, il décroît progressivement (en dessous de 2 000 jours) depuis 2003.

En zone C, le nombre de jours a augmenté de 7 500 jours à 10 900 jours entre 1995 et 2003, depuis 2004 on observe une nette réduction.

En zone D, le nombre de jours de pêche oscille entre 840 jours et 1 100 jours (mises à part les années 1996 et 1997 où 12 chalutiers étaient présents).

Durée des temps de pêche journaliers

Au début de l'exploitation les navires arrêtaient de pêcher à partir de 20 heures, la pratique de pêche de nuit est ensuite apparue avec la recherche d'espèces dont la capturabilité augmente en phase nocturne.

En zone A, la durée moyenne du temps de pêche journalier était de 10 heures en moyenne annuelle de 1995 à 1998, puis elle a augmenté progressivement jusqu'à 14,5 heures en 2002, pour revenir à 10 heures à partir de 2003 (fig. 35) avec l'arrêt de la pêche de nuit pendant la première moitié de la saison. En début de saison, la moyenne mensuelle peut descendre en dessous de 6 heures de pêche par jour (minimum de 3,5 heures en 1996), en raison de l'importance du temps de travail consacré au traitement des captures.

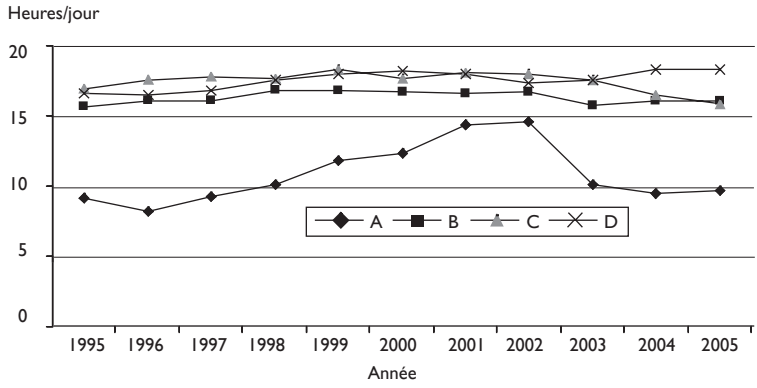


Fig. 35
Durée moyenne des heures de pêche journalières par an et par zone.

En zones B, C et D, un jour de mer comprend en moyenne de 16 à 18 heures de pêche. On observe un maximum entre 1998 et 2002, puis une réduction en zone B et zone C (limitation des activités nocturnes), par contre le temps de pêche est maintenu aux alentours de 18 heures en zone D. Pour les mêmes raisons qu'en zone A, mais de manière beaucoup moins importante, le temps de pêche journalier est plus court en début de saison.

Évolution des captures

Captures totales

Dans les anciennes statistiques de pêche il n'y avait pas de distinction entre espèces, les quantités capturées étaient ventilées seulement en crevettes entières ou étêtées. Depuis 1995, les statistiques issues de la base Banacrem permettent de distinguer les captures de l'espèce principale *F. indicus* de celles de l'ensemble des autres espèces.

À partir de 1967, les captures ont augmenté progressivement pour atteindre 8 000 tonnes en 1987. Jusqu'en 1985, la totalité des captures était réalisée sur la côte ouest (fig. 36). À partir de 1988, les quantités capturées se stabilisent sans jamais dépasser les 10 000 tonnes, fluctuant entre 7 000 et 9 500 tonnes. Depuis 2003, une baisse des captures s'observe sur la côte ouest, en 2005 les captures auraient été de 4 900 tonnes. Des explications à cette réduction sont proposées plus loin dans cet ouvrage.

C'est la zone C qui contribue le plus aux captures, suivie de loin par les zones A et B (fig. 37). La zone D est la moins productive, les captures n'y ont jamais dépassé les 600 tonnes.

Des baisses récentes et importantes de production sont observées à partir de 2004 dans les différentes zones de la côte ouest, à partir de 2003 pour la côte est. On se reportera aux deux articles de dynamique des populations du présent volume pour des éléments d'explications qui concernent essentiellement les effets d'une augmentation de la pêche traditionnelle sur la côte ouest et les effets de variations environnementales pour la côte est.

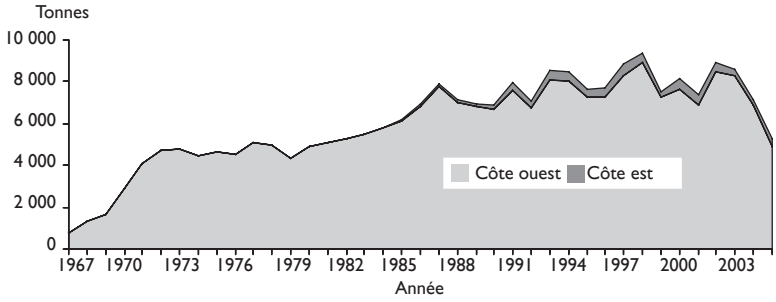


Fig. 36
Évolution des captures annuelles par façade maritime.

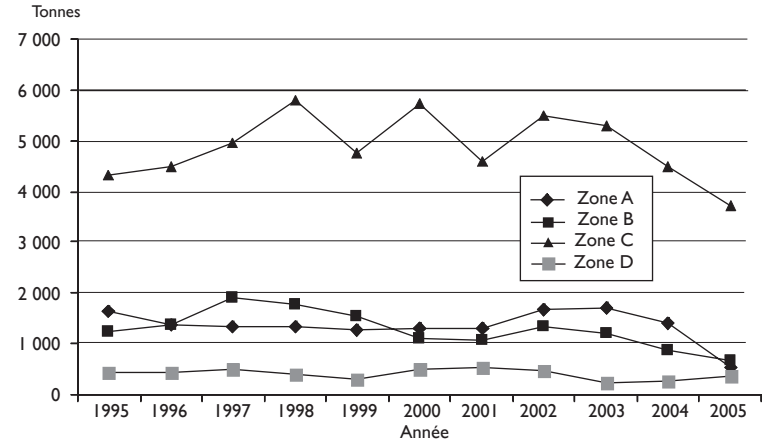


Fig. 37
Évolutions des captures annuelles par zone d'aménagement.

La saisonnalité des captures de la pêche chalutière est très marquée, particulièrement pour la côte ouest, où plus de 50 % des crevettes sont pêchées dans les trois premiers mois de la campagne (de février à avril). En début de campagne, les chalutiers travailleraient à la limite de leur capacité technique d'exploitation. Comme déjà indiqué, il n'est alors pas rare qu'un crevettier soit obligé d'interrompre ses activités de chalutage pour que l'équipage puisse séparer les crevettes des autres espèces ramenées par le filet et mettre ensuite les crevettes au froid, bien que cela soit bien moins fréquent actuellement. À l'inverse, il arrive de plus en plus souvent, qu'en fin de saison de pêche les crevettiers cessent leur activité avant la fermeture légale de la pêche, les revenus tirés des captures ne permettant plus alors de couvrir les coûts d'exploitation.

Les captures industrielles par espèce

Cinq espèces de crevettes pénéides sont capturées (cf. « Présentation du milieu et des espèces », chapitre 1) et trois d'entre elles constituent l'essentiel des prises : *Fenneropenaeus indicus*, *Metapenaeus monoceros* et *Penaeus semisulcatus.*

Au début de la pêcherie, les captures en poids étaient constituées à 94 % par *F. indicus* (MARCILLE, 1978). TOUSSAINT *et al.* (1994) ont avancé la proportion de 51 % en 1991 et 60 % en 1992 pour *F. indicus* en analysant les données de la zone nord et sud-ouest de Madagascar. Ces auteurs ont indiqué également que *M. monoceros* représentait en 1992 22 % de la capture et *P. semisulcatus* 18 %. La proportion de *F. indicus* a été estimée à 67 % en 1994 et celle de *M. monoceros à* 24 % (DINTHEER *et al.,* 1998). En 1998, MOGUEDET *et al.* (2001) ont estimé à 64 % la part de *F. indicus* dans les prises de la côte ouest, et à 19 % celle de *M. monoceros*. Sur la côte est, cette dernière espèce représente 52 % de la capture et *F. indicus* ne vient qu'en seconde position avec 43 %.

La composition spécifique des captures dépend de la saison (*F. indicus* serait relativement plus abondante en début de saison de pêche) et des phases jour-nuit (*F. indicus* est plus disponible de jour, *M. monoceros* et *P. semisulcatus* de nuit). La part des espèces dans les captures est en fait variable selon les armements, car elle dépend des stratégies de pêche spatio-temporelles adoptées. On note que malgré sa faible proportion dans le volume des captures, *Penaeus monodon* a une importance non négligeable en raison de sa valeur marchande élevée.

Pour les années récentes, une étude précise de la répartition spécifique des captures a été faite à partir des données par espèce fournies par les armements. Ces données couvrent la totalité ou une très grande majorité des captures réalisées dans chaque zone, elles permettent d'étudier la répartition et l'évolution des captures par espèce, mois, an, de manière plus précise qu'à partir de la base nationale Banacrem, où n'est identifiée précisément que l'espèce principale *Fenneropenaeus indicus*.

Évolutions mensuelles

Elles sont représentées sur la figure 38. Il s'agit des captures moyennes mensuelles pour les périodes dont les données ont été communiquées, après avoir vérifié que les évolutions mensuelles des différentes années étaient relativement similaires.

En zone A, la crevette *F. indicus* est particulièrement abondante à l'ouverture de la saison de pêche, surtout de jour. Le pic des prises pour cette espèce apparaît en mars, premier mois de pleine activité après les ouvertures de la pêche de 2000 à 2003. Les captures de cette espèce diminuent ensuite rapidement suite à la baisse de son abondance, principalement due à l'effet de la pêche sur une espèce à vie courte, pour devenir inférieures à celles des deux autres espèces (*M. monoceros* et *P. semisulcatus*) dans la seconde moitié de la saison de pêche. Ces deux autres espèces montrent des captures à peu près stables tout au long de la saison de pêche. Il y a compensation de la baisse d'abondance, qui doit exister aussi, par une augmentation de l'effort de pêche visant ces deux espèces : pêche de nuit et sur des zones un peu plus profondes que celles où se pêchent préférentiellement *F. indicus*. On note qu'une espèce plus côtière *Penaeus monodon* (crevette géante tigrée, camaron), de grande taille et valeur commerciale, n'apparaît pas dans les statistiques bien que présente dans la zone, sans doute du fait de trop faibles abondances dans les zones de pêche des crevettiers.

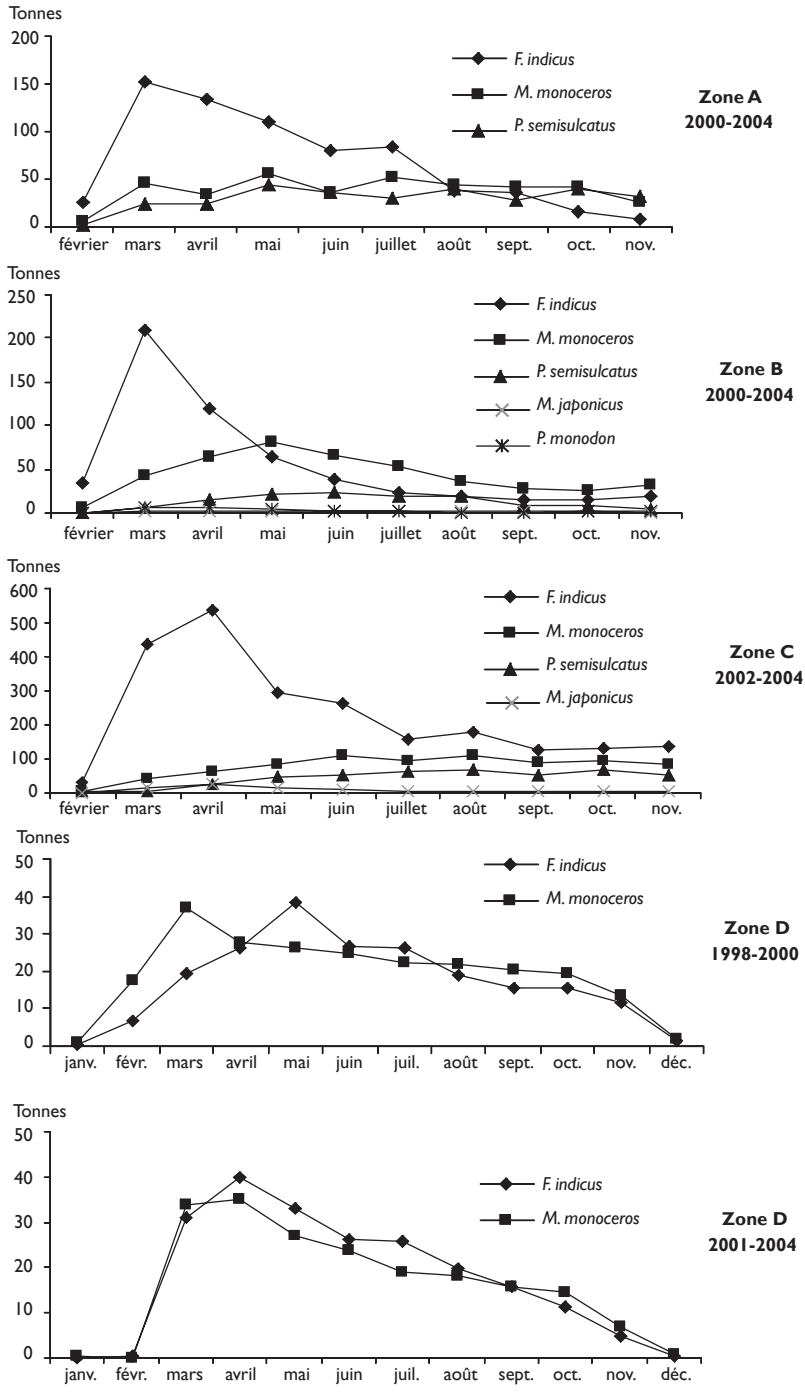


Fig. 38
Évolutions mensuelles des captures des principales espèces de crevettes par les crevettiers industriels dans les quatre zones d'aménagement.

En zone B, les évolutions mensuelles des captures par espèces sont proches de celles observées en zone A. Cependant, on voit nettement ici le report de l'effort de pêche vers la seconde espèce *M. monoceros*, ainsi que dans une moindre mesure vers la troisième *P. semisulcatus*, quand l'abondance de *F. indicus* décroît. Cela se traduit par une augmentation des captures de *M. monoceros* et *P. semisulcatus* jusqu'en mai-juin. Les captures de *M. monoceros* surpassent celles de *F. indicus* dès le mois de mai (bien plus tôt qu'en zone A), celles de *P. semisulcatus* égalent celles de *F. indicus* en juillet et août.

En zone C, le pic pour *F. indicus* se trouve en avril et non en mars comme pour les zones précédentes, il s'agit d'un artefact dû au fait que les captures de certains armements sont comptabilisées dans le mois de débarquement, qui ne correspond pas exactement au mois où elles ont été effectivement réalisées. Le report d'une partie de l'effort, quelque temps après le début de la saison de pêche, sur les deux espèces secondaires *M. monoceros* et *P. semisulcatus* se traduit par une augmentation des prises de ces deux espèces jusqu'en juin-juillet. L'effort sur *F. indicus* reste cependant dominant et on ne voit pas, comme en zones A et B, les prises des deux espèces secondaires dépasser ou égaler celles de l'espèce principale en dernière partie de la saison de pêche.

En zone D (côte est), les évolutions mensuelles des captures par espèces sont bien différentes de celles des autres zones ; et la période relativement longue pour laquelle des données nous ont été aimablement fournies a été scindée en deux, car les évolutions n'y sont pas les mêmes. Les données pour cette zone portent sur quatre espèces, dont deux d'entre elles, *F. indicus* et *M. monoceros*, sont largement dominantes et d'un même niveau, leur ensemble représentant au moins 95 % des captures. Les espèces *P. semisulcatus,* surtout, mais aussi *P. monodon*, sont moins représentées dans les captures que dans d'autres zones.

Une fois les pics de captures atteints, il y a une diminution assez régulière des prises au cours des mois suivants, malgré une activité de pêche qui reste soutenue au moins jusqu'au mois d'octobre (d'après les analyses des nombres de jours de pêche où de la crevette a été capturée). Les entrées de nouveaux individus dans la pêcherie ne permettent pas de compenser les pertes dues à la pêche et à la mortalité naturelle. Les pics de captures pour *F. indicus* apparaissent plus tardivement (avril et, le plus souvent, mai) que pour les autres zones (mars). L'activité de pêche est pourtant soutenue dès le mois de mars en zone D ; ainsi, en 1999 le mois de mars compte 156 jours de pêche où de la crevette a été capturée, pour 129 jours en mai où le pic de capture de *F. indicus* est observé. On peut alors se demander si l'essentiel du recrutement des jeunes adultes, issus des juvéniles qui ont grossi en zone très côtière, n'est pas plus tardif dans la pêcherie de la côte est que sur la côte ouest. Il semble que sur la côte est, contrairement à la côte ouest, il n'y a pas de recherche préférentielle de la crevette *F. indicus* en début de saison de pêche. L'espèce *F. indicus* n'est donc pas aussi dominante dans les captures que sur la côte ouest. Une raison à cela serait que la pêche sur la côte est ne serait pas aussi

côtière que sur la côte ouest, la topographie des fonds et les conditions de mer ne permettant guère de travailler sur les fonds de moins de 10 mètres, où l'espèce se concentre sur la côte ouest. Les données précises dont nous disposons pour un armement travaillant au nord et au sud de la côte ouest indiquent que sur une année, plus de 70 % des captures de *F. indicus* sont réalisées entre 4 et 9 mètres, alors que ce serait moins de 1 % à l'est (de 1999 à 2004, 2003 faisant exception avec 14 %).

Évolutions interannuelles

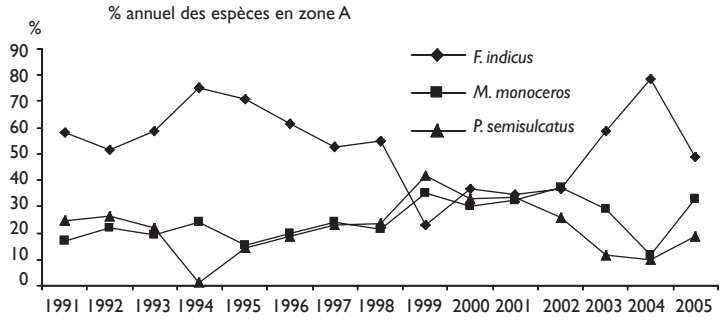
Les évolutions interannuelles de la composition spécifique des captures sont représentées sur la figure 39 pour les différentes zones.

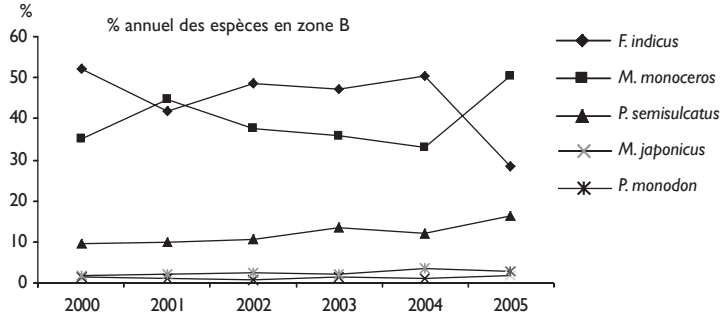
En zone A, l'espèce principale *F. indicus* représente plus de 50 % des captures entre 1991 et 1998 (moyenne de 60,4 %). Cette proportion est inférieure à 40 % de 1999 à 2002, sans que nous ayons pu en déterminer la raison. Elle remonte ensuite pour atteindre un sommet, avec près de 80 %, en 2004. Une baisse brutale est observée en 2005, qui est en relation avec un mauvais recrutement (Caverivière et Razafindrakoto, chapitre 8), particulièrement marqué à l'ouverture de la saison de pêche en mars 2005.

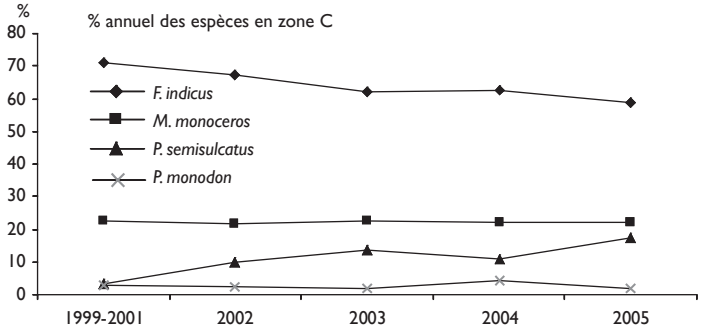
Les parts des deux autres espèces, *Metapenaeus monoceros* et *Penaeus semisulcatus, sont* nettement plus faibles et assez similaires, elles augmentent évidemment quand l'abondance de l'espèce principale diminue. Ces espèces ont une moindre valeur commerciale que *F. indicus*, en raison de tailles moyennes plus petites.

En zone B, 5 espèces de crevettes sont présentes dans les statistiques. L'espèce principale est, ici aussi, *F. indicus*, avec une dominance moins nette dans les années « normales » (2000 à 2004), de l'ordre de 40 à 50 %. La deuxième espèce est *M. monoceros*, avec des pourcentages nettement plus élevés qu'en zone A, de l'ordre de 40 %. La troisième espèce est *P. semisulcatus*, moins bien représentée qu'en zone A, avec une part de l'ordre de 10 %. Deux autres espèces sont présentes, il s'agit de *Penaeus monodon* (crevette géante tigrée) et de *Marsupenaeus japonicus* (crevette impériale). La première est une espèce estuarienne, alors que la seconde est une espèce relativement profonde, recherchée par l'armement principal qui a des débouchés au Japon où cette crevette est très appréciée. Les parts de ces deux crevettes à forte valeur marchande sont faibles : de 1,6 à 3,7 % pour *P. monodon*, de 0,8 à 1,7 % pour *M. japonicus*. Comme en zone A, les prises de la principale espèce diminuent de manière importante en 2005 (la baisse est déjà apparente en 2004) et atteignent moins de 30 % du total capturé. Ici aussi, le recrutement pour la pêche industrielle en mer serait réduit du fait d'une probable surpêche des juvéniles par la pêche traditionnelle, également très active en estuaires dans cette zone.

En zone C, les pourcentages en *F. indicus* sont élevés (entre 60 et 70 %), ils sont un peu plus importants qu'en zone A et nettement plus qu'en zone B. Ils connaissent une légère diminution sur la période. La deuxième espèce, *M. monoceros*, montre des pourcentages de capture remarquablement stables, un peu supérieurs à 20 %, comparables à ceux observés en zone A et nette-







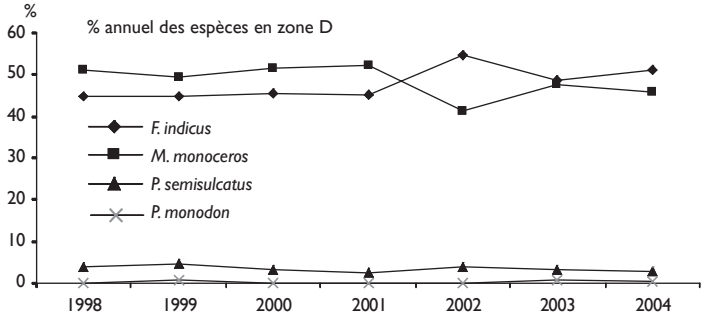


Fig. 39

Évolutions interannuelles dans les quatre zones d'aménagement des pourcentages des principales espèces dans les prises des crevettiers.

ment plus faibles qu'en zone B. La troisième espèce, *P. semisulcatus*, présente une évolution des pourcentages assez proche de celle observée en zone B, avec une tendance assez nette à la hausse, l'espèce dépassant 10 % des captures à partir de 2002. L'espèce estuarienne, *P. monodon*, est toujours peu représentée, avec cependant des pourcentages supérieurs à ceux obtenus en zones A et B.

En zone D, quatre espèces sont capturées et deux d'entre elles, *F. indicus* et *M. monoceros*, sont largement dominantes et d'une même importance relative, leur ensemble représente 95 % et plus des captures annuelles. Les espèces *P. semisulcatus,* surtout, mais aussi *P. monodon*, sont moins représentées dans les captures que dans d'autres zones.

Évolutions des rendements

Rendement annuel par bateau

On souligne souvent que la pêcherie crevettière malgache a des rendements très élevés par rapport à d'autres pêcheries (Gabon ou Guyane par exemple).

L'évolution des captures moyennes annuelles par bateau (fig. 40) montre que sur la côte ouest, mis à part les valeurs très élevées des trois premières années, le rendement annuel par bateau oscille entre 100 et 160 tonnes de crevettes par an. Les valeurs sont assez stables entre 1970 (153 t) et 2002 (132 t), il y a une nette décroissance ensuite. Sur la côte est la moyenne est proche de 50 tonnes annuelles, avec des années où les valeurs avoisinent les 90 tonnes de crevettes par an.

La stabilité des captures annuelles par bateau sur une aussi longue période (1970-2002) sur la côte ouest ne reflète certainement pas les variations de l'abondance. En effet, on a vu que la puissance motrice moyenne d'un crevettier avait augmenté, et donc sa puissance de pêche ; les temps de pêche se sont allongés jusqu'à une date récente avec le développement de la pêche de nuit. De plus, les tailles et les gréements des chaluts (chalut simple, puis utilisation de tangons avec des chaluts twin, puis double-twin) ont été modifiés pour une plus grande efficacité. Il y a aussi eu des progrès technologiques (instruments de navigation et de détection,…) difficiles à quantifier mais permettant de pallier au moins en partie une diminution d'abondance des ressources.

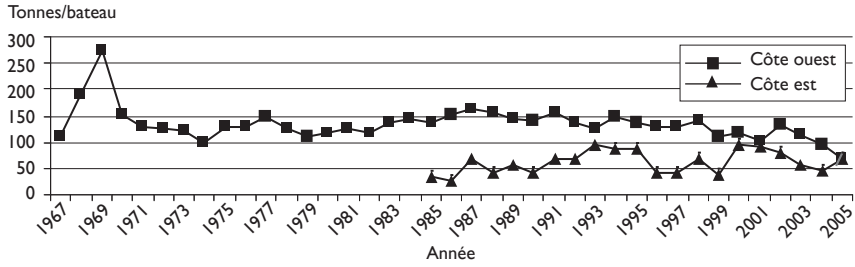


Fig. 40
Évolutions des captures moyennes annuelles de crevettes par bateau industriel et par façade maritime.

Une étude récente (RAFALIMANANA, 2003) a permis de réduire les effets masquants de certains des facteurs évoqués ci-dessus sur la diminution de l'abondance des crevettes sur la côte ouest. Pour ce faire, il a utilisé trois bases de données :

– les « données historiques CNRO-PNRC » de 1967 à 1987, constituées des fiches de pêche journalières avec les quantités capturées, la durée des traits de chalut et leur zone ;

– les données « quinzaine CNRO » de 1978 à 1990, comportant les captures et efforts agrégés par quinzaine, obtenues à partir des fiches synthétiques élaborées par le Centre national de recherches océanographiques ;

– les données Banacrem de 1995 à 2002, déjà présentées.

L'unité d'effort adoptée est l'heure de pêche et des informations sur le type et la puissance des crevettiers ont été associées aux données de prise et d'effort. Il s'agit de trois types de navires : glacier, semi-congélateur et congélateur, ainsi que de quatre classes de puissance motrice (150, 300, 400 et 500 CV).

Les indices d'abondance ont été estimés à partir des trois bases de données par modélisation linéaire et analyse de variance permettant de séparer les effets années des effets type • puissance et mois • zone. Les résultats pour l'ensemble de la côte ouest sont représentés sur la figure 41. Les indices d'abondance en crevettes montrent une nette diminution sur la période, passant de 50-70 kg par heure de pêche standardisée à moins de 30 kg/h. Un modèle global appliqué par l'auteur à ces résultats aboutit à l'estimation d'une situation de pleine exploitation, ceci sans tenir compte des progrès technologiques difficilement quantifiables évoqués plus haut qui conduiraient à un état de surexploitation. Les mêmes analyses faites par zone aboutissent à des états de surexploitation pour les zones A et B et de pleine exploitation pour la zone C.

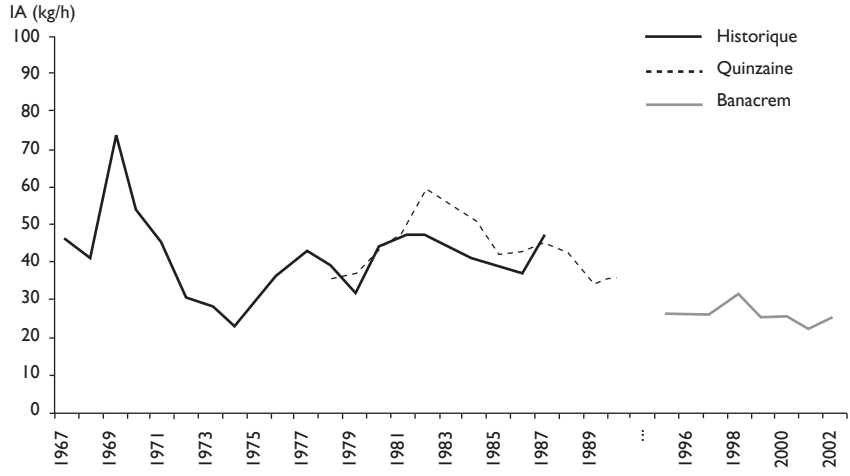


Fig. 41

Évolutions annuelles des Indices d'abondance en kg par heure de chalutage suivant trois séries de données pour toutes les espèces de crevettes et sur l'ensemble de la côte ouest.

Nous ne nous attarderons pas sur ces résultats, puisque des analyses sur les deux principales espèces de crevettes sont faites dans le présent ouvrage (Caverivière et Razafindrakoto) avec une méthodologie théoriquement bien plus puissante que celle d'un modèle global appliqué à des efforts annuels standardisés, et qui couvrent en outre des années plus récentes.

Rendements moyens par heure de pêche

Il s'agit des rendements journaliers, calculés en moyenne mensuelle toutes espèces confondues et par zone de pêche (fig. 42) et élaborés à partir de la base statistique Banacrem.

Les évolutions sur l'année des rendements journaliers montrent la même tendance pour les trois zones de la côte ouest (zones A, B et C) : un rendement élevé en début de campagne suivi d'une diminution très rapide, avec parfois une légère remontée au mois de septembre. Les rendements en début de saison de pêche sont cependant plus élevés en zone A. Ils sont aussi plus variables dans cette première zone, où l'on observe nettement les faibles abondances relevées en 1999 et 2005.

La côte est (zone D) montre des rendements beaucoup plus faibles, avec des décroissances moins fortes entre les périodes de début et de fin d'année et une variabilité interannuelle importante. La présence d'un nombre important de crevettiers expliquerait les faibles valeurs obtenues en 1996 et surtout 1997.

Toutes espèces confondues, la pêche du jour donne un rendement plus élevé que la pêche de nuit pendant la haute saison. La différence est moins nette pendant la basse saison et peut être inversée.

Évolution de la pêche artisanale

Historique

On peut identifier deux groupes de sociétés artisanales :

– les sociétés qui font à la fois le chalutage et la collecte sont généralement sous le contrôle d'armements ou font partie d'un groupe industriel. Leurs flottes sont gérées comme celles de la pêche industrielle, elles possèdent des infrastructures à terre pour traiter leurs produits ;

– les sociétés appartenant à des individus avec des moyens plus modestes et souvent moins structurés.

Le Service de la Pêche maritime, sous l'impulsion de Rakotovahiny (1971), mit sur pied en 1973 l'opération « catchers » destinée à exploiter les petits fonds inaccessibles aux chalutiers industriels et en particulier, la zone intertidale où opèrent les *valakira* (barrages côtiers) de la pêche traditionnelle. Cette opération « catchers » fut un échec (Ralison, 1978), seulement une

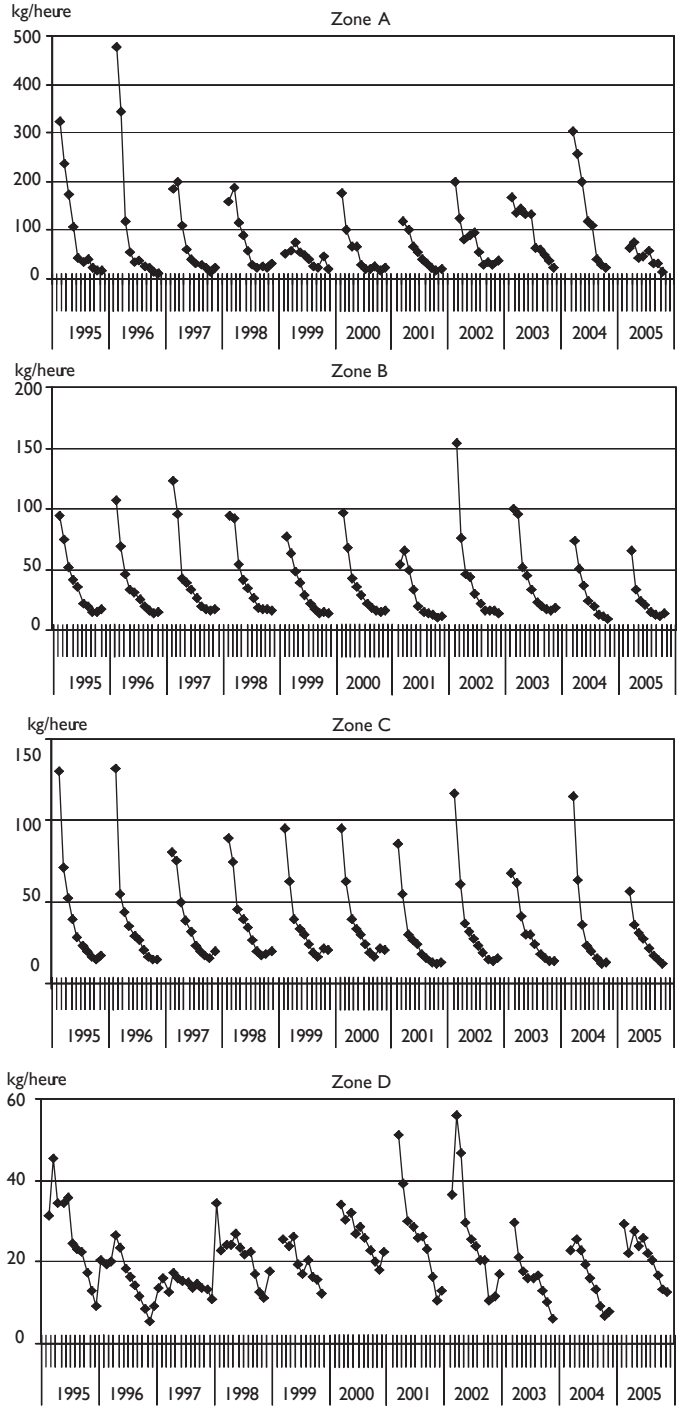


Fig. 42
Rendements moyens journaliers par heure de pêche et par zone, toutes espèces de crevettes confondues.

vingtaine d'embarcations ayant été armées. Les premiers intéressés par cette opportunité ne furent autres que les sociétés industrielles, qui espéraient ainsi faire disparaître les *valakira*. Les conflits avec les exploitants des *valakira* obligèrent les catchers à opérer sur les fonds de plus de 6 mètres pour lesquels ils n'étaient pas techniquement adaptés.

Outre ces armements industriels, quelques exploitants privés particuliers ont engagé des capitaux dans ce type d'activité. Certaines de leurs embarcations ont été construites localement en bois tandis que d'autres, en fer, ont été acquises auprès des sociétés industrielles. Ceci a entraîné une dépendance vis-à-vis de la pêcherie industrielle aussi bien en amont (glaces et fournitures de pêche) qu'en aval (écoulement des produits). Beaucoup de ces mini-chalutiers ont été reconvertis dans le transport.

Aujourd'hui, l'essentiel des unités de pêche artisanale est contrôlé par des armements industriels et opère essentiellement dans les zones B et C. C'est dans cette dernière zone que la pêche artisanale est la plus active. Les unités artisanales sont basées dans trois ports (Nosy Bé, Mahajanga et Morondava). Les caractéristiques des navires varient selon les armements qui ont des bateaux appartenant à une même série.

Technologie de la pêche artisanale

Bateaux, engin de pêche et mise en œuvre

L'embarcation initialement préconisée (Ralison, 1978) après des études technologiques était une unité de 8,0 à 8,5 mètres de longueur hors-tout dotée d'un moteur diesel marin de 25 CV.

Dans la réalité, on a vu le développement d'embarcations de 7 à 8 mètres dont certaines, en bois, ne différaient en rien des vedettes commerciales locales, tandis que d'autres, en fer, disposaient d'une potence de chalut à l'arrière (celles détenues par les armements industriels notamment). L'intérieur du navire était composé d'un seul compartiment aménagé pour la fixation de glacières et le rangement de matériels de pêche. Aucun appareil accessoire (compas, sondeur,…) ne l'équipait. L'autonomie d'une telle embarcation peut atteindre quatre jours avec un équipage de quatre marins.

Le nombre de bateaux artisanaux (fig. 43) a augmenté jusqu'en 1993 (30 unités), puis a été réduit de 11 unités l'année suivante pour reprendre jusqu'en 1997 et atteindre 47 unités. Depuis 1999, le nombre d'unités artisanales a varié entre 20 et 30.

Une enquête menée en 1998 par le Programme sectoriel Pêche, portant sur la caractérisation de l'effort de pêche crevettier avait permis de relever les caractéristiques techniques des chalutiers artisanaux. La puissance motrice du moteur (in bord) variait entre 25 et 50 CV selon le type d'embarcation et le gréement de pêche utilisés. Les bateaux métalliques (coque en acier ou en fer) sont plus grands (entre 9 et 16 tonneaux pour 11 m de longueur) que les bateaux en bois ou en fibre de verre, (8-10 m et 7-8 tonneaux). Les tirants d'eau varient entre 0,7 et 1,5 m.

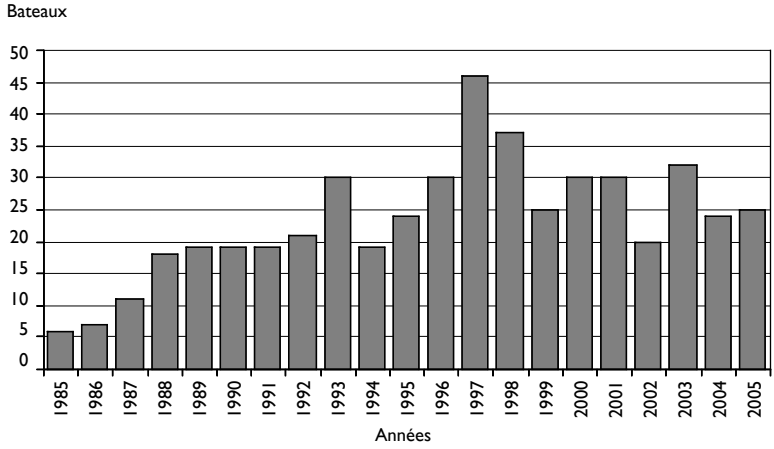


Fig. 43
Évolution du nombre de bateaux artisanaux recensés.

Les unités artisanales tractaient à l'origine un chalut unique (chalutage arrière) à panneaux. La longueur des cordes de dos varie de 6 à 7 mètres, tandis que les bourrelets mesurent environ 8,5 mètres. Cet engin de pêche, appelé « chalut-ballon » est caractérisé par la hauteur importante des parois latérales, et par conséquent de son ouverture verticale. Lors des traits, il est attaché directement aux taquets de l'embarcation qui ne dispose d'aucun système de treuil (à l'exception des unités les plus récentes).

L'enquête menée en 1998 montre que la longueur de la corde de dos d'un chalut varie entre 10 et 11 mètres.

Les plus gros chalutiers artisanaux tractent deux chaluts et utilisent le gréement floridien, ils sont équipés de tangons latéraux et de treuils hydrauliques. Ceux qui pratiquent le chalutage arrière travaillent avec un seul chalut et possèdent un portique arrière avec un palan pour remonter le chalut, ou bien encore le remontent à la main.

Malgré leurs équipements minimaux, les chalutiers artisans peuvent pêcher loin de leurs bases. La prospection est réalisée à partir d'observations empiriques telles que mouvements d'oiseaux et bouillonnements de la surface de la mer, dus à la présence des bancs de crevettes et de poissons. Les bateaux ayant des coques métalliques utilisent des appareils électroniques de détection. Les bateaux de certains armements travaillent en flottille, un bateau équipé d'un sondeur fait la détection pour les autres ; ou travaillent à proximité des chalutiers industriels en pêche.

La pêche proprement dite peut se dérouler aussi bien le jour que la nuit. Dans certaines zones les pêcheurs traditionnels interdisent la pêche de nuit aux chalutiers artisanaux. Bien que le chalutage soit possible jusqu'à des profondeurs de 15 m, il n'est techniquement souhaitable qu'entre 1,5 à 5 m, étant donné que sur certains bateaux toutes les opérations (filage et relevage du chalut) se réalisent à la main. Ceci correspond aussi aux zones d'abondance maximale de *F. indicus*, espèce cible de ces unités.

Chalut de pêche industrielle.
© A. de Rodellec/PNRC

Chalutier de pêche industrielle au mouillage au large de Mahajanga.
© A. de Rodellec/PNRC

L'estimation préalable des captures par trait, qui conditionne la durée de ce dernier, n'engage aucune technique précise. Les volumes des prises précédentes ou celles des bateaux travaillant aux alentours sont pris en considération.

Après mise à bord du cul de chalut, le triage et l'étêtage s'effectuent dans des bacs. Les crevettes ainsi étêtées sont versées en vrac dans les glacières, tandis que les poissons peuvent être rejetés ou partagés par les membres de l'équipage.

Effort de pêche

Avant la mise en place de la base Banacrem, les seules informations disponibles concernant les efforts de pêche étaient les nombres de bateaux (fig. 43). Par la suite, certaines informations supplémentaires utilisables comme indicateurs de l'effort de pêche ont été collectées auprès des armements (nombre de jours de mer, nombre de trait par jour, heures de pêche, durée moyenne d'un trait) pour être archivées dans Banacrem. Dans cette base, ces informations sont disponibles à partir de 1996 avec une exception pour l'année 1997. Les indicateurs d'effort extraits de la base Banacrem sont les nombres de jours de pêche et les heures de pêche (fig. 44).

Les indicateurs concernant le nombre de jours et les heures de pêche montrent une tendance à la hausse depuis 1998, pour atteindre leur maximum en 2003, respectivement 5 609 jours et 70 057 heures, puis diminuent pour fluctuer autour de 4 400 jours et 53 900 heures.

Depuis 2004, la pêche artisanale est arrêtée en baie d'Ambaro ; des licences ont bien été attribuées mais n'ont pas été utilisées. Les bateaux travaillent seulement en zone B et C et appartiennent à des armements qui sont basés à Mahajanga, Morondava et Maintirano.

Évolution de la production

F. indicus représente plus de 90 % des captures de la pêche artisanale, quelle que soit la zone de pêche de la côte ouest.

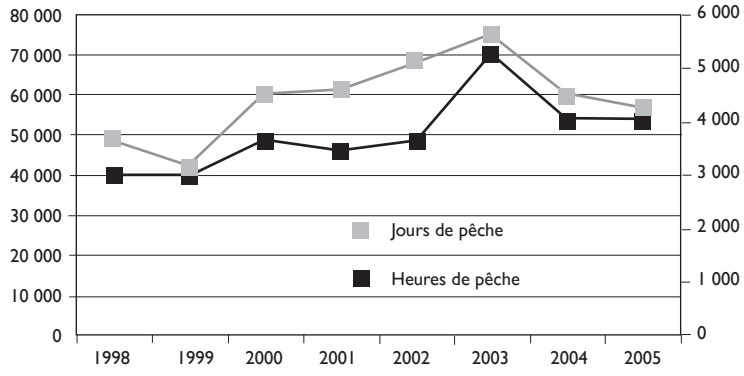


Fig. 44
Évolution des nombres de jours et d'heures de pêche des chalutiers artisanaux.

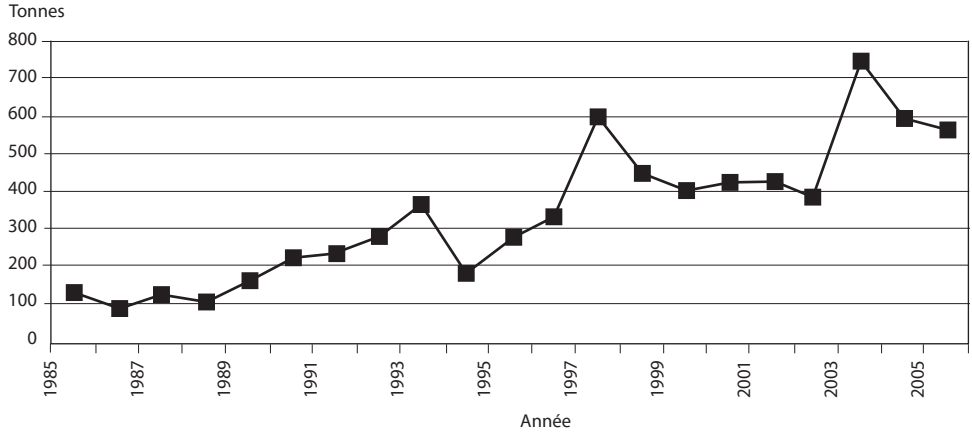


Fig. 45
Évolution des captures de crevettes par la pêche artisanale.

Les captures débarquées sur la période 1985-2006 montrent une tendance à l'augmentation, avec des années particulièrement fastes : 1993, 1997 et 2003 avec un pic à 750 tonnes (fig. 45).

Elles atteignent désormais 600 tonnes. Cette augmentation a été accompagnée d'une croissance des captures dans la zone C (600 t en 2003 contre 227 en 1996) alors que la pêche artisanale est maintenant quasiment arrêtée en zone A. La zone B a connu également une croissance significative des captures (plus de 120 t en 2003-2004 contre 9 t en 1996) avec le développement de la pêche en baie de Narindra, mais une chute brutale aurait eu lieu en 2005 (21 t).

Les prises annuelles de crevettes par bateau (fig. 46) affichent une tendance croissante depuis 1988.

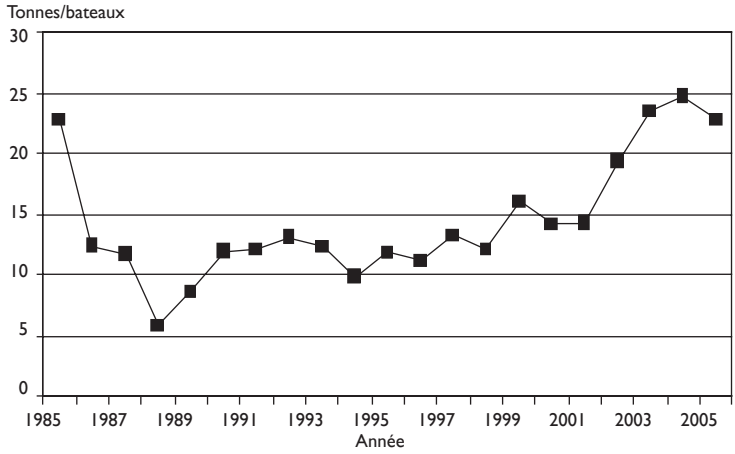


Fig. 46
Évolution des prises annuelles par bateau.

De 1985 à 1988, les captures annuelles par embarcation diminuent pour passer de 22 tonnes à 6 tonnes ; de 1989 à 2001, elles varient entre 9 et 16 tonnes par an avec une moyenne annuelle de 12 t. À partir de 2002, elles passent de 19 à 22 tonnes avec un maximum de 25 tonnes en 2004. Cette augmentation ne serait pas due à une hausse réelle des rendements, les prises horaires moyennes calculées à partir des fichiers de pêche artisanale de la base Banacrem étant plutôt stables entre 2000 et 2005, en particulier pour la zone C qui représente l'essentiel de la pêche. Il y aurait une plus grande activité de pêche des navires comme le montre la figure 44, qui serait probablement due à une diminution du temps au port entre les marées et à un allongement de celles-ci.

Conclusion

En quelques décennies l'exploitation industrielle et artisanale des crevettes côtières a connu une évolution rapide et de profondes transformations. La pêche industrielle est désormais confrontée à une situation caractéristique des pêcheries matures : baisse des captures et rendements qui se traduisent par une érosion des résultats économiques. La réduction de l'effort de pêche, constatée au cours des années récentes, est plus la conséquence des difficultés financières des armements que d'une stratégie collective anticipant les difficultés et visant à garantir la viabilité de la pêche industrielle face aux incertitudes de différents ordres qui pèsent sur elle. Le décision de gel de l'effort de pêche, prise au début des années 2000, certes nécessaire, ne s'est pas avérée suffisante. Sans doute était-il difficile de prévoir les multiples facteurs qui ont pesé sur les résultats de la pêche industrielle, mais certains relèvent cependant de tendances lourdes et non de la simple conjoncture : croissance de l'effort de pêche traditionnel, tendances à la baisse du prix des crevettes et à la hausse de celui du carburant. Si les initiatives récentes concernant la sélectivité des chaluts et la réduction de leur impact environnemental peuvent aider à l'écolabellisation de la pêcherie et donc, on l'espère, à une signalisation positive des crevettes de pêche malgaches sur le marché international, ces mesures ne semblent pas suffisantes à elles seules pour rétablir les rendements et donc la profitabilité du secteur industriel. La question d'une régulation plus efficace de la capacité de pêche industrielle, qui est abordée dans un autre chapitre de cet ouvrage, reste entière.

Quant à la pêche artisanale, bien que d'importance moindre, elle fait partie du système de pêche crevettière à Madagascar. Elle regroupe plusieurs acteurs dont les activités sont complémentaires. Au cours des années récentes, ses résultats ont montré que ce type d'exploitation pouvait être performant. On peut cependant s'interroger sur le rôle qu'aurait pu jouer ce segment de pêche

en permettant à des opérateurs économiques nationaux d'investir dans le secteur crevettier, ce qui paraît à ce jour très difficile dans le secteur industriel. La prise de contrôle croissante des armements industriels sur le secteur artisanal a conduit à une autre configuration. Si la distinction entre ces deux secteurs reste effective d'un point de vue technique, elle tend à s'estomper d'un point de vue économique.

Principaux engins de la pêche traditionnelle et leur sélectivité sur la côte nord-ouest de Madagascar (baie d'Ambaro)

Antoine de Rodellec du Porzic,
Alain Caverivière

© C. Chaboud/IRD

Introduction

La baie d'Ambaro, zone située au nord-ouest de Madagascar, est une baie très productive en crevettes pénéides. Les crevettes y sont exploitées à la fois par la pêche industrielle et la pêche traditionnelle, les principaux engins de pêche de cette dernière étant placés, visités ou mis en œuvre, à partir d'embarcations qui sont des pirogues propulsées à l'aide de pagaies ou de voiles. Dans cette baie se trouve la concentration la plus importante de villages de pêcheurs traditionnels à la crevette, parmi lesquels Ankazomborona et Ambavanankarana (une cartographie détaillée de la baie est donnée au chapitre 7). Si l'utilisation du *valakira* pour capturer des crevettes existe déjà depuis fort longtemps, d'autres engins sont apparus pour satisfaire une demande croissante, successivement les *kaokobe* (sennes tournantes) et les *periky* (filets maillants), décrits par Domalain et Rasoanandrasana (2001 a). Ces engins ont permis aux pêcheurs d'exploiter des zones plus profondes, souvent situées au-delà des estuaires. Des chaluts à l'étalage de petite taille ont aussi été utilisés dans l'ouest de la baie, vers Ambato/Ankigny. Des chaluts à l'étalage de dimen-

sions beaucoup plus importantes, baptisés *pôtô*, ont fait leur apparition dans l'estuaire d'Ankazomborona (CHABOUD *et al.,* 2002 b ; DE RODELLEC, 2002, 2003 c).

Dans le présent article et dans un premier temps, les principaux engins de pêche à la crevette employés par les pêcheurs traditionnels seront décrits, en faisant des emprunts à DOMALAIN *et al.,* (2000 b) ; CHABOUD *et al.,* (2002 b). Nous verrons que ces engins capturent des crevettes *Fenneropenaeus indicus* – de loin l'espèce dominante dans cette pêcherie – de tailles différentes suivant les engins utilisés et la maille des filets. Ceci conduira à une étude de la sélectivité des différents filets utilisés vis-à-vis de l'espèce principale, soit le pourcentage de rétention de l'engin pour les différentes tailles des *F. indicus*, ainsi qu'à l'évaluation des effets potentiels de modifications des mailles des filets. Enfin, on comparera les courbes de sélectivité avec les structures de taille des crevettes régulièrement échantillonnées par les enquêteurs dans les principaux sites de production.

Les engins de la pêche traditionnelle utilisés dans la baie d'Ambaro

Les pirogues

La pêche traditionnelle crevettière n'utilise que des pirogues en bois de type monoxyle creusées dans un tronc d'arbre et sans autre moyen de propulsion que la pagaie et la voile. Leur durée de vie est de 2 à 6 ans suivant la qualité du bois utilisé.

Les pirogues les plus simples sont de taille réduite, sans bordés, sans balancier et sans voile, leur longueur est de 3 à 4 mètres et leur capacité de charge n'excède pas 100 kg. Du fait de leur mauvaise stabilité, elles sont utilisées principalement dans les lieux où la navigation est peu risquée (estuaires et chenaux). Elles servent aux déplacements vers les lieux de pêche quand celle-ci s'effectue à pied et parfois à la visite des barrages fixes de type *valakira*.

Les pirogues à balancier, lequel accroît la stabilité, sont plus grandes et peuvent comporter des bordés qui augmentent leur hauteur ; ils sont généralisés à partir d'une certaine taille. Les pirogues sont propulsées par une voile quand le vent le permet ; cette voile est généralement carrée, elle peut aussi être latine et cela d'autant plus que la taille de la pirogue est importante (fig. 47). Ces voiles n'autorisent un déplacement aisé que par vent arrière ou de travers et il est difficile de remonter au vent, la voile latine permet cependant une plus grande latitude de manœuvre que la voile carrée. Dans la baie d'Ambaro, la brise de terre facilite le plus souvent la sortie des pirogues le matin et la brise de mer permet le retour l'après-midi. Une pagaie, tenue en arrière de la

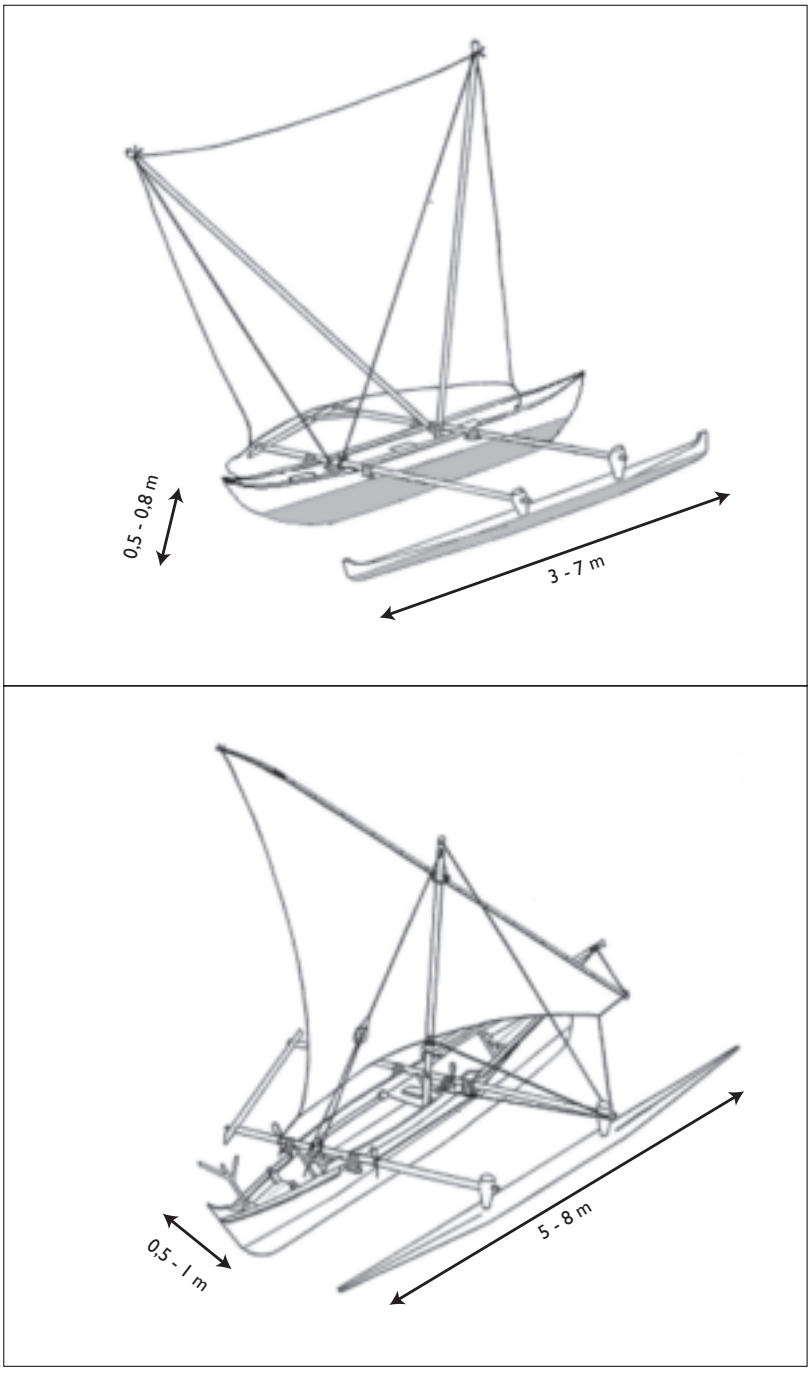


Fig. 47
Pirogues à balancier, à voile carrée utilisée en baie d'Ambaro et à voile latine utilisée en baie de Narindra.

pirogue sert de gouvernail. Quand le vent est fort, un autre membre de l'équipage se place en dehors de la coque, à l'opposé de la pièce principale du balancier et à la jonction de deux des trois bois qui participent à sa fixation, afin de réduire l'inclinaison de la pirogue due à la force que le vent exerce sur la voile.

Les engins de capture

La plupart des engins de captures utilisés par la pêche traditionnelle crevettière et dont l'importance économique est notable sont des engins passifs, c'est-à-dire qu'ils sont maintenus sur le fond, soit par des pieux de bois, soit par des plombs (le maintien est alors relatif) comme dans le cas des filets maillants. Ces engins profitent des mauvaises capacités natatoires des crevettes qui se laissent entraîner, volontairement ou non par les courants ; ce type de pêche profite aussi de la turbidité des eaux des zones côtières proches des estuaires, réduisant les possibilités d'évitement des engins par les crevettes. Les courants, qui peuvent être importants, sont surtout dus à la marée dont la force dépend essentiellement du cycle lunaire (périodes de mortes et vives eaux), ils sont les plus forts à marée descendante, car au mouvement des eaux dû à la marée s'ajoute le débit des fleuves.

Nous ne parlerons que brièvement des engins de capture de petite taille mis en œuvre par des pêcheurs à pied et dont les captures n'ont qu'une importance économique modeste. Ces engins ont cependant un effet néfaste pour une exploitation optimale en termes biologique et économique global de la crevette *F. indicus*, en raison des petites tailles capturées.

Les engins mis en œuvre par des pêcheurs à pied

Le filet sihitra

Un de ces engins, utilisé de longue date, est le filet *sihitra*, également appelé filet moustiquaire. Il est utilisé en bordure de rivage dans les zones de petits fonds et est particulièrement destiné à la capture des *tsivaky*, mélange de petites crevettes sergestidae d'eau saumâtre (*Acetes erythraeus*) et de crevettes pénéides juvéniles. Les captures sont essentiellement destinées à l'autoconsommation ou au séchage puis à la commercialisation locale sur le marché intérieur. Ce petit filet en forme de poche et à maille très fine est confectionné avec du tulle de moustiquaire. Il a une longueur de 3 à 5 m, pour une largeur de 2 à 2,5 m, l'ouverture verticale peut atteindre 1,5 m mais est généralement plus faible. Dans certains cas, en particulier pour les plus grands, l'ouverture du *sihitra* est assurée par deux bâtons. Il est généralement tiré par des femmes ou des enfants, à proximité des villages, dans le sens opposé au courant à marée montante ou descendante, le bord inférieur étant maintenu au ras du fond et le bord supérieur au voisinage de la surface. Les sorties sont moins fréquentes en périodes de mortes eaux.

Le filet kopiko

Le filet *kopiko* reprend le principe du chalut dans sa forme et sa technique, mais avec des dimensions réduites. Il est mis en œuvre comme le filet *sihitra*,

mais par des hommes du fait de la plus grande taille de l'engin. Sa longueur est de 8 à 11 m et l'ouverture horizontale entre les deux bâtons qui permettent son maniement est de 3 m. La mise à l'eau du filet s'effectue lorsque le pêcheur pressent la présence de crevettes, généralement signalée par des frémissements à la surface de l'eau. Le pêcheur s'en assure en donnant des coups de pagaie dans l'eau afin d'effrayer les crevettes, leurs mouvements brusques confirmeront alors leur présence. Cet engin de pêche utilisé par des pêcheurs à pied était déjà assez rare en baie d'Ambaro lors du travail de description et de recensement mené à la fin des années 1990 (Domalain *et al.,* 2000 b). Il était d'utilisation courante plus au sud, entre la baie de la Mahajamba et le cap St-André. Il a vraisemblablement donné naissance aux engins fixes appelés *pôtô* qui n'existaient pas encore et qui sont maintenant importants en baie d'Ambaro, car leur montage est le même que les *pôtô* « classiques » utilisés dans le sud de la baie d'Ambaro (cf. leur description p. 126), à part des dimensions plus réduites et un maillage de la poche terminale plus faible, 4 à 5 mm de côté au lieu de 10 à 12. D'ailleurs, Domalain *et al.* (2000 b) indiquaient déjà que certains *kopiko* pouvaient être munis de flotteurs sur la ralingue supérieure et que plusieurs filets pouvaient être mis bout à bout pour former des barrages, à la manière des *pôtô*.

Les vonosaha

Les *vonosaha* sont des barrages d'affluent comme les désignent leur appellation dialectale. Cet engin de pêche consiste à capturer les crevettes dans les diverticules des estuaires à l'aide d'un barrage fait en lattis de raphia ayant comme écartement 1 à 2 mm suivant le cordage utilisé. Parfois des moustiquaires sont utilisées en appoint, mais le cas se présente rarement car lorsque le *vonosaha* est bien construit la maille est aussi petite que celle d'une moustiquaire. La longueur d'une nappe de barrage de *vonosaha* est d'environ 4 m. Le nombre de nappes pour faire un barrage varie de 1 à 6 suivant la largeur de l'affluent. Ils sont mis en place du début de la période des marées de vives eaux au début des marées de mortes eaux, quelques heures avant la marée basse pendant laquelle les crevettes sont récoltées. Ces crevettes seraient constituées à 90 % de petits juvéniles de *F. indicus* d'un poids moyen de 1,2 g d'après une enquête officieuse réalisée en mai-juin 2006. Les *vonosaha* sont utilisés une quinzaine de jours par mois en saison sèche, de mai à novembre, car leur constitution ne leur permet pas de résister à la force des crues, et sont situés principalement dans la partie nord de la baie d'Ambaro. Les crevettes capturées par les *vonosaha* ont la même destination que celles prises par les filets *sihitra* : autoconsommation et commercialisation locale. L'existence des *vonosaha* est connue depuis longtemps, mais ils n'apparaissent pas dans les enquêtes et recensements car ils sont généralement situés dans des lieux très difficiles d'accès et étaient considérés comme peu nombreux jusqu'à une période récente. Leur nombre aurait considérablement augmenté, jusqu'à 500-800 en baie d'Ambaro d'après l'enquête de mai-juin 2006, et leur mise en œuvre, qui était auparavant le fait de vieux pêcheurs, est de plus en plus souvent réalisée par des hommes dans la force de l'âge.

Les éperviers

Des éperviers sont aussi utilisés depuis peu, quoique de manière assez réduite, pour capturer de grosses crevettes *F. indicus* et *P. monodon* (crevette géante tigrée) décelées par leurs mouvements dans des eaux peu profondes. La faiblesse des prises journalières est compensée par le prix particulièrement élevé des grosses crevettes.

Les valakira

Les *valakira* sont des pièges fixes utilisés le plus souvent en sortie d'estuaire, dans des zones découvrant généralement par marées basses de vives eaux. Le terme « *valakira* » provient de la juxtaposition des termes « *vala* » (barrage, enclos) et « *kira* » qui désigne le raphia utilisé pour la construction des lattis. C'est un barrage côtier formé par l'assemblage de trois parties fixées par des pieux en palétuvier enfoncés dans le sédiment, soit la chambre de capture et les deux ailes. Celles-ci délimitent un V ouvert de 30 à 80°, l'angle étant d'autant plus fermé que le courant est fort dans la zone d'implantation. Chaque aile ou bras mesure entre 150 et 300 m, pour une hauteur de 1 à 1,5 m. Les pieux séparant chaque unité de lattis sont espacés de 12 mètres et l'espacement permettant le passage de l'eau entre chaque fibre de raphia composant un lattis a été estimé à 7,5 mm par Le Reste (1978). Le V des bras débouchant sur la chambre de capture est orienté vers le rivage pour capter les apports de la marée descendante. Cet engin est uniquement utilisé pendant les périodes de vives eaux qui se produisent deux fois par mois, quand le courant est suffisant pour pousser les crevettes dans le piège, soit sur une durée mensuelle d'environ 12 à 16 jours. En mortes eaux ils sont souvent démontés et ils le sont toujours pendant la saison des pluies, en raison du colmatage et par crainte de leur destruction par des débris lors des crues. Cet engin serait moins utilisé qu'auparavant, car il demande beaucoup de travail de mise en œuvre et une quantité de raphia importante, souvent difficile à trouver dans certaines zones.

La pêche au *valakira* est le plus souvent pratiquée par des pêcheurs disposant d'un droit foncier traditionnel sur la zone d'implantation de l'engin. En fonction de l'espace disponible et de l'étendue de la zone de marnage, plusieurs lignes de *valakira* peuvent être disposées. L'engin est peu sélectif et capture de nombreux juvéniles de crevettes et d'autres espèces. Les caractéristiques principales des *valakira*, comme celles des engins de capture qui vont suivre, sont indiquées au tableau 13.

Les pôtô

Les *pôtô*, du terme français poteau, sont des engins qui fonctionnent sur le même principe que les *valakira*. Ce sont des engins passifs, sortes de chaluts à l'étalage, qui travaillent à marée descendante de vives eaux et sont démontés pendant les mortes eaux ou après chaque jour d'emploi selon leur type. Les *pôtô* n'existaient pas sur le littoral malgache jusqu'à la fin des années 1990 d'après les enquêtes réalisées (Domalain *et al.,* 2000 a, b). À Ankazomborona, les engins de 9 m de long (fig. 48) ont une ouverture horizontale de 5 m et une

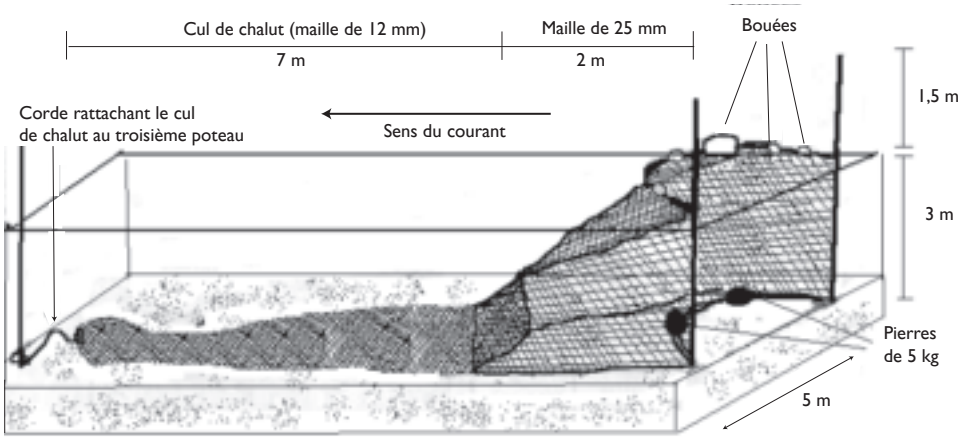


Fig. 48
Schéma de pôtô *utilisé à Ankazomborona.*

ouverture verticale d'environ 3 m, la partie avant du filet est d'un maillage plus important que la partie finale. Ils sont disposés en série de 8 ou 9 sur trois lignes différentes, barrant pratiquement l'estuaire à marée basse (RODELLEC, 2002). Une ouverture est disposée sur la poche du chalut, et le pêcheur peut ainsi vider plusieurs fois son filet lors d'une même marée. Les lieux d'implantation des *pôtô* peuvent être proches de ceux des *valakira* ; à la différence de ces derniers ils ne semblent cependant pas faire l'objet d'une appropriation foncière.

À Ankigny, les engins, beaucoup plus petits, sont montés et démontés chaque journée (RODELLEC, 2003 c). Leur ouverture horizontale est de 2,5 m et l'ouverture verticale de 1,3-1,5 m. Le filet, d'un maillage uniforme, a une longueur de 3 m. Aucune ouverture n'étant faite dans la poche des filets, les pêcheurs doivent les démonter pour récupérer les captures. Les engins sont disposés à la sortie de l'estuaire en lignes de 4 à plus de 10. Leur position change cependant suivant la saison. Le maillage de la poche de ces deux variantes de filets est de 10 ou 12 mm, plus rarement 14 ou 15 mm de côté[12].

Depuis 2006, et très probablement 2005, selon une note d'information du groupe Unima qui contrôle les Pêcheries de Nosy Bé (pêche industrielle), une enquête a montré que beaucoup de *pôtô* situés devant Ankazomborona, d'un effectif estimé à 480, ont une poche faite de tulle moustiquaire dont le maillage mesure 1,5 mm de côté. Ils capturent essentiellement des *tsivaky* mais aussi des petits juvéniles de crevettes pénéides (24 %) des espèces *F. indicus* et *M. monoceros* (poids moyen individuel de 2,1 g). Ces *pôtô* à poche moustiquaire sont mis en place 4 jours en moyenne à chaque période de marées de vives eaux pendant la saison d'abondance des *tsivaky*, soit potentiellement de janvier à avril-mai (si la fermeture de la pêche à la crevette n'est pas respectée).

12. Toutes les mesures de mailles figurant dans ce document sont des mailles de côté exprimées en mm, c'est ce maillage qui est utilisé par les pêcheurs.

Les kaokobe

Les *kaokobe* sont des sortes de sennes tournantes (sans coulisse) employées par quatre pêcheurs pour encercler des bancs de crevettes préalablement repérés à vue. Ils ont été introduits vers 1974 (Domalain *et al.,* 2000 b, citant Savard, 1996) sur le littoral nord-ouest de Madagascar pour pêcher dans des zones peu profondes à la sortie des estuaires, ou plus au large jusqu'à une profondeur de 4 à 5 m. Ils sont réalisés essentiellement à partir de matériel recyclé des thoniers senneurs débarquant ou relâchant au port d'Antsiranana. Ces engins avaient encore récemment une longueur de 50 à 100 m, la maille de côté variant entre 10, 12 (le plus courant) et 15 mm (plus rare), pour une chute de 6 à 10 m. La mise en œuvre du *kaokobe* est la suivante : la pirogue étant à l'arrêt, un premier pêcheur se jette à l'eau et maintient le filet en surface. La pirogue décrit alors un arc de cercle, afin que le courant de marée provoque le gonflement de la poche, pendant que le pêcheur « bouée » pèse sur la ralingue des plombs avec le pied et maintient le filet tendu à la verticale. Lorsque les deux extrémités de la senne sont réunies, les plombs sont remontés à bord en premier pour former une poche avec le filet, qui sera réduite petit à petit jusqu'à la capture des crevettes.

Le nombre des nappes utilisées a augmenté au fil des ans, permettant des pêches plus profondes. Ces filets ne sont pas utilisés 2 à 3 jours par mois, quand les courants de marées trop importants empêchent leur mise en œuvre correcte.

Les periky

Les *periky* sont des engins passifs d'introduction récente, utilisés principalement dans la baie d'Ambaro. Ils se sont rapidement développés à l'incitation des sociétés collectrices de crevettes, intéressées par la taille moyenne importante des crevettes capturées. Leur nom provient de la ressemblance entre le matériau des nappes de filets (nylon mono-filament) et celui dont sont faites les perruques (*periky*) de certaines femmes. Ce sont des filets maillants calés (posés au fond de l'eau) à simple nappe. La maille de côté est de 20 (la plus courante) ou 25 mm et la hauteur de chute du filet est de 3 à 4 m, hauteur qui est de plus en plus souvent augmentée en ajoutant une nappe par le dessus. Chaque pirogue (deux pêcheurs) utilise 100 à 300 m de longueur de filets, pendant les mortes eaux ou les vives eaux, à la côte ou au large. Après le choix de la zone d'opération, l'outil est largué progressivement dans le sens du courant. À chaque extrémité, une bouée permet de visualiser la situation de l'engin de pêche alors que les flotteurs de la ralingue supérieure peuvent être immergés lorsque la profondeur excède la chute du filet. Une fois déployé, et après une dizaine de minutes, le filet est remonté lentement, les prises sont démêlées et les salissures retirées, puis l'engin est soigneusement replié au centre de la pirogue avant la prochaine action de pêche. Le *periky* est l'engin de pêche traditionnelle qui travaille le plus au large et les conflits d'espace sont relativement fréquents avec les chalutiers ; cependant le repérage des zones d'abondance des crevettes est souvent facilité par la présence des

Tableau 13
Caractéristiques des principaux engins de pêche traditionnelle en baie d'Ambaro.

Engin	Matériau	Longueur (m)	Hauteur (m)	Largeur (m)	Maille (mm côté)	Nombre pêcheurs	Utilisation	
							Temps	Espace
Valakira	Raphia	150 à 300	3		7,5 *	1	VE – marée descendante	Sortie estuaire
Pôtô Ankazomborona	Nylon multifil	9	3	5	10 ou **12**	1	VE – marée	Estuaire
Maropamba/ Ankigny	*idem*	6	1,35	2,5	10, **12** ou 14	1	VE – marée	Estuaire/ sortie estuaire
Kaokobe	Nylon multifil	45 à 70	6 à 8		10, **12** ou 15	4	Difficile si trop de courant	Sortie estuaire/large
Periky	Nylon monofil	100 à 300	4 à 6		**20** ou 25	2	VE ou ME	Côte/ large

* Écartement entre les lattis, d'après Le Reste (1978). La maille en gras est la plus couramment utilisée.
VE : vives eaux, ME : mortes eaux.

crevettiers qui détectent les bancs de crevettes à l'aide de sondeurs. Le *periky* est un filet relativement fragile, dont le coût annuel de renouvellement et d'entretien est élevé.

Tailles de capture des crevettes pêchées par les principaux engins

Les principaux engins traditionnels de pêche des crevettes ont d'une part des modalités d'usage et des maillages différents, d'autre part sont utilisés dans des zones différentes, particulièrement en regard de la profondeur. Plusieurs études sur les crevettes pénéides côtières ont montré une relation directe entre l'augmentation de la taille moyenne des crevettes et celle de la profondeur, en particulier pour l'espèce principale à Madagascar *F. indicus*.

Les captures de *F. indicus* des différents engins en baie d'Ambaro ont été échantillonnées par les chercheurs et techniciens du PNRC pendant la période 1998-2000 pour les *valakira*, *kaokobe* et *periky*, et de 2001 à 2003 pour les *pôtô*. Pour une visualisation synthétique et comparative, les données de longueur Lc ont été transformées en catégories de poids telles qu'utilisées pour la commercialisation des crevettes. Les crevettes sont regroupées par calibres qui sont fonction des tailles individuelles ; ainsi par exemple, le calibre 60-80 sera utilisé pour la commercialisation de crevettes de taille homogène pour lesquelles il y a 60 à 80 individus entiers dans un kg, le calibre « 150 up »

regroupe toutes les petites crevettes qui sont au nombre de 150 ou plus dans un kg. Les effectifs totaux de chaque calibre pour chaque engin ou maillage sont ensuite transformés en pourcentages par rapport au nombre total des crevettes échantillonnées pour cet engin. Les résultats sont présentés sur la figure 49. Les *valakira* et les *pôtô* de maille 12 pêchent essentiellement des petites crevettes en majorité du calibre 150 up ; les captures de *valakira* ont cependant une structure de taille plus étalée que celle des *pôtô* de maille 12 et les crevettes appartenant au calibre 40-60 par kg n'y sont pas rares. Les *kaokobe* capturent des crevettes de tailles variées, des plus petites au calibre 20-30. Les prises les plus abondantes des *periky* appartiennent au calibre 40-60, cela provient d'une caractéristique générale des filets maillants dont les courbes de sélectivité – que nous verrons plus loin – sont en forme de dôme : les petites crevettes et les plus grosses sont moins susceptibles de se mailler dans les filets que celles de taille intermédiaire. La structure des captures des crevettiers industriels, qui est aussi représentée sur la figure pour comparaison, contient proportionnellement plus de crevettes de petites tailles que les *periky,* et au total la taille moyenne des captures des unités industrielles est plus faible que celle des *periky*.

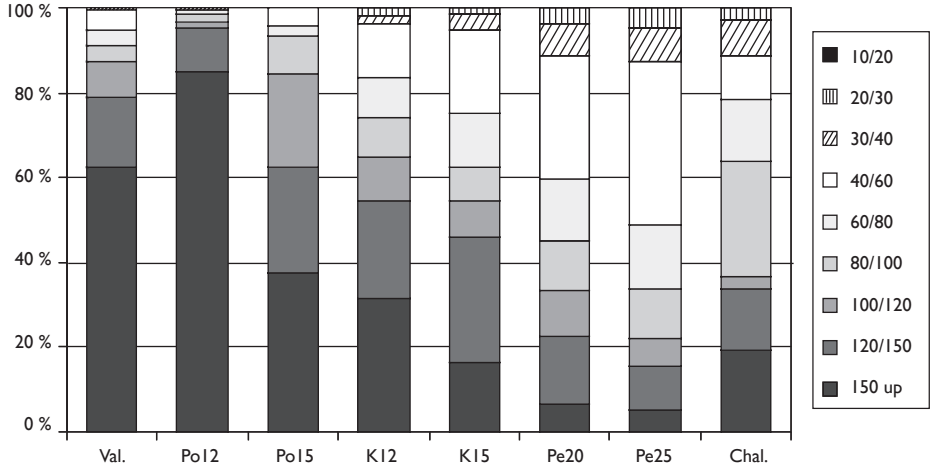


Fig. 49

Part en pourcentage de chaque calibre dans les captures en nombre par type d'engin et maillage.
Val. – valakira, *n = 642 ;*
Po12– pôtô *de maille 12 mm (Ankazomborona), n = 618 ;*
Po15 – pôtô *de maille 15 mm (Ankigny), n = 45 ;*
K12 – kaokobe *de maille 12 mm, n = 2 548 ;*
K15 – kaokobe *de maille 15 mm, n = 385 ;*
Pe20 – periky *de maille 20 mm, n = 3 728 ;*
Pe25 – periky *de maille 25 mm, n = 1 031 ;*
Chal. – chalutiers-crevettiers de pêche industrielle, an 2000,
nombre de crevettes équivalant à 150 tonnes. n = nombre d'individus échantillonnés.

Pour les engins, dont les structures des captures sont représentées par deux tailles de maille, *pôtô*, *kaokobe* et *periky*, il apparaît clairement que le maillage le plus important capture relativement moins de petites crevettes que le maillage le plus faible. Au vu de cette représentation, il apparaît nettement qu'il existe des différences de capturabilité suivant les tailles de crevettes pour chaque engin et maillage.

Étude de la sélectivité

Définition, formulations et méthodes d'étude

La sélectivité est définie comme la probabilité de capture d'une crevette d'une taille donnée lorsqu'elle rencontre l'engin de pêche. Cette sélectivité va varier pour chaque type d'engin, et pour chaque maillage d'un même engin. La connaissance de ce paramètre permet de mieux cerner l'impact de chaque engin sur le stock de crevettes et d'estimer, par les méthodes analytiques d'évaluation des stocks, l'effet sur les jeunes classes d'âge d'une mesure d'aménagement relative aux engins de pêche comme l'interdiction d'un type d'engin, ou une augmentation de maillage pour réduire la mortalité par pêche.

Dans le cas classique de la pêche au chalut, un individu d'une espèce cible donnée qui rentre dans le cul d'un chalut du fait de la traction appliquée au filet passera, ou ne passera pas, à travers les mailles du cul en fonction de sa taille. L'étude de la sélectivité des culs de chalut consistera à calculer la proportion des individus de cette espèce et d'une certaine taille capturés par le filet par rapport à tous les individus de cette taille qui y sont rentrés, puis à représenter les résultats sous une forme mathématique facilitant leur utilisation. Le nombre d'individus capturés par classe de taille est facile à connaître. Pour estimer le nombre de poissons passés à travers les mailles, on utilise la méthode de la double poche, qui consiste à recouvrir le cul du chalut par un autre filet plus grand et aux mailles beaucoup plus fines retenant les individus passés à travers les mailles du chalut.

Pour chaque classe de longueur, le rapport du nombre d'individus capturés par l'engin sur le nombre d'individus ayant pénétré dans l'engin est calculé. Pour la classe de longueur i, ce rapport q_i est égal à :

$$q_i = \frac{n1_i}{n1_i + n2_i}$$

$n1_i$: nombre d'individus de la classe de longueur i capturés par l'engin ;
$n2_i$: nombre d'individus de la classe de longueur i s'étant échappés de l'engin.

Suivant la classe de taille, le rapport q_i peut prendre des valeurs comprises entre 1 ou 0. La représentation graphique des valeurs des q_i en fonction des classes de taille suit une courbe sigmoïde qui peut être représentée par une équation logistique. Les paramètres de la courbe logistique sont estimés (POPE *et al.,* 1975) par une régression linéaire entre chaque classe de taille i et une expression logarithmique de q_i.

La courbe logistique ainsi obtenue est caractérisée par deux points remarquables L_{50} et L_{75}, qui indiquent les longueurs pour lesquelles respectivement 50 et 75 % des crevettes sont retenues par l'engin. La différence entre L_{75} et L_{50} permet de donner une idée de l'étirement de la courbe. La longueur L_{50} est utilisée pour calculer le facteur de sélection (*SF*) :

$$SF = \frac{L_{50}}{\text{maillage}}$$

Les valeurs de *SF* sont proches, pour un même type de filet et d'utilisation (mailles en carré ou en losange, matériaux de fabrication, force de traction subie,…), pour des longueurs de maille différentes. Ainsi, une fois le *SF* calculé pour un engin et un maillage donné, on peut calculer une nouvelle valeur approchée de L_{50} en cas d'un changement de maillage et, à partir de cela, évaluer l'impact de la modification sur la structure de taille des captures. Plus le *SF* est élevé, plus l'impact d'un changement de maillage sera important.

La méthode de la double poche a été utilisée pour estimer la sélectivité des engins *valakira*, *pôtô* et *kaokobe*. La chambre de capture des *valakira* a été doublée sur l'arrière par une large poche en tissu de moustiquaire. Le cul de chalut des *pôtô* d'Ankazomborona a été doublé par une double poche similaire. Pour les *pôtô* d'Ankigny, dont tout le filet est composé d'une maille unique, une poche en moustiquaire de 4 m de profondeur a été directement cousue autour du filet, de manière à recouvrir la moitié de celui-ci.

Pour les *kaokobe*, et après discussion avec les pêcheurs pour déterminer l'endroit du filet où a lieu le plus d'échappement de crevettes, une grande poche rectangulaire en moustiquaire a été cousue sur toute la hauteur du filet et sur un tiers de sa longueur en son milieu. La double poche ainsi réalisée mesure 8 m de hauteur et 15 m de longueur (pour une longueur du *kaokobe* de 47 m). En raison de la résistance engendrée par la poche en moustiquaire dans l'eau, l'engin est difficile à mettre en œuvre. Une dernière poche de 3 m de diamètre, avec une ouverture, a été placée au centre de la double poche moustiquaire pour faciliter la récupération des crevettes.

Pour les filets maillants *periky*, la sélectivité ne peut être étudiée par la méthode de la double poche. Leur courbe de sélectivité est en forme de cloche, c'est-à-dire qu'après une longueur optimale pour la capture, elle présente une pente négative du côté droit, à la différence de la courbe observée pour des chaluts. En effet, si les petits individus peuvent passer à travers les mailles comme dans le cas des chaluts, les grands individus peuvent aussi échapper au filet parce qu'ils sont trop gros pour qu'ils puissent se mailler. La méthode de HOLT (1963), qui compare les structures de tailles des

captures de filets ayant des maillages différents, est utilisée. Les filets des deux maillages sont mis en pêche sur un même laps de temps et sur une même zone, et l'effectif des crevettes de chaque filet pour chaque classe de taille est mesuré pour calculer leur rapport. Ensuite, une régression linéaire est effectuée entre chaque classe de taille et le logarithme du rapport correspondant. Les paramètres nécessaires au calcul des courbes de sélectivité pour chaque maille sont ainsi obtenus. Les courbes de sélectivité sont des courbes normales et de même écart type : la sélectivité atteint un maximum de 100 %, puis diminue de nouveau de manière symétrique. Le résultat pratique est l'obtention d'une longueur optimale pour chaque taille de maille.

On a étudié les maillages de 20 et 25 mm utilisés couramment par les *periky*. Le maillage de 25 mm est surtout utilisé pour une pêche mixte crevettes-poissons, l'espèce de poisson ciblée étant le Scombridae *Rastrelliger kanagurta* (*mahaloky* ou maquereau des Indes).

Récolte des données

Les données concernant les *pôtô* d'Ankazomborona, le *periky* et le *valakira* ont été récoltées en mars 2002. Pour les autres engins, les données ont été collectées en avril 2003. Hormis pour les *pôtô* d'Ankigny et le *valakira*, qui restent en place pendant tout le jusant et qui ne sont donc inspectés qu'une fois par marée, plusieurs opérations de pêche ont été effectuées par engin. Les captures du filet et de la double poche sont séparées, éventuellement échantillonnées quand elles sont trop nombreuses. L'espèce de chaque crevette est notée, le sexe déterminé et la longueur céphalothoracique (Lc) mesurée au pied à coulisse avec une précision de 0,5 mm.

En raison du faible nombre d'observations pour certains engins, seule l'espèce *F. indicus*, dominante dans les captures, a été retenue pour l'étude, et les sexes n'ont pas été séparés dans les traitements. La localisation des essais, le nombre d'opérations par engin et le nombre de *F. indicus* mesurées par engin sont présentés dans le tableau 14.

Tableau 14
Description des mesures effectuées sur chaque engin pour l'étude des sélectivités. Ankazom. = Ankazomborona.

Engins		***Pôtô***			***Kaokobe***		***Valakira***	***Periky***	
Maille de côté (mm)		12	12	15	12	15		20	25
Village		Ankazom.	Ankigny		Ankazom.		Ankazom.	Ankazom.	
Position essai	Lat.	–	13°27, 13 S		13°27, 13 S		–	–	
	Long.	–	48°35, 12 E		48°46, 81 E		–	–	
Période/date		Mars 2002	Avril 2003		Avril 2003		Mars 2002	Mars 2002	
Nombre d'opérations		(pas précisé)	1	1	2	6	1	(pas précisé)	
Nombre *F. indicus* mesurées	Poche	187	57	48	345	101	423	87	109
	filet	380	39	43	246	60	573		

Résultats

Les paramètres L_{50}, L_{75} et SF des courbes de sélectivité pour les différents engins et maillages sont présentés dans le tableau 15, ainsi que le coefficient de détermination r^2 des régressions linéaires entre chaque classe de taille i et une expression logarithmique de la fraction des crevettes retenues pour ces mêmes classes. Le calcul des facteurs de sélection SF est fait à partir des valeurs des mailles étirées, qui sont proches du double des valeurs de côté des mailles, soit ici 23,25 mm pour les mailles de 12 mm de côté et 29,2 mm pour les mailles de 15 mm de côté. Pour les *valakira*, c'est la distance moyenne horizontale entre chaque lattis qui est indiquée, le passage de l'eau s'effectuant par des fentes verticales ayant 7,5 mm de largeur. Les courbes de sélectivité pour chaque engin et maillage des filets étudiés par la méthode de la double poche sont représentées sur la figure 50.

Tableau 15
Paramètres des courbes de sélectivité pour les différents engins et maillages (classement par L_{50} croissante). (7,5) valeur très grossière (cf. texte).

Engin	Maille (côté)	L_{50}	L_{75}	SF	r^2
Valakira	(7,5)	12,7	15,1	0,85	0,88
Pôtô Ankazomborona	12	13,0	16,7	0,56	0,93
Pôtô Ankigny	12	13,2	16,2	0,57	0,60
Kaokobe	12	13,4	14,6	0,58	0,97
Pôtô Ankigny	15	14,2	17,6	0,49	0,87
Kaokobe	15	17,2	19,6	0,59	0,85

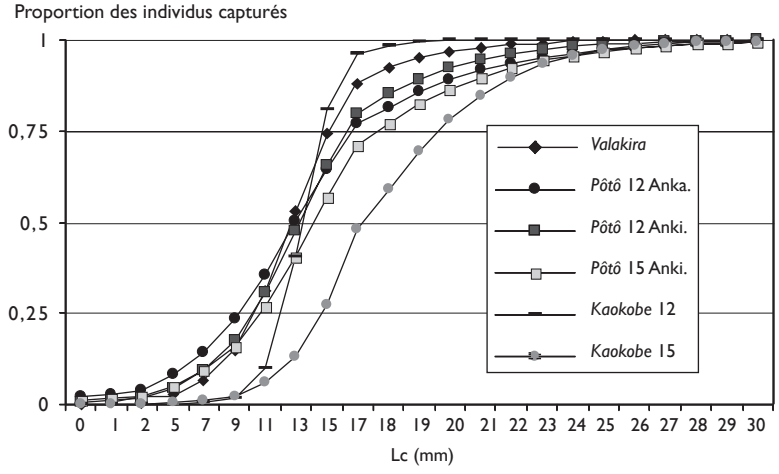


Fig. 50
Courbes de sélectivité pour chaque engin et maillage étudié par la méthode de la double poche.

Les pôtô

Comme le montre la figure 50, ces engins ont une courbe de sélectivité très étirée, avec une différence entre L_{75} et L_{50} élevée (environ 3,5 mm de Lc). Ce sont les engins les moins sélectifs : des crevettes de très petite taille sont capturées. Bien que de dispositions[13] et de dimensions différentes, les deux engins de même maillage (12 mm) à Ankazomborona et à Ankigny ont des valeurs proches des paramètres L_{50}, L_{75} et SF.

Le passage pour les *pôtô* d'Ankigny du maillage de 12 à 15 mm de côté n'occasionne qu'une augmentation de la longueur Lc de 1 mm pour le point L_{50} et de 1,4 mm pour L_{75}. Pourtant en utilisant l'équation L_{50} = SF x maille étirée, avec 0,57 comme valeur de SF et maille étirée de 15 mm = 29,2 mm, on calcule une L_{50} de 16,6 mm pour la maille de 15, soit une augmentation de 3,4 mm. Le facteur de sélection SF calculé pour les *pôtô* de maillage 12 mm paraît surévaluer les effets sur L_{50} pouvant être espérés d'une augmentation de maillage. La faible différence entre les L_{50} calculés à partir des échantillonnages (les effectifs d'individus mesurés sont faibles cependant) des deux maillages différents des *pôtô* d'Ankigny pourrait s'expliquer par le fait que la nappe des *pôtô* s'étire beaucoup dans les forts courants où opère cet engin, les mailles de la poche du filet étant pratiquement fermées. Un changement de maillage pour cet engin n'aurait donc qu'un impact limité sur les captures des petites crevettes.

George *et al.* (1974) ont mené en Inde une étude sur la sélectivité des filets à l'étalage sur pieux sur *F. indicus*, en utilisant différents maillages (12, 16, 20 et 24 mm de maille étirée). Pour un maillage équivalent à notre maille de 12 mm de côté (étirée de 24 mm) les valeurs de L_{50} et L_{75} étaient de 15,5 et 17,9 mm de Lc. À maillage équivalent et sur la même espèce, les valeurs de L_{50} et L_{75} obtenues par George *et al.* sont supérieures à celles obtenues dans cette étude et leur courbe est un peu moins étirée (différence L_{50}-L_{75} de 2,4 mm, contre 3,0 mm pour les *pôtô* d'Ankigny et 3,6 mm pour ceux d'Ankazomborona).

Les valakira

C'est l'engin qui a la longueur L_{50} la plus faible, soit 12,7 mm de Lc. La courbe est cependant moins étirée que celle des *pôtô*, car le *valakira* capture moins de très petites crevettes que ces derniers. Il serait toutefois possible d'améliorer la sélectivité des *valakira* par augmentation de l'écartement entre les lattis, en faisant un deuxième nœud au niveau de la ligature entre chaque lattis (Le Reste, 1978). En utilisant l'écartement de 7,5 mm entre les lattis décrit par Le Reste comme une estimation de l'ouverture (≅ maille étirée), on obtient un SF de 0,85. Si l'écart entre lattis passait à 9,5 mm, on obtiendrait une L_{50} de 16,1 mm, et donc une protection non négligeable des juvéniles, avec une différence de 3,4 mm entre les deux valeurs de L_{50}.

13. Les *pôtô* à Ankazomborona sont posés sur le fond et plus sujets au colmatage que les *pôtô* d'Ankigny, surélevés de 30 cm environ par rapport au fond.

Les kaokobe

Maille de 12 mm de côté

Cet engin a une courbe resserrée, la différence L_{50} - L_{75} étant faible (1,2 mm), le *kaokobe* maille de 12 est l'engin qui a la plus petite L_{75}. À la différence des autres engins, les petites crevettes dont la Lc est inférieure à 10 mm ne sont pratiquement pas capturées (plus de 95 % de ces crevettes s'échappent). En revanche, moins de 10 % des crevettes de plus de 16 mm de Lc s'échappent. Cet engin est donc très sélectif : pour un intervalle de taille de 6 mm Lc, de 5 à 90 % des crevettes sont capturées.

Maille de 15 mm de côté

La courbe est plus étirée que pour le *kaokobe* de maille 12, mais reste nettement plus resserrée que celle des autres engins. Les L_{50} et L_{75} sont bien supérieures à celles des autres ensembles engins-maillage étudiés et la courbe de sélectivité de cet engin apparaît ainsi bien distincte de celles des autres sur la figure 50.

Les periky

La figure 51 reprend les courbes obtenues après l'expérimentation pour chaque maillage, ainsi que la répartition des captures de toutes les mesures effectuées sur des *periky* de maille 20 et 25 mm de côté à Ankazomborona, et issues d'une base statistique du PNRC couvrant la période fin 1998 à début 2000.

Un décalage entre les courbes de sélectivité et les captures mesurées apparaît. Ceci est particulièrement vrai pour les crevettes de petite taille capturées par la maille de 25 mm : théoriquement (à partir de la courbe) des captures de Lc

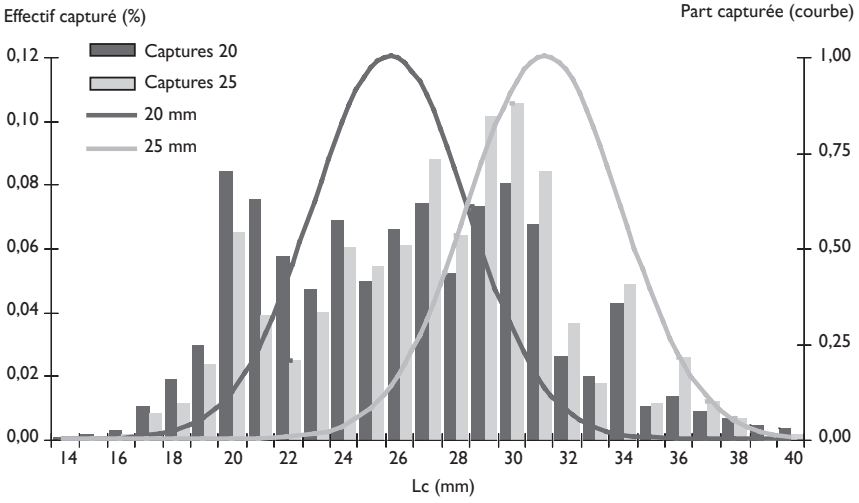


Fig. 51
Courbes de sélectivité estimées et captures mesurées pour les filets periky *de maille 20 et 25 mm.*

inférieures à 22 mm seraient impossibles. Pour les deux types de maille, les distributions de fréquence de taille des captures sont beaucoup plus progressives que celles qui sont calculées par la méthode de Holt d'étude de la sélectivité des filets maillants. Ce phénomène est dû au fait que de très nombreuses crevettes ne se maillent pas dans le filet mais sont accrochées par leur rostre ou leurs pattes, comme cela s'observe sur le terrain ; ce qui explique la capture en nombre non négligeable de crevettes trop petites qui devraient normalement s'échapper à travers les mailles, et également de crevettes trop grosses qui en théorie ne pourraient plus se mailler dans le filet. La relation taille-échappement pour les filets maillants est ainsi moins évidente pour les crevettes que pour des poissons.

Les résultats actuels concernant la sélectivité des *periky* sont donc difficilement exploitables. Toutefois, il serait possible de préciser la sélectivité de cet engin en utilisant sur la même zone et au même moment un (ou plusieurs) *periky* et un chalut expérimental à petit maillage (10 mm de côté par exemple). Le chalutier capturerait un échantillon de la population présente sur la zone, et la comparaison avec les classes de tailles capturées par le/les *periky* permettraient d'obtenir les courbes de sélectivité des engins.

Exemple d'application : passage du maillage de 12 à 15 mm pour le *kaokobe*

Contexte

Dans une volonté commune de mieux gérer leur pêcherie en prenant conscience des impacts de leurs activités, les pêcheurs traditionnels de la baie d'Ambaro, sous l'impulsion du principal armement industriel opérant dans la zone, se sont regroupés en associations et coopératives et se réunissent mensuellement.

Des décisions concernant l'exploitation ont été prises. La première concernait le respect par les pêcheurs traditionnels de la période de fermeture de fin 2002-début 2003. Des mesures concernant la sélectivité des engins de pêche ont aussi été retenues. Les pêcheurs ont vite pris conscience des inconvénients d'une utilisation intensive des *pôtô* à Ankazomborona : barrage du chenal d'accès à la mer à marée basse, captures très importantes de très petits individus. La décision d'interdire ce type d'engin à Ankazomborona a été prise dès la fin 2002. Les engins ont été détruits et les pêcheurs concernés indemnisés pour leur permettre de se reconvertir dans d'autres activités. Une autre décision a été retenue pour la campagne de 2004 : augmenter le maillage des *kaokobe* de 12 à 15 mm. L'effet d'une telle mesure a été estimé à partir de l'application suivante.

Évaluation de l'impact du changement de maillage des kaokobe

Les courbes de sélectivité des deux maillages sont appliquées sur un échantillon d'une capture de *F. indicus* par un *kaokobe* de 12 mm de taille de maille, relevé le 22/03/01 à Ankazomborona. La figure 52 représente les effectifs par classe de taille des 90 individus effectivement capturés par la maille de 12 et ceux qui auraient été obtenus avec la maille de 15 (effectifs calculés). Avec

l'augmentation du maillage, les captures en nombre de crevettes de petite taille (≤ 17 mm de Lc) sont fortement réduites.

Les effets sur la capture sont exprimés autrement dans le tableau 16 et sur la figure 53.

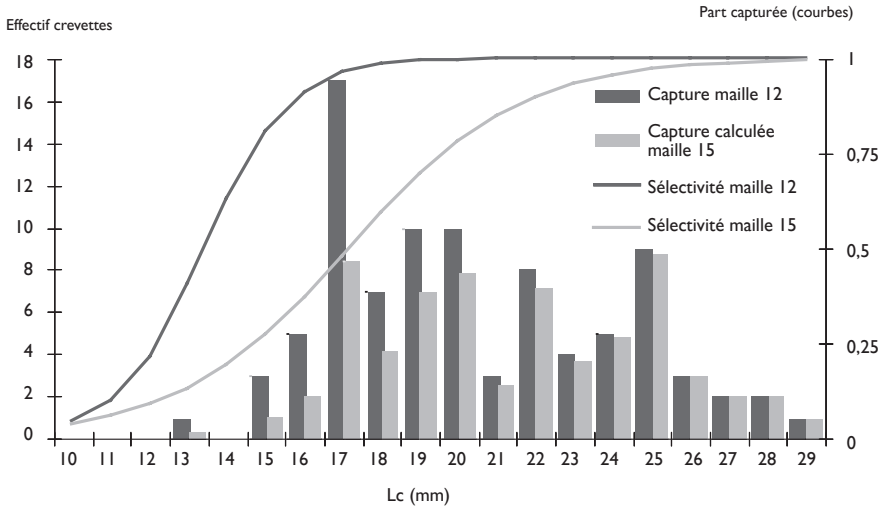


Fig. 52

Captures par classe de taille d'un kaokobe *de 15 mm de maille de côté, calculées à partir des courbes de sélectivité et de la capture mesurée d'un* kaokobe *de 12 mm de maille de côté.*

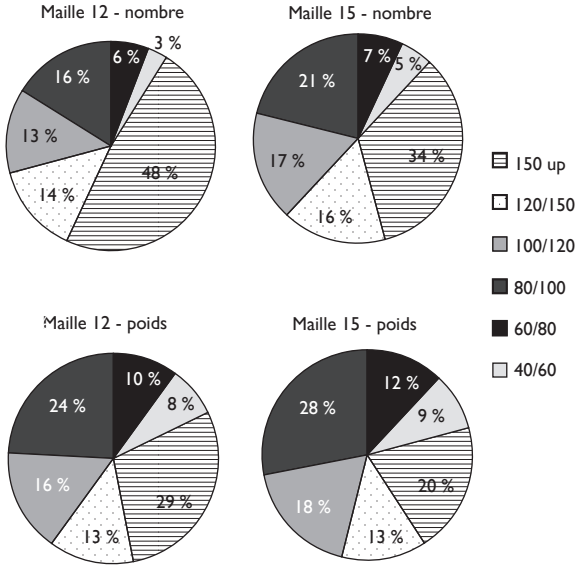


Fig. 53

Effets du changement de maillage des kaokobe *de 12 à 15 mm de côté sur la répartition des prises par calibres en nombre et en poids.*

Tableau 16
Effets du passage de la maille de 12 à 15 mm sur les captures totales en nombre et en poids.

	Capture maille 12	Capture maille 15	Perte
Nombre	90	66	27 %
Poids (g)	705	580	18 %
Lc moyenne	20,4 mm	21,4 mm	

D'après le tableau 16, le changement de maillage entraîne une perte de 27 % du nombre de crevettes capturées, mais de seulement 18 % du poids. La Lc moyenne des captures passe de 20,4 à 21,4 mm, soit d'un calibre moyen de 120/150 individus par kg au calibre 100/120.

Le changement dans la structure par calibre des captures (fig. 53) se caractérise surtout par une forte diminution de la part du calibre 150 up, aussi bien en nombre qu'en poids. La catégorie qui bénéficie de la plus grande augmentation de part dans les captures est le calibre 80/100 (crevettes moyennes).

L'effet d'un changement de maillage de 12 à 15 mm se fait donc surtout sentir sur les petits calibres, particulièrement sur le 150 up dont la capture est réduite de 45,5 %. La réduction du nombre/poids de crevettes est faible (3,5 %) pour les crevettes de tailles moyennes (calibre 80/100) et n'atteint que 5,5 % pour l'ensemble des crevettes de ce calibre et de tailles supérieures 60/80 et 40/60.

Les petits calibres n'intéressent plus les collecteurs qui achètent les crevettes pour le compte des sociétés exportatrices. Les pertes monétaires des pêcheurs traditionnels suite à une diminution des captures des plus petites crevettes seraient donc sans doute minimes. Une telle mesure de modification du maillage apparaît donc bénéfique car elle limite la capture de juvéniles trop petits et sans grande valeur marchande ; elle doit permettre une meilleure valorisation de la ressource en laissant grandir les crevettes épargnées qui seront capturées un peu plus tard, la croissance étant rapide, à des valeurs unitaires beaucoup plus élevées.

La question demeure cependant du partage de la ressource, lié à la répartition des tailles de crevettes en fonction de la profondeur. Les *kaokobe* à maille de 12 pêchent souvent à la sortie de l'estuaire dans des zones peu profondes (inférieures à 1,8 m) où les petites crevettes sont les plus nombreuses. Mais les pêcheurs en adoptant des mailles de 15 mm seront doute amenés, comme c'est déjà la tendance, à pêcher dans des zones plus profondes, jusqu'à 6 m au moins (la plupart des filets faisaient 8 m de chute lors de l'étude de la sélectivité et des hauteurs de chute de 10 mètres et plus sont maintenant observées). Il est donc probable que cette mesure de changement de maillage s'accompagne d'un déplacement de l'effort traditionnel vers des zones plus au large, augmentant ses interactions avec la pêche industrielle.

Distribution de fréquence des captures et courbe de sélectivité

Souvent, la partie ascendante des distributions de fréquence des captures peut être assimilée à une courbe de sélectivité quand les petits individus susceptibles de passer à travers les mailles des filets sont présents dans la zone de pêche (Caverivière, 1982), ce qui est le cas pour *F. indicus* dans la zone d'étude. Pour une comparaison avec les courbes de sélectivité obtenues précédemment, la valeur la plus élevée du nombre d'individus par classe de taille a été amenée à la valeur 1 et les valeurs des classes précédentes ont été calculées en fonction de cette valeur maximale. Auparavant, un lissage d'ordre 3 a été effectué sur les données des distributions de taille des engins retenus (ensemble des échantillons pris par engin en baie d'Ambaro pendant l'année 2003). Les comparaisons sont représentées sur la figure 54 pour les *valakira* et les *kaokobe* de maille 12 et 15 mm.

Les représentations graphiques montrent des différences notables, et cela d'autant plus que l'engin est susceptible de capturer des crevettes de petites tailles. Une partie des différences peut être imputée aux faibles effectifs d'individus mesurés lors des études de sélectivité (tableau 14) à une période particulière de l'année, alors que l'échantillonnage des structures de taille des captures porte sur plusieurs milliers d'individus (2 220, 7 177 et 2 783 respectivement pour les *valakira*, *kaokobe* de 12 et *kaokobe* de 15) tout au long de la saison de pêche. Cependant, au vu des graphiques, il semble bien qu'il y ait un biais dans les distributions de fréquence des captures faites à terre, lors du retour des pêcheurs, avant la vente du produit aux collecteurs. Un tri, par enlèvement de petites crevettes, peut avoir eu lieu avant que les enquêteurs à terre ne mesurent les échantillons de la pêche. Ainsi, les *valakira* qui capturent particulièrement des petites crevettes, ont une courbe de sélectivité dont le paramètre L_{50} est de 12,7 mm de longueur céphalothoracique (50 % des individus entrant dans l'engin au-dessous de cette taille passent à travers le barrage), alors que pour cette valeur l'échantillonnage à terre utilisé comme courbe de sélectivité ne donnerait qu'un taux de rétention de 6 % pour cette taille (L_{50} à 16,0 mm). Pour le *kaokobe* de 12 mm la valeur de L_{50} de la courbe de sélectivité est de 13,4 mm, valeur qui correspond à un taux de rétention de seulement 5 % pour la courbe issue des structures de tailles (L_{50} à 16,2 mm). Pour le *kaokobe* de 15 mm, dont la valeur de L_{50} est nettement plus élevée (17,2 mm), la comparaison des deux courbes indique que beaucoup moins de crevettes de petites tailles auraient été enlevées avant l'échantillonnage des captures (car le filet en prend peu) et le L_{50} estimé à partir de la seconde courbe est similaire à celui de la première. Pour la partie supérieure des deux courbes, l'explication la plus vraisemblable de la différence pourrait venir du faible effectif échantillonné pour l'étude de la sélectivité.

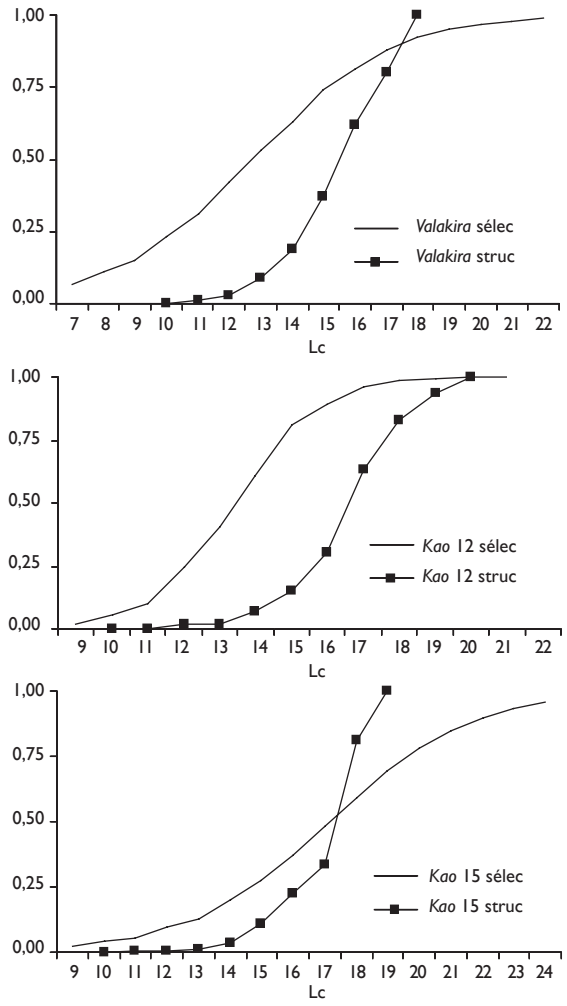


Fig. 54

Comparaison des courbes de sélectivité (sélec) des valakira, kaokobe *de maille 12 et 15, avec la partie ascendante des structures (struc) de taille des captures de ces mêmes engins.*

Conclusion

Les résultats des études de sélectivité sur la crevette *F. indicus* capturée par les engins de pêche traditionnelle *valakira, pôtô* et *kaokobe* sont intéressants et exploitables. Les *valakira* et les *pôtô* maille de 12 mm capturent de façon importante des crevettes de petite taille, ensuite vient le *kaokobe* maille de 12 mm, puis le *pôtô* maille de 15 mm, enfin le *kaokobe* maille de 15 qui se distingue un peu des autres engins. La courbe de sélectivité est très étirée pour les *pôtô* maille de 12 et 15, et pour le *valakira*. Elle l'est beaucoup moins pour le *kaokobe*, en particulier le *kaokobe* maille de 12 mm.

Les filets maillants *periky* ont des sélectivités particulières difficiles à étudier. Il est à noter que les structures de taille des crevettes capturées par ces engins donnent des tailles moyennes plus importantes que celles obtenues par les chalutiers-crevettiers industriels opérant dans la même zone.

La comparaison des structures de taille des captures de crevettes *F. indicus* mesurées à terre, avec les courbes de sélectivité, montrerait que ces structures seraient très probablement biaisées et plus particulièrement pour les engins capturant les plus fortes proportions de juvéniles. Un tri, par enlèvement de petites crevettes, aurait souvent eu lieu avant la mesure des échantillons de la pêche par les enquêteurs, les échantillons étant généralement issus de lots destinés à la vente à des collecteurs opérant pour des sociétés d'exportation.

Certains résultats de l'étude de la sélectivité des engins de pêche peuvent être utilisés pour conforter des décisions d'aménagement : suppression des *pôtô* d'Ankazomborona en novembre 2002, décision de principe de passage de la maille de 12 à la maille de 15 pour les *kaokobe* durant la campagne 2004 en baie d'Ambaro. Concernant cette dernière mesure, les effets du changement de maillage ne se feraient surtout sentir que sur les petits individus : réduction de 45 % des captures du calibre 150 up et de 20 % du calibre 120/150. Ces calibres étant de moins en moins recherchés par les collecteurs, les pertes économiques pour le pêcheur ne seraient pas trop importantes, et il devrait ensuite profiter du grossissement futur de ces petites crevettes laissées en mer.

L'application de décisions d'aménagement des pêches est cependant un problème important. Elles sont le plus souvent difficiles à mettre en œuvre, même dans les pays les plus développés. Dans les pays en voie de développement, même si le principe de l'utilité de telles décisions est compris par les populations concernées, leur mise en œuvre effective est ardue quand il s'agit de pêcheurs vivant dans des régions enclavées et ayant des besoins immédiats importants. Ainsi, en baie d'Ambaro, après leur élimination en 2002, les *pôtô* sont revenus en plus grande quantité devant Ankazomborona. Pire, un maillage beaucoup plus petit qu'auparavant (tulle moustiquaire) est maintenant généralement utilisé comme poche terminale et la période de fermeture de pêche entre décembre 2005 et janvier 2006 n'a souvent pas été respectée pour cet engin. Un autre engin de pêche, le *vonosaha* (barrage d'affluent décrit en début d'article), capturant de toutes petites crevettes, a été découvert en 2006 en considérable augmentation dans les petits chenaux de mangroves difficilement accessibles. Leur impact négatif en dynamique des populations serait considérable (Caverivière et Razafindrakoto, chap. 8).

Nous tenons à remercier tous les pêcheurs qui nous ont aidés pour la préparation et la mise en œuvre des engins, en particulier Michel et son père à Ankigny pour les *pôtô,* Ernest et Francisco *pour le kaokobe.* Nos remerciements vont également aux présidents des Fokontany des villages d'Ankazomborona, Ankigny et Ampapamena pour leur accueil lors des missions PNRC.

Résultats des travaux menés sur la pêche traditionnelle crevettière depuis 2003

Bien-Aimé Rakotodratsimba,
Christian Chaboud,
Nirina Rasoanandrasana

© C. Chaboud/IRD

Introduction

La pêche traditionnelle crevettière malgache est essentiellement présente sur la côte du canal de Mozambique (Chaboud *et al.,* 2002 b). Sur cette dernière elle n'est pas répartie de façon homogène, son importance maximale est observée en baies d'Ambaro et de Narindra où se concentre le plus de villages de pêcheurs traditionnels à la crevette. Ces baies regroupent l'essentiel des engins de pêches les plus productifs du littoral et les différents acteurs de la pêche crevettière (pêche industrielle, pêche traditionnelle, pêche artisanale, collecteurs et mareyeurs) s'y côtoient ; elles sont également le lieu d'importantes migrations de travail saisonnier en direction de la pêche traditionnelle.

En 2002, la décision a été prise d'encourager la recherche (PNRC) à collaborer avec les acteurs professionnels (pêcheurs traditionnels, industriels, collecteurs), les structures administratives (CSP[14], administration des pêches, autorités communales), les ONG et les projets de développement dans le cadre du projet Zones d'aménagement concerté (ZAC), qui concerne trois zones de pêche traditionnelle (baie d'Ambaro, région de Morondava, baie d'Antongil). Son objectif est d'instaurer des normes de bonne conduite à l'ensemble du secteur et une cohabitation sereine entre les différents types de pêche. Afin de pouvoir impliquer le secteur de la pêche traditionnelle dans

14. Centre de surveillance des pêches.

l'aménagement de la pêcherie crevettière, un programme d'enquête pilote a été lancé dans la baie d'Ambaro en mars 2003.

Après quelques rappels méthodologiques, on présentera les principaux résultats de ce programme concernant l'effort de pêche, les prises et les rendements. On analysera ensuite la composition des captures par calibre commercial et longueur. Enfin, certains aspects biologiques sur la ressource (sex ratio, reproduction et recrutement) seront abordés. En conclusion, on proposera quelques recommandations d'amélioration du système de suivi statistique de la pêche traditionnelle.

Matériels et méthodes

Le système d'enquête

Le programme d'enquête pilote lancé en 2003 dans la baie d'Ambaro s'est poursuivi au cours des années 2004 et 2005. Les enquêtes sont réalisées dans les villages d'Ankazomborona (au sud de la baie) et d'Ambavanankarana (au nord). La récolte des données se veut participative : elle s'appuie sur des membres d'associations de pêcheurs et non sur des enquêteurs professionnels.

Une extension de cette expérience a été réalisée en baie de Narindra en 2005 ainsi que dans la région de Belo sur Tsiribihina (villages d'Ambakivao et Antsabora).

Le système d'enquête utilisé depuis 2003 est différent de celui retenu lors de la phase 1 du PNRC en 1998-2000 (Domalain et Rasoanandrasana, 2001 a), notamment pour la mesure de l'effort de pêche désormais estimé à partir du comptage quotidien des sorties de pirogues.

Un protocole tenant compte des résultats antérieurs a été défini. Deux à six fois par mois, des enquêtes sont réalisées pour chaque période de mortes-eaux et de vives-eaux[15]. Le nombre total de sorties de pirogues, par type d'engin, est recueilli pour ces jours d'enquête. Puis un échantillonnage stratifié est entrepris au retour des sorties de pêche : les prises de deux à trois pirogues pour chaque type d'engin sorti au cours de la journée sont relevées : captures en crevettes, poissons et camarons (*P. monodon*). Les captures de crevettes et poissons sont estimées par l'enquêteur au moyen d'un panier dont la capacité est connue. Le prix des crevettes est obtenu après vente auprès d'un collecteur. Des données sur la quantité autoconsommée ainsi que la destination et le prix des produits commercialisés sont collectées régulièrement. Des informations complémentaires permettent de caractériser l'engin de pêche (maillage en mm de côté dans les baies d'Ambaro et de Narindra, étiré dans

15. La période de vives-eaux est celle des forts cœfficients de marée, soit environ 15 jours par mois.

la région de Belo sur Tsiribihina). Ces enquêtes sur les sorties visent à estimer les captures et rendements totaux et par engin.

Un échantillonnage des captures de crevettes est aussi effectué pour avoir une image de leur structure par espèce, sexe et taille[16]. Les crevettes sont triées par espèce et sexe puis la LC est mesurée au 1/2 mm près à l'aide d'un pied à coulisse. Pour les femelles, les stades de maturité sexuelle sont déterminés de façon macroscopique à travers le cuticule, d'après l'échelle basée sur la couleur et l'aspect externe de l'ovaire (Rao, 1968 ; Subrahmanyam, 1965 ; Guitart et Fraga, 1980).

Les données disponibles

La base de données relationnelles alimentée par les informations précédentes a été élaborée avec le logiciel MS-Access® et est composée de cinq tables principales : recensement, engins, effort par jour, captures, mensurations (Rasoanandrasana et Sandon, 2003).

Les données couvrent trois campagnes de pêche, de mars 2003 à novembre 2005 à Ankazomborona et à Ambavanankarana. Pour la baie de Narindra, les sites enquêtés durant toute la campagne 2005 sont les villages d'Ampasibe et Antonibe. Pour la région de Belo sur Tsiribihina, les villages d'Antsabora et d'Ambakivao ont été suivis d'avril à novembre 2005. Plus récemment, des enquêtes ont été réalisées en baie d'Antongil avec la collaboration de l'ONG WCS[17]. Les expériences menées en dehors de la baie d'Ambaro sont trop récentes pour que leurs résultats intégraux puissent être exposés ici. On se limitera pour ces dernières à l'exposé de quelques éléments les plus significatifs.

631 journées d'enquêtes ont ainsi été effectuées, dont l'essentiel dans la baie d'Ambaro (tab. 17). Au total, 6 228 pêcheurs ont été questionnés sur les résultats de leur sortie, soit 10 pêcheurs par jour.

Tableau 17
Effort d'enquête auprès de la pêche traditionnelle dans la baie d'Ambaro.

Zone	Village	Année	Nombre de jours d'enquête	Nombre de retours de pêche enquêtés
Baie d'Ambaro	Ambavanankarana	2003	65	651
		2004	61	610
		2005	71	710
	Ankazomborona	2003	58	580
		2004	68	692
		2005	68	680

Source : PNRC.

16. Longueur céphalothoracique mesurée au millimètre près par défaut du creux orbitaire à l'extrémité dorsale du céphalothorax.

17. Wildlife Conservation Society.

Deux recensements sont réalisés par an dans chaque site villageois, en haute et basse saison[18]. Sont alors comptabilisés les pêcheurs, les embarcations et les engins. Dans la baie d'Ambaro est également réalisé un recensement annuel pour la totalité des villages de pêcheurs (nombre de pirogues, de pêcheurs et des différents engins de pêche), afin de permettre l'extrapolation des estimations statistiques à l'échelle de la région[19], des estimations de capture et d'effort de pêche obtenues dans les deux sites d'enquête. Les résultats des recensements pour la baie d'Ambaro sont présentés à l'annexe 1. Les annexes 2 et 3 présentent les résultats des recensements pour la baie de Narindra et la région de Belo sur Tsiribihina.

La diversité des techniques de pêche prises en compte, dont la dénomination locale varie selon la région, impose un effort de standardisation linguistique et technique afin de pouvoir procéder à des comparaisons. La terminologie des engins recensés et la correspondance avec la terminologie standard des engins de pêche sont celles utilisées dans le chapitre précédent consacré à la présentation des engins de pêche et à leur sélectivité.

Méthode de calcul

Une chaîne de traitement sous MS-Access® a permis le calcul des statistiques d'effort et de capture, en faisant appel à une procédure d'extrapolation en deux étapes pour l'estimation des captures annuelles pour les sites d'enquête, une troisième étape étant utilisée en baie d'Ambaro pour l'extrapolation à l'ensemble des villages de la baie.

La première étape consiste, à calculer pour chaque jour j d'enquête, la prise moyenne par sortie et par engin x p_{xj} ; cette prise est extrapolée à l'ensemble des sorties de pêche par engin, au moyen du nombre de sorties par engin $sort_{xj}$. La prise totale par jour d'enquête p_{xj} par engin est donc égale à $p_{xj} \cdot sort_{xj}$.

La seconde étape consiste à extrapoler ce résultat au mois. Au sein d'un mois contenant m jours, n jours sont enquêtés, la prise mensuelle extrapolée sera alors égale à :

$$P_{xmois} = (m/n) \cdot \sum_{j=1\ldots n} P_{xj}$$

Les synthèses annuelles et par engin s'obtiennent par sommation sur les indices mois et engins. Enfin, pour la baie d'Ambaro une synthèse régionale est obtenue en procédant à partir de l'estimation précédente à des extrapolations spatiales pour les parties sud et nord de la baie. Pour chaque engin est calculé, grâce au recensement des engins, un taux d'extrapolation qui est le rapport de l'effectif d'engin x pour la zone sur celui du village d'enquête. La prise mensuelle totale estimée par engin est donc égale à :

$$Pzone_{xmois} = P_{xmois} \cdot extrapo_{x}$$

18. La haute saison est comprise entre mars et juin.

19. Pour la baie d'Ambaro on procède à des extrapolations distinctes pour les parties sud et nord de la baie.

La synthèse annuelle pour une zone s'obtient par sommation sur les indices mois et engins, et pour l'ensemble de la baie d'Ambaro par sommation des résultats des zones sud et nord.

Pour l'effort de pêche, exprimé en sorties de pêche par type d'engin, la méthode d'extrapolation est similaire à la précédente.

Résultats

Activité : effort de pêche

Recensements

La baie d'Ambaro présente depuis longtemps la plus forte concentration de moyens humains et matériels dans la pêche traditionnelle. L'examen du recensement des pêcheurs, des pirogues et des engins permet de faire ressortir quelques caractéristiques. Il n'est pas aisé de dégager à sa lecture une tendance générale au cours des trois années. L'effectif de pêcheurs connaît une croissance de 27 % entre 2003 et 2005. Pour les engins de pêche, on observe une nette augmentation des filets maillants *periky,* dont le dénombrement, tous maillages confondus, atteint 1 344 unités en 2004, soit une croissance de 55 % sur trois ans. Le nombre de *kaokobe*, tous maillages confondus, baisse légèrement de 10 % durant la même période. Il nous est difficile de commenter l'instabilité du nombre de *valakira*, dont on sait que l'effectif d'unités actives, difficile à recenser, est sensible au calendrier des marées et à des facteurs environnementaux ou autres[20].

On ne commentera pas beaucoup les recensements en baie de Narindra ou pour la région de la Tsiribihina, dans la mesure où on ne peut pas faire de comparaisons interannuelles. Les seuls éléments qui ressortent sont la similitude des engins entre les baies d'Ambaro et de Narindra, alors que les sennes de plages *tarikaky* et *taritariky* apparaissent importantes dans la région de Tsiribihina, où se pratique également la pêche au filet maillant *janoky*. Dans la baie de Narindra, on note la concentration de l'effort de pêche dans le village d'Ampasibe, connu depuis longtemps comme un important site de collecte et d'accueil de pêcheurs migrants.

La perception des moyens effectifs de capture par ces recensements est cependant limitée par un certain nombre de difficultés. Ainsi, certains engins comme les *pôtô* dans la baie d'Ambaro, ou des engins dispersés dans les petits chenaux de mangrove (cas des petits barrages *vonosaha* ou *salepy)* sont particulièrement difficiles à recenser à partir d'entretiens et de comptages réalisés

20. Il est possible que l'objectif de réduction des *valakira* affiché dans le projet ZAC conduise à une sous-déclaration du nombre d'unités.

dans les sites de débarquement. Ceci est préjudiciable non seulement à l'estimation des captures, mais aussi à celle de l'impact effectif de la pêche traditionnelle sur la ressource crevettière, dans la mesure où ces engins exercent une mortalité par pêche élevée sur la composante juvénile de la ressource.

Dynamique de l'activité de pêche

Le principal indicateur est ici le nombre mensuel de sorties de pêche, obtenu par extrapolation des comptages des sorties par engin lors des jours d'enquête. Les résultats présentés concernent la période 2003-2005 dans la baie d'Ambaro et 2005 dans la baie de Narindra et la région de Belo sur Tsiribihina.

Pour la baie d'Ambaro, les synthèses annuelles des données d'effort sont présentées au tableau 18. On observe une augmentation significative du nombre total de sorties entre 2003 et 2004, qui ne se poursuit pas en 2005. Par contre, la structure de l'effort total, selon les engins de pêche, semble connaître une modification importante au profit des filets maillants *periky* dont la part passe de 58 à 70 % entre 2003 et 2005, alors que celle des sennes *kaokobe* régresse de 34 à 21 %. La part des barrages *valakira* reste relativement constante, à environ 10 %.

La figure 55 représente l'évolution mensuelle du nombre de sorties pour les deux villages enquêtés d'Ankazomborona (zone sud) et d'Ambavanankarana (zone nord), ainsi que pour l'ensemble de la baie.

La croissance des sorties de *periky* est très nette à Ankazomborona, ainsi que la réduction des sorties de *kaokobe* observée à Ambavanankarana. L'évolution mentionnée plus haut pour les *periky* proviendrait donc plutôt du sud de la baie. Il est possible que la réduction de l'effort des *kaokobe* provienne de la difficulté à renouveler ces sennes déjà anciennes, acquises au cours des années 1990 dans le cadre de projets de développement étatiques. À l'examen de la figure précédente, il paraît difficile de faire ressortir un profil saisonnier de l'activité.

Pour la baie de Narindra (fig. 56), le village d'Ampasibe est celui dont l'activité est la plus intense (10 025 sorties annuelles), dominée par les sorties de pêche à la senne *kaokobe* (9 355). Ces dernières sont maximales en début de saison de pêche puis diminuent régulièrement jusqu'au mois d'août pour se stabiliser ensuite à environ 500 sorties par mois jusqu'à la fermeture.

Tableau 18
Nombre total de sorties par engin de pêche principal, dans la baie d'Ambaro.

Engin de pêche	2003		2004		2005	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Kaokobe	24 626	34	33 934	35	20 570	21
Periky	41 736	58	51 242	53	68 484	70
Valakira	6 220	9	11 173	12	9 362	10
Total	**72 582**	**100**	**96 349**	**100**	**98 416**	**100**

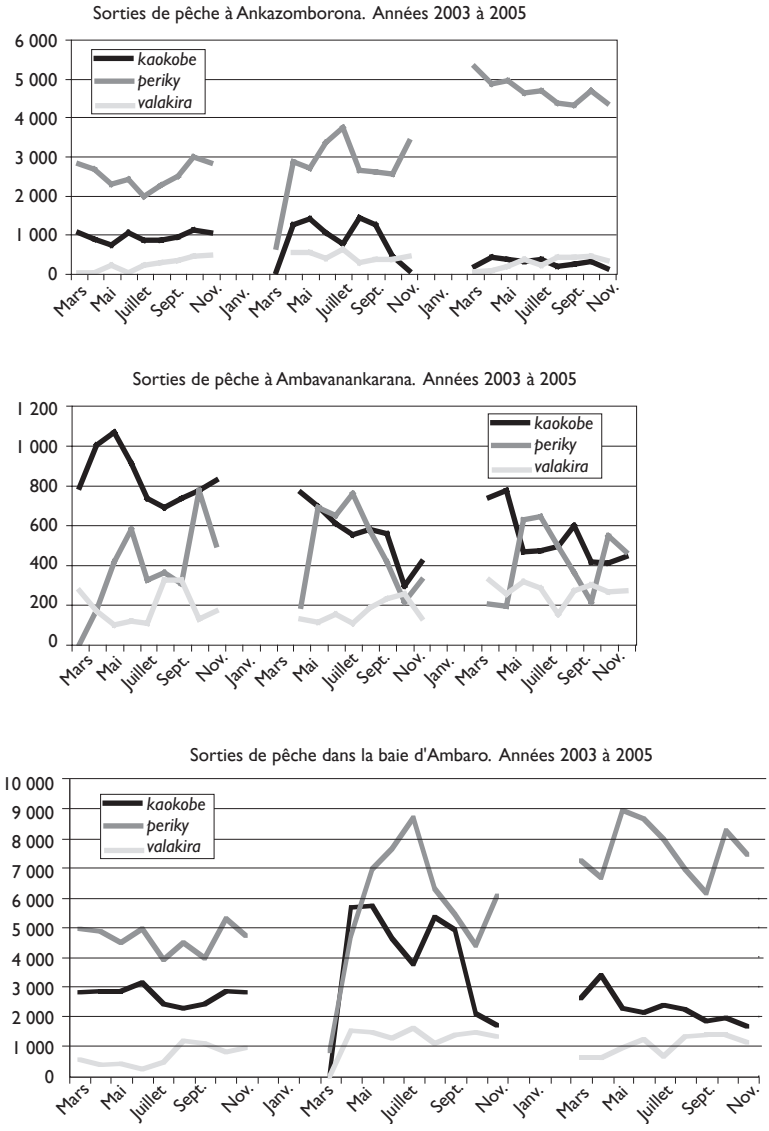


Fig. 55
Effort de pêche dans la baie d'Ambaro.

Les sorties de *periky* semblent régulières dans le temps mais à un niveau beaucoup plus faible, inférieur à 100 à l'exception d'octobre. À Antonibe, où l'activité globale est beaucoup moins forte (2 545 sorties par an), l'activité est mieux répartie entre *kaokobe* (1 491 sorties), *periky* (696 sorties) et *valakira* (359 sorties) ; et le profil saisonnier de l'activité semble nettement moins marqué qu'à Ampasibe.

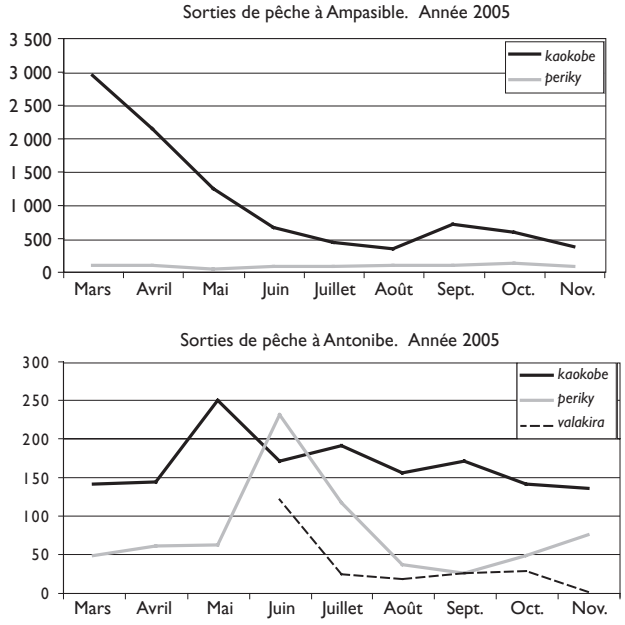


Fig. 56
Effort de pêche dans la baie de Narindra.

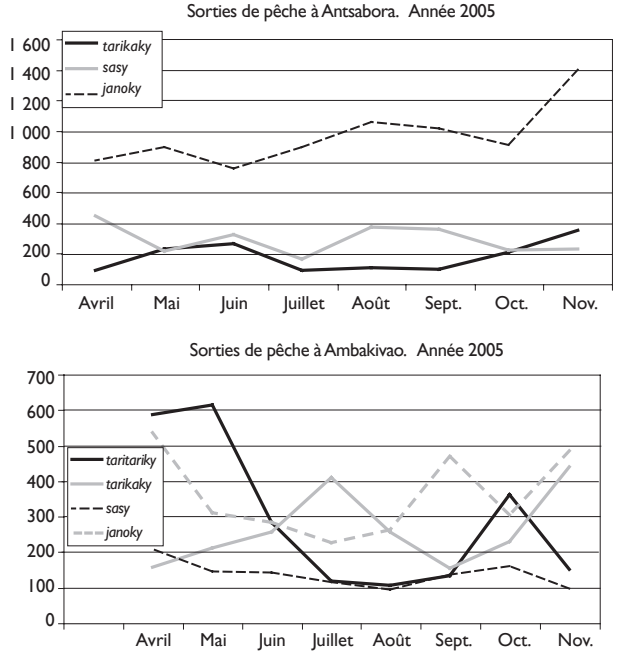


Fig. 57
Effort de pêche dans la région de Belo sur Tsiribihina.

La figure 57 présente l'évolution des sorties pour les villages d'Antsabora et Ambakivao situés respectivement au sud et au nord du delta de la rivière Tsiribihina. Ici aussi, l'image de l'effort de pêche est contrastée selon les villages. Antsabora connaît le plus grand nombre de sorties annuelles (11 414), au sein desquelles dominent les filets maillants *janoky* (68 %). Ambakivao est caractérisé par un nombre de sorties inférieur (8 411) mais dominé par les sennes de plage *taritariky* et *tarikaky* qui représentent 53 % de l'activité de pêche.

Captures

Dans la baie d'Ambaro les captures totales (fig. 58) sont calculées par extrapolation des estimations des captures mensuelles par engin obtenues pour les deux sites d'enquête au moyen des recensements. Pour l'ensemble de la baie les facteurs d'extrapolation sont de l'ordre de deux.

Les captures totales de crevettes de la baie augmentent de 1 136 à 1 437 tonnes entre 2003 et 2005. On verra plus loin que l'évolution des rendements moyens n'explique pas cette croissance qui trouve plutôt son origine dans celle de l'effort de pêche. Cette augmentation des mises à terre provient de la zone sud (+ 52 % entre 2003 et 2005), tandis que celles de la zone nord ont diminué de - 10 % au cours de la même période.

Lorsqu'on analyse la structure des prises annuelles selon les engins de pêche, on observe que l'apport des sennes *kaokobe* dans les débarquements totaux régresse de 49 à 34 %, tandis que celui des filets *periky* croît de 43 à 58 % durant la même période.

D'après les travaux de Rafalimanana (1990), Domalain et Rasoanandrasana (2001 a, b), Rafalimanana (2004 a), la baie de Narindra accueille l'essentiel de la pêche traditionnelle en zone B. Les estimations de captures données par les trois études sont respectivement de 620 tonnes, 860 tonnes (zone plus large que la baie de Narindra), 790 tonnes (baie de Narindra *sensu stricto*). L'engin de pêche principal en 1998-2000 et 2004 est le *kaokobe*, suivi par le *valakira*. Le nombre de *kaokobe* a récemment augmenté, l'enquête de Rafalimanana de 2004 indique 120 et 50 *kaokobe* dans les villages d'Ampasibe et d'Antonibe (180 pour l'ensemble de la baie) contre une cinquantaine et une trentaine lors des enquêtes de 1999. Les *valakira* auraient été au nombre de 279 en 1989 pour l'ensemble de la région de la baie de Narindra, de 116 et 140 dans la baie elle-même en 2004 et 2005 respectivement (annexe 2). La croissance du nombre de *kaokobe* s'est accompagnée d'une augmentation de leur chute (hauteur), leur permettant ainsi d'exploiter des zones plus profondes et au large.

En zone C, comme pour les zones A et B, l'estimation des quantités capturées par la pêche traditionnelle et leur répartition par classe de taille posent des difficultés. À partir des travaux de Domalain et Rasoanandrasana (2001 b), on peut estimer à 444 tonnes les prises de la pêche traditionnelle en zone C (208 t en partie nord capturées essentiellement par des *kopiko*, filet à main tiré à contre-courant, et 236 t en partie sud capturées par des sennes de plage).

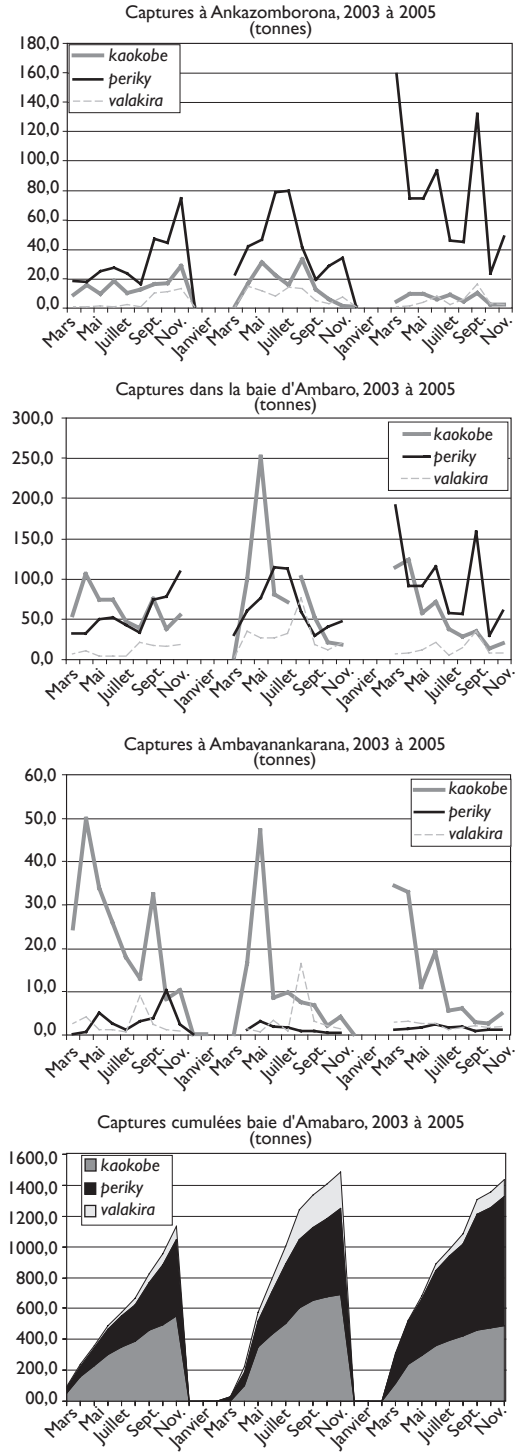


Fig. 58
Captures dans la baie d'Ambaro – Années 2003 à 2005.

Tableau 19
Moyenne annuelle des prises par sortie dans la baie d'Ambaro.

	2003	2004	2005
Kaokobe	20	23	20
Periky	11	10	13
Valakira	15	21	11

Unité : kg par sortie.

Un rapport sur des enquêtes plus récentes effectuées en mai 2004 (RAFALIMANANA, 2004 b) estime à 343 tonnes par an les captures de crevettes de la région de la Tsiribihina (zone sud), soit une quantité supérieure à celle des enquêtes de 1998 effectuées par Domalain et Rasoanandrasana. Finalement nous estimerons la capture annuelle de pêche traditionnelle à 500 tonnes en zone C au cours des trois dernières années.

Rendements

L'analyse des prises par sortie montre que les techniques de pêche traditionnelles les plus productives sont observées dans la baie d'Ambaro. Dans cette zone, on peut comparer l'évolution des rendements sur trois ans des trois principaux engins.

L'examen du tableau 19 ne permet pas de conclure sur une tendance interannuelle significative des prises par sortie. Ces données apparaissent très proches de celles fournies par CHABOUD *et al.* (2002 b) pour le *kaokobe* (20 kg), le *periky* (10,3 kg) et le *valakira* (18 kg) à la fin des années 1990. Il n'est pas aisé d'établir un profil saisonnier des rendements dans la baie d'Ambaro. Pour les années 2003 et 2004 on observe une tendance à la décroissance tout au long de la saison pour les *periky* et les *kaokobe* (fig. 59), ce qui n'est pas le cas des *valakira* dont les rendements ne montrent pas de tendance intra-annuelle.

Dans la baie de Narindra les prises par sortie des *kaokobe* pour 2005 s'élèvent à 14 kg par sortie, ce qui s'avère inférieur aux rendements observés pour la même période dans la baie d'Ambaro. Ils sont également inférieurs à ceux observés, à la fin des années 1990, pour les mêmes sites et engins (25 kg). Les rendements journaliers observés pour les *periky* en baie de Narindra (6 kg) sont également nettement inférieurs à ceux en baie d'Ambaro.

Structure des prises

Par espèce

Les captures de la pêche traditionnelle sont composées majoritairement de *F. indicus*. En 2005, dans la baie d'Ambaro, cette espèce représentait 87 % des mises à terre, suivie par *P. semisulcatus* (7 %) et les espèces du genre *Metapeaneus* (6 %). Toujours pour la même année, on observe une relative stabilité des captures mensuelles des espèces les moins importantes, tandis que celles de *F. indicus* connaissent une tendance décroissante.

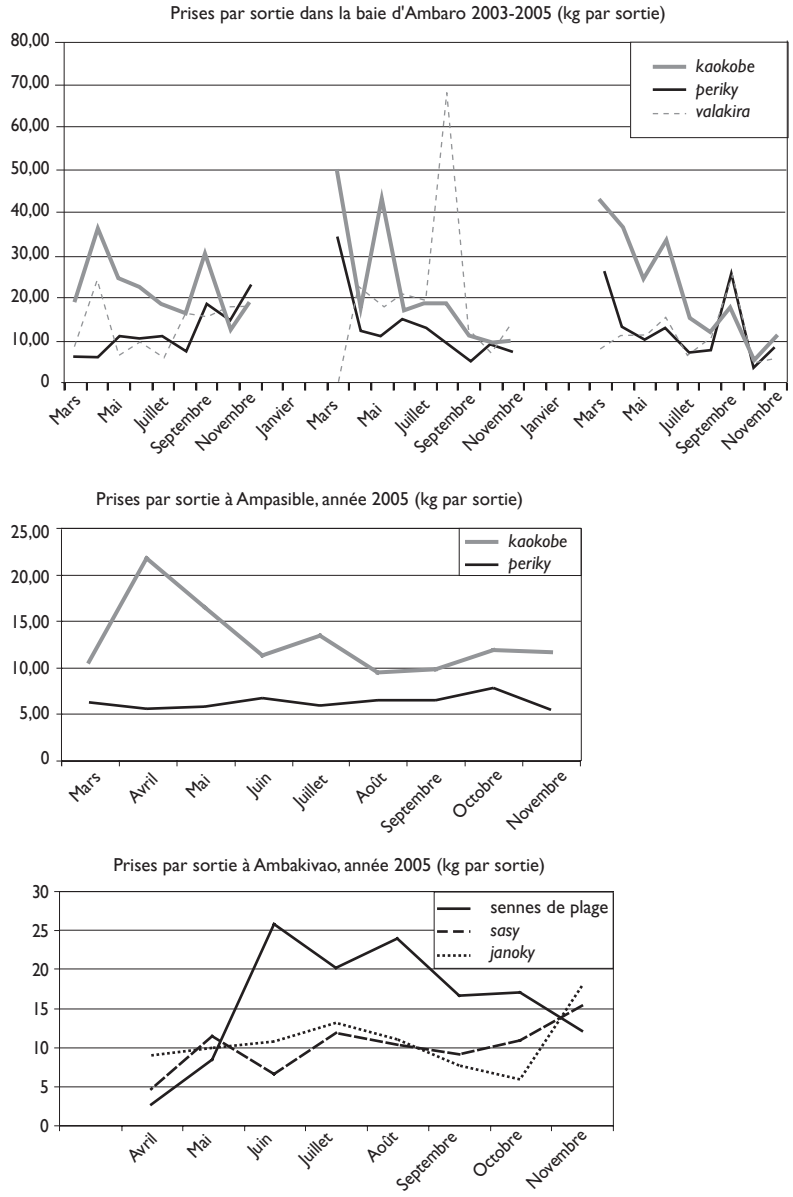


Fig. 59
Prises par sortie dans quelques sites d'enquête.

Pour 2005, dans la baie de Narindra, l'espèce *F. indicus* apparaît encore plus dominante puisqu'elle représente 97 % des captures totales. L'importance de *F. indicus* dans les prises semble plus liée à la *répartition* spatiale de cette espèce dans les différents stades de son cycle vital, qu'à des stratégies de pêche qui seraient orientées sur cette espèce. La croissance de l'effort de pêche traditionnelle vers des zones plus profondes et au large, due à l'aug-

mentation de la chute (hauteur) des sennes *kaokobe* et des filets maillants *periky*, n'a cependant pas induit jusqu'ici de changement visible dans la structure spécifique des captures[21].

Par calibre

Dans les pêcheries crevettières, la structure des prises par calibre commercial est un indicateur précieux pour caractériser l'exploitation, dans la mesure où elle est directement liée à la valorisation économique de la ressource. Les résultats présentés ici sont relatifs à la période 2003-2005.

Pour la baie d'Ambaro, la figure 60 montre pour chaque engin, taille de maillage et site d'enquête, la composition des débarquements de *F. indicus* regroupés en trois catégories :

– petites : calibres 100/120 et plus ;

– moyennes : calibres 80/100 à 40/60 ;

– grosses : calibres 30/40 et moins.

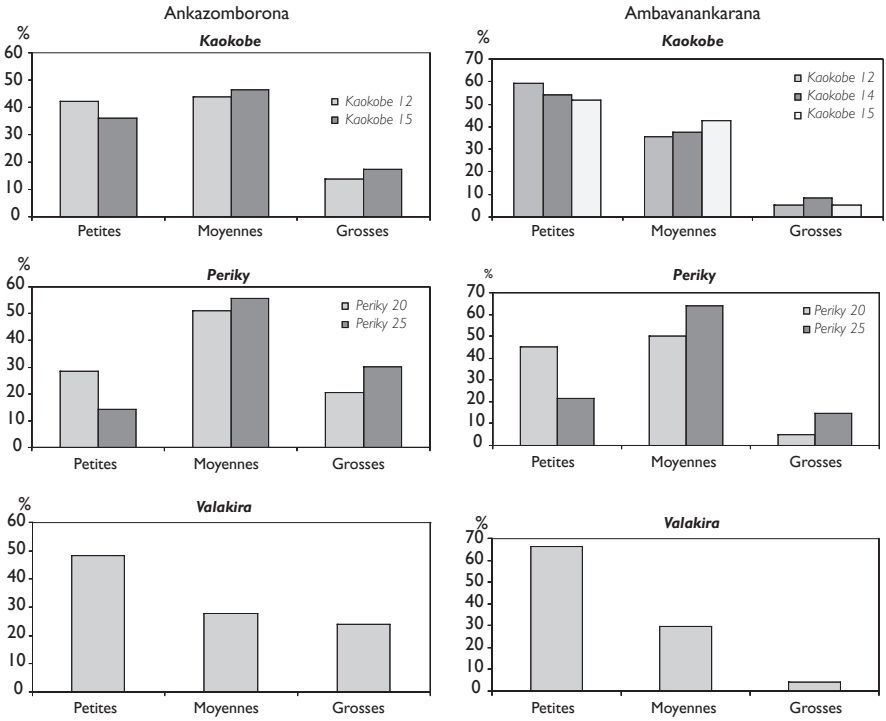


Fig. 60
Composition des captures de F. indicus *par calibre dans la baie d'Ambaro.*

21. Il convient de mentionner que la seconde espèce en abondance dans la baie d'Ambaro *M. monoceros* est certes disponible sur les zones profondes, mais de nuit, ce qui limite fortement son accessibilité à la pêche traditionnelle dont l'activité est très majoritairement diurne.

La capture des barrages *valakira* est caractérisée par l'importance des petits calibres à Ambavanankarana (68 %) comme à Ankazomborona (48 %). Les deux villages diffèrent quant à la part des grosses crevettes dans cet engin : 23 % à Ankazomborona contre 4 % seulement à Ambavanankarana. Dans ce dernier village, la composition des prises des *kaokobe* est assez proche de celles des *valakira*, tandis qu'à Ankazomborona les captures de cet engin sont dominées par la catégorie moyenne. Dans les deux sites on observe une relation entre maillage des *kaokobe* et structure des prises par calibre, mais l'effet est relativement limité en raison de la gamme de maillage assez étroite (de 12 à 15 mm). Le filet maillant *periky* présente les parts de moyennes et grosses crevettes les plus importantes avec un effet lieu significatif : pour cet engin la part des petites crevettes est plus forte à Ambavanankarana. Le changement de maillage de 20 à 25 mm pour les *periky* conduit à une augmentation des parts des moyennes et grosses crevettes, plus importante que pour les différents maillages des *kaokobe*. L'effet de l'augmentation de maillage sur les calibres semble donc plus significatif pour les engins maillants.

Par classe de longueur céphalothoracique

Un nombre important de longueurs céphalothoraciques (LC) de crevettes *F. indicus* a été mesuré dans les sites des côtes nord-ouest et ouest depuis la mise en place du nouveau système d'enquête, comme le montre le tableau 20.

La répartition par sexe de l'échantillon total n'est pas équilibrée : le nombre d'individus femelles est plus du double de celui des mâles. Enfin, toutes les observations de LC inférieure à 10 mm ou supérieure à 45 mm (pour les femelles), ou à 39 mm (pour les mâles), ont été retirées de l'échantillon.

L'examen des résultats acquis pour la baie d'Ambaro, où l'information est la plus abondante, permet de conclure à l'impact relatif des différents types d'engins sur les composantes par sexe et taille de la ressource, ainsi qu'aux effets de sélectivité des différents maillages d'un même engin. Pour les trois engins principaux, *kaokobe*, *valakira* et *periky*, on observe une dominance du nombre de femelles sur celui des mâles (fig. 61 à 63) ; mais il ressort aussi que cet écart est moindre pour les *valakira*. L'écart des modes des captures par LC selon le sexe (tab. 21) est de 8 mm pour les *periky*, 10 mm pour les *kaokobe* et seulement 6 mm pour les *valakira*.

Tableau 20
Nombre de mensurations réalisées de 2003 à 2005.

	Région			
Sexe	Ambaro 2003-2005	Narindra 2005	Tsiribihina 2005	Total
F	23 913	5 402	4 386	33 701
M	10 348	1 790	2 114	14 252
Total	**34 261**	**7 192**	**6 500**	**47 953**

Les captures de la pêche traditionnelle sont parfois de petite taille.
© A. de Rodellec/PNRC

Retour de pêche au valakira *à Ankazomborona (baie d'Ambaro).*
© C. Chaboud/IRD

Tableau 21
Modes des captures par LC, selon le sexe et l'engin de pêche, en baie d'Ambaro, années 2003 à 2005.

	Valakira	*Kaokobe*	*Periky*
Femelles	24 mm	30 mm	30 mm
Mâles	18 mm	20 mm	22 mm

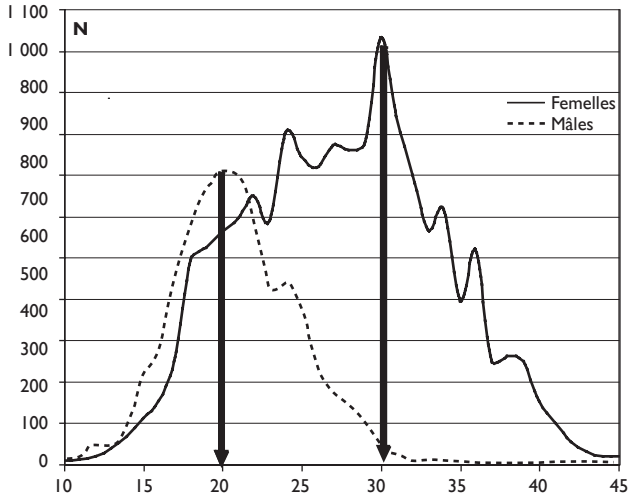


Fig. 61
Répartition par taille des captures des kaokobe *en baie d'Ambaro, 2003-2005.*

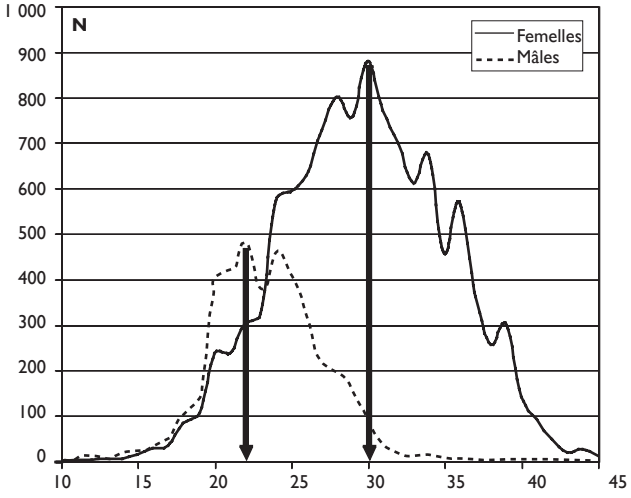


Fig. 62
Répartition par taille des captures de periky *en baie d'Ambaro, 2003-2005.*

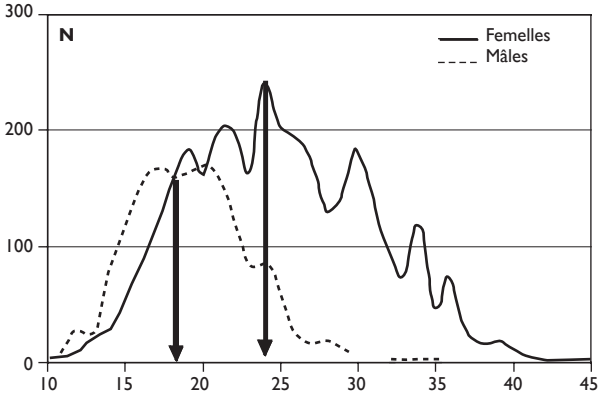


Fig. 63
Répartition par taille des captures de valakira *en baie d'Ambaro, 2003-2005.*

Le plus faible écart observé pour le *valakira* s'explique par le fait que cet engin exploite, en majorité, de jeunes individus pour lesquels l'écart de LC entre femelles et mâles est encore relativement faible. L'écart intermodal selon le sexe, plus grand pour le *kaokobe* par rapport au *periky,* tient probablement à la différence de sélectivité entre ces deux engins (Rodellec du Porzic et Caverivière, chapitre 6), qui influe sur les captures de petits individus.

Les différences de répartition en pourcentage des captures par LC, sexes confondus, pour les trois mêmes engins, sont présentées sur la figure 64. Les modes des *kaokobe* et des *valakira* apparaissent identiques (21 mm), et nettement distincts de celui des *periky* (24 mm).

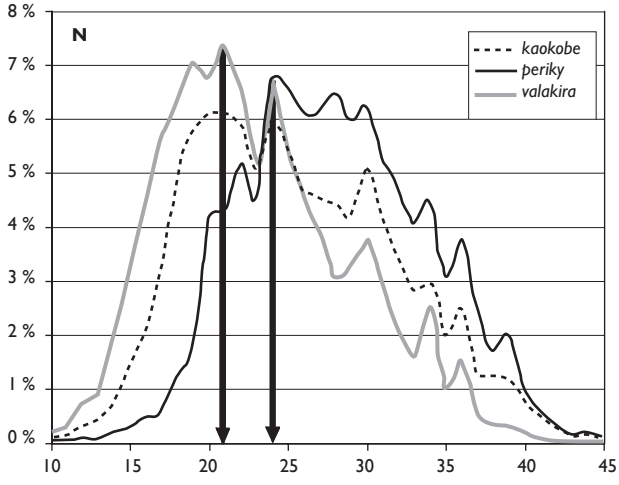


Fig. 64
Comparaison de la répartition des captures par taille des trois principaux engins en baie d'Ambaro, 2003-2005.

Pour les *kaokobe* et les *periky* il est particulièrement intéressant de comparer la composition des captures selon les différents maillages utilisés (fig. 65 et 66). On observe, pour les deux maillages (20 et 25 mm) des *periky*, deux modes bien distincts (24 et 27,5 mm) et des moyennes très proches (27,7 et 27,9 mm). La part des petits individus (inférieurs à 23 mm LC) est supérieure pour le maillage 20 mm, alors que les parts des grosses crevettes (supérieures à 33 mm LC) restent similaires. Pour les *kaokobe*, les modes associés aux maillages de 12 et 15 mm sont identiques et les moyennes très proches (24,1 et 24,9 mm). La différence observée entre les deux maillages concerne ici essentiellement les captures d'individus d'une longueur LC inférieure à 20 mm.

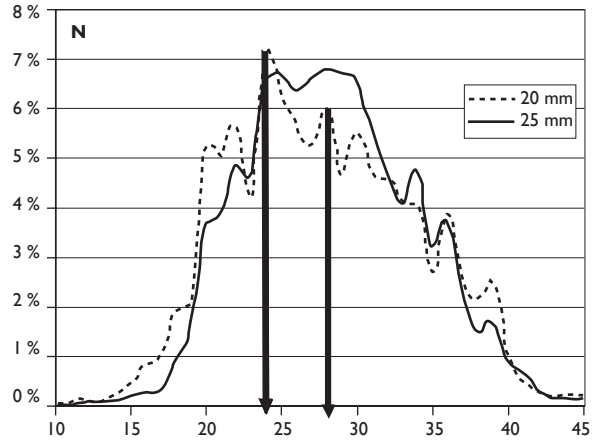


Fig. 65
Comparaison des captures par taille des periky *20 et 25 mm en baie d'Ambaro, 2003-2005.*

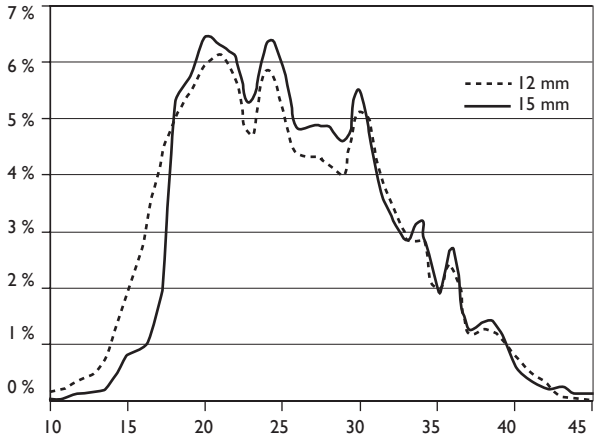


Fig. 66
Comparaison de la répartition des kaokobe *12 et 15 mm en baie d'Ambaro, 2003-2005.*

Pour l'année 2005, les distributions statistiques pour les *kaokobe* et les *periky* en baie de Narindra (fig. 67) apparaissent moins dispersées que pour la baie d'Ambaro. Elles ont toutes deux un mode de 30 mm et des moyennes (29,9 et 29,4 mm) bien supérieurs à ceux observés pour les mêmes engins en baie d'Ambaro. Une hypothèse probable, pour les *periky* et les *kaokobe*, serait que les unités opérant en baie de Narindra exploitent des zones plus profondes qu'en baie d'Ambaro.

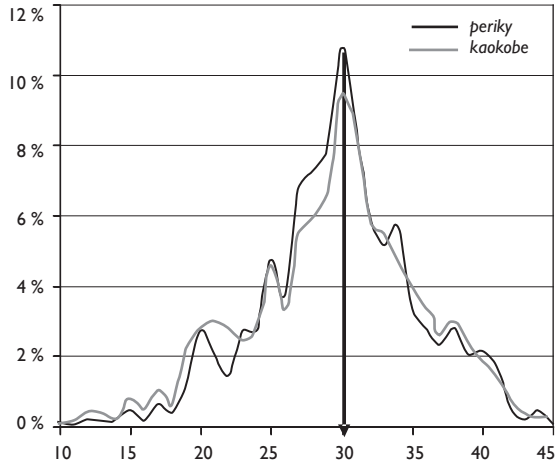


Fig. 67
Comparaison de la répartition des captures par taille des deux principaux engins en baie de Narindra, 2005.

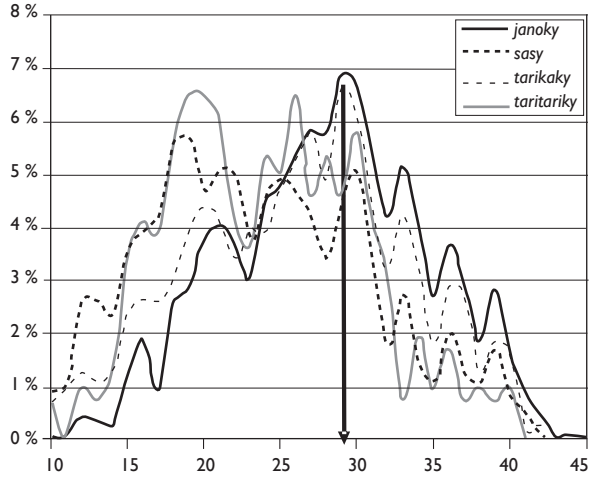


Fig. 68
Comparaison de la répartition des captures par taille des quatre principaux engins en région de Tsiribihina, 2005.

Enfin, nous présentons quelques résultats sur les distributions observées dans la région de Tsiribihina (fig. 68) pour les principaux engins de pêche. Le filet maillant *janoky* paraît plus sélectif que les autres engins locaux, avec une LC moyenne de 26 mm et une valeur modale de 29 mm. Les autres engins capturent nettement plus de petits individus ; mais leur répartition statistique est peu régulière, aussi est-il hasardeux d'en déterminer le mode. Les valeurs moyennes de LC associées à ces engins confirment leur caractère moins sélectif : 24,2 mm (*taritariky*), 26,1 mm (*tarikaky*) et 23,7 mm (*sasy*).

Quelques aspects biologiques

Sex ratio des crevettes capturées

Pour la baie d'Ambaro, le sex ratio des crevettes (défini comme le rapport du nombre de crevettes femelles sur le nombre total d'individus par classe de LC) est relativement similaire pour les trois années 2003 à 2005 (fig. 19 du chapitre 3). Le schéma moyen sur ces trois années montre que l'on part, pour la plus petite taille (10 mm) de notre échantillon, d'un ratio équilibré (0,5), qui diminue ensuite pour augmenter régulièrement à partir de 15 mm et se maintenir à la valeur de 1 au-delà de 35 mm. Pour la baie de Narindra, l'allure générale de la courbe de sex ratio est similaire à celle de la baie d'Ambaro, on note cependant que sa partie ascendante est observée à partir d'une LC plus grande (25 mm).

Indices de maturité sexuelle

Les figures 69 et 70 présentent la répartition des échantillons de crevettes femelles selon quatre stades de maturation sexuelle : immature (1), début de développement (2), bien développé (3), pré-ponte (4).

Pour les deux zones, la part maximale de femelles matures est observée en novembre. Dans la baie d'Ambaro, il y a très peu d'individus matures en début de saison de pêche, et ceci jusqu'en juillet. Par contre, en baie de Narindra, nos données indiquent une augmentation en avril-mai et un niveau réduit mais constant d'individus matures de juin à août.

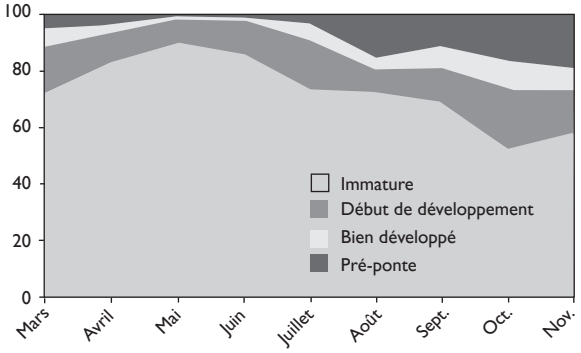


Fig. 69
Évolution mensuelle des stades de maturité sexuelle en baie d'Ambaro, années 2003-2005.

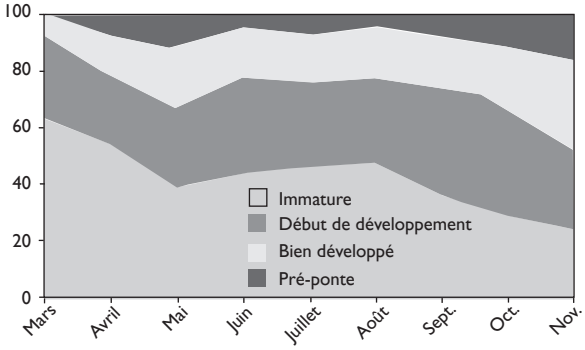


Fig. 70
Évolution mensuelle des stades de maturité sexuelle en baie de Narindra, année 2005.

Recrutement des crevettes en pêche traditionnelle

Le recrutement correspond à l'arrivée des jeunes individus qui deviennent capturables aux engins de pêche. Selon Lhomme (1981), le recrutement est signalé dans le temps par l'augmentation de la part des petites tailles dans les captures. Étant donnée l'existence d'engins très côtiers peu sélectifs dans la pêche traditionnelle comme les *valakira*, et d'autres sélectifs et moins côtiers comme les *periky*, nous avons préféré estimer la saisonnalité du recrutement de façon indépendante pour ces deux engins. En tenant compte de l'analyse précédente de la composition des prises par LC on a fixé la limite supérieure des petites tailles à 19 mm pour le *valakira* et à 23 mm pour le *periky*.[22]

Le profil saisonnier du recrutement est nettement contrasté entre les deux engins. Dans les deux cas, on observe un recrutement maximal en début de saison. Par contre, il tend à décroître toute l'année pour le *periky*[23] tandis que l'on observe un second pic de recrutement, de moindre intensité, pour le *valakira*, au mois d'août (fig. 71). Ce phénomène semble lié à l'existence d'une seconde cohorte, visible dans les captures des engins côtiers, mais non accessible, pour des raisons environnementales[24], aux engins de pêche du large, phénomène déjà décrit par Le Reste (1978), pour *F. indicus*. Il implique aujourd'hui de ne plus considérer le recrutement dans la pêche traditionnelle comme homogène mais distinct par engin selon la ou les fraction(s) de ressource exploitée(s), dans la mesure où le schéma d'exploitation de la pêche traditionnelle tend désormais à s'étendre sur toutes les classes de taille exploitables de l'espèce cible, ce qui n'était pas le cas lors de l'étude de Le Reste.

22. La LC moyenne des captures en crevettes est égale à 22,9 mm pour les captures des *valakira* et à 27,8 mm pour celles des *periky*.

23. Le profil saisonnier du recrutement pour les *periky* est proche de celui estimé pour la pêche industrielle par Razafindrakoto (chapitre 5).

24. On est alors en saison sèche et l'absence de dessalure ne repousse pas les crevettes sub-adultes et adultes plus au large.

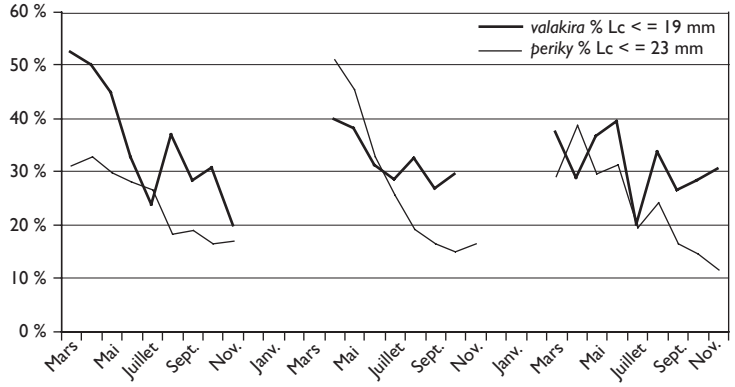


Fig. 71
Recrutement de jeunes crevettes pour les valakira *et les* periky *en baie d'Ambaro.*

Discussion et conclusion

La plupart des résultats présentés dans cette contribution confirment les résultats précédents du PNRC sur la pêche traditionnelle (Domalain et Rasoanandrasana 2001 a, b ; Chaboud *et al.* 2002 b ; Rasoanandrasana et Sandon 2003 ; 2004 b). Un des points importants concerne la croissance des captures traditionnelles en baie d'Ambaro de 1 100 tonnes en 2003 à 1 400 tonnes en 2005, alors que les unités industrielles, opérant dans la même zone, connaissaient pour cette dernière année une réduction dramatique de leurs mises à terre de *F. indicus* à 280 tonnes contre 1 121 l'année précédente. Une évolution semblable est observée en zone B (baie de Narindra), où les difficultés de la pêche industrielle ont conduit un armement industriel à cesser ses activités fin 2005. Une bonne compréhension de la dynamique d'exploitation traditionnelle et de son impact sur la ressource s'avère donc indispensable à une politique d'aménagement intégrant l'ensemble des types de pêche. Or, le nouveau système d'enquête présenté dans cette contribution ne s'avère pas suffisant à ce jour, pour suivre l'ensemble des techniques de pêche traditionnelle qui, depuis les petits chenaux de mangroves jusqu'à des fonds d'une dizaine de mètres, exploitent la crevette *F. indicus* sur l'ensemble de ses phases de vie exploitables. Un effort particulier doit être fait pour mieux évaluer l'importance des prélèvements sur les juvéniles de crevettes qui sont certainement très élevés en nombre, même s'ils ne le sont pas toujours en volume, et exercent un impact fort sur les prises des types de pêche exploitant des crevettes plus âgées. Ceci concerne tous les types de barrages (v*alakira, vonosaha, salepy*), petits chaluts à l'étalage (*pôtô*), chaluts à bras (*kopiko*) et filets moustiquaires (s*ihitra, horoba, sasy*). L'actuelle méthode d'enquête au retour de pêche gagnerait à être complétée par des enquêtes sur les sites de captures. Enfin, le rôle confié dans les enquêtes actuelles à des membres d'association de pêche peut être discuté, dans la mesure où ils ne sont pas incités,

ou n'ont pas intérêt, à rendre compte de l'importance de types de pêche prohibés par la réglementation. Une autre question délicate concerne l'évaluation de la pêche en période de fermeture, qui serait toujours pratiquée, et réduit le recrutement disponible à l'ouverture. Enfin, la question d'une meilleure connaissance de la pêche traditionnelle, dans l'ensemble des zones où elle se pratique, reste ouverte ; on a vu qu'actuellement seule la pêche traditionnelle de la baie d'Ambaro peut être considérée comme (assez) bien suivie par l'actuel système d'enquête. Les moyens matériels et humains étant forcément limités, une démarche réaliste serait d'approfondir, à court terme, les connaissances sur la pêche traditionnelle dans les baies d'Ambaro et de Narindra, l'extension du système de suivi statistique sur d'autres zones devant obligatoirement s'appuyer sur un renforcement des moyens humains.

Annexe I

Recensement des différents villages de pêche de la baie d'Ambaro.

Villages	Année	Pêcheurs	Pirogues	*Periky* 20 mm	*Periky* 25 mm	*Kaokobe* 12 mm	*Kaokobe* 14 mm	*Kaokobe* 15 mm	*Valakira*	*Pôto*
Ambavanankarana	2003	260	120	35	25	26	4	10	30	
	2004	250	100	6	32	30	4	4	30	
	2005	278	117	13	38	26	8	11	54	
Ampangahia	2003	150	65		4	36		4	5	
	2004	152	65		4	30		10	5	
	2005	120	67	7	184	37	14	8	31	
Ampanasina	2003	38	30	10	21	15		5	2	
	2004	40	39	10	21	12		7	2	
	2005	40	39	4	3	14	4	7	20	
Andavoanemboka	2003	160	40	50	50	23		17		
	2004	165	45	50	50	24		16		
	2005	145	45	2		30	1	5	3	
Ambodibonara	2003	250	75	10	6	10			50	
	2004	251	80	10	6	7		3	50	
	2005	248	78	7	3					
Bedara	2003	40	46	20	39	10				
	2004	38	46	20	39	10				
	2005	38	46	16	26				2	
Ankazomborona	2003	501	265	280	98	44		20	66	
	2004	873	667	421	90	30		13	26	
	2005	1 475	505	550	183	19	6	5	86	
Antsatrana	2003	264	83	35	1	21			12	
	2004	266	89	35	1	21			12	
	2005	266	89	178	13	13	4	8	67	
Ampampamena	2003	93	61	8	19	14		7	4	
	2004	98	65	8	19	10		11	4	
	2005	98	65	39		22			2	
Ankigny	2003	138	82	45					15	53
	2004	138	82	45					15	
	2005	138	82	46	4				15	
Maropamba	2003	nd	nd							150
	2004	nd	nd							
	2005	nd	nd							
Total	2003	**2 256**	**1 249**	**867**			**243**		**144**	
	2004	**2 271**	**949**	**529**	**149**	**71**	**0**	**24**	**57**	
	2005	**2 868**	**1 135**	**850**	**347**	**147**	**33**	**37**	**280**	

Nb : les villages sites d'enquêtes sont surlignés en blanc.
Source : PNRC.

Annexe 2

Recensement des engins dans la baie de Narindra.

Villages	Pêcheurs	Pirogues	*Periky* 20	*Periky* 25	*Kaokobe* 12	*Kaokobe* 15	*Valakira*
Ampasibe	1 200	155	10	15	105	25	54
Antonibe	220	46	7	18	40		15
Fongony	70*	30*	30		4		7
Marotaolana	204*	96*			2		0
Ampasinda va	37*	35*	3		2		21
Ambolikily	49*	22*	30		2		42
Antsamala	25*	12*	6		2		1
Total			**119**	**182**			**140**

Nb : toutes les données sont relatives à l'année 2005, à l'exception de celles marquées d'un astérisque, relatives à 2004, qui proviennent de RAFALIMANANA (2004 a).

Le chiffre élevé pour Ampasibe provient d'un dénombrement à l'ouverture, quand il y a afflux de migrants.

Annexe 3

Recensement des engins dans la région de Belo sur Tsiribihina, année 2005.

Villages	Année	Pêcheurs	Pirogues	*Janoky* 20 mm	*Janoky* 25 mm	*Janoky* 30 mm	*Tarikaky* 10 mm	*Tarikaky* 12 mm	*Tarikaky* 15 mm	*Taritarika* 10 mm	*Sasy*
Ambakivao	2005	340	220	65		90	40	41		102	138
Antsabora	2005	380	188	37	59	47	5	10	28		177

Source : enquêtes du PNRC.

Dynamique des populations des crevettes *Fenneropenaeus indicus* dans les quatre zones d'aménagement à Madagascar

Alain caverivière,
Herimamy Lalaniaina razafindrakoto

© C. Chaboud/IRD

Introduction

Le travail est basé sur l'analyse de cohortes par classes d'âge (Pope, 1972). Ce type d'analyse est plus fiable que les modèles globaux de Schaefer (1954), Pella et Tomlinson (1969) ou Fox (1970, 1975) où la structure démographique de la population n'est pas prise en compte et que l'analyse sur pseudo-cohortes basée sur une pêcherie à paramètres constants sur plusieurs années.

À partir d'observations sur les effectifs d'individus capturés par classe d'âge, l'analyse de cohortes estime combien il fallait d'individus en mer pour permettre cette capture, le coefficient de mortalité naturelle M (décès dus à toutes les causes autres que la pêche dans un intervalle de temps) étant supposé connu. L'analyse de cohortes remonte dans le temps à partir des captures des individus les plus âgés et les estimations des mortalités par pêche, et donc des effectifs, deviennent de plus en plus fiables au fur et à mesure que l'on va vers les plus jeunes classes d'âge.

Une modélisation explicative et prédictive par un modèle de Thompson et Bell (1934) sera ensuite réalisée à partir des résultats des analyses de

cohortes. Cette modélisation permet de simuler la réponse des productions à l'augmentation ou à la baisse de l'effort de pêche, on obtient ainsi des courbes de production en fonction de l'effort de pêche. La production peut être estimée en poids ou en valeur, ce dernier choix étant particulièrement intéressant quand, comme pour les crevettes, les prix au kg varient largement selon la taille des individus. Des explications plus détaillées sur les analyses de cohortes et le modèle de Thompson et Bell seront données au fur et à mesure de la progression de l'étude pour la première zone d'aménagement. Seuls les résultats principaux seront présentés pour les autres zones afin de ne pas alourdir l'étude.

Ce travail reprend les résultats présentés lors des ateliers d'octobre 2004 et octobre 2005 (SANDON *et al.,* 2005 ; CAVERIVIÈRE et RAZAFINDRAKOTO, 2006) pour certaines zones, avec actualisation par allongement de la période d'étude et modifications des équations de croissance, entre autres.

Zone d'aménagement A

Méthodologie, données utilisées et mise en forme

Méthodologie

Pour réaliser les analyses de cohortes, il faut utiliser le nombre d'individus capturés par classe d'âge. Il faut donc disposer des captures de tous les segments de la pêcherie, des distributions de fréquence en longueur pour ces segments et d'une équation de croissance permettant de transformer les effectifs d'individus par classe de taille en effectifs par classe d'âge.

Comme la crevette *Fenneropenaeus indicus* a une faible espérance de vie, de l'ordre de l'année, le pas de temps sera le mois ; et comme la croissance des mâles et celle des femelles sont très différentes, les analyses seront distinctes par sexe. On utilise l'équation de croissance en longueur de Von Bertalanffy : $Lc(t) = Lc_\infty (1 - e^{-K*(t - t_0)})$ qui estime la longueur céphalothoracique[25] à un âge (t). Elle comprend deux constantes paramétriques (quand t_0 est pris égal à zéro) calculées à partir des résultats des opérations de marquage-recapture réalisées sur l'espèce. La constante Lc_∞ est appelée longueur asymptotique et la constante K, appelée constante de croissance, détermine à quelle vitesse un individu atteint sa taille maximale. Nous avons utilisé des valeurs de 33,0 et 47,0 mm pour Lc_∞, de 0,209 et 0,225 pour K (mois), respectivement pour les mâles et les femelles (cf. chapitre 3). Il s'agit des paramètres pour la saison chaude, saison pendant laquelle la très grande majorité des captures est réalisée.

25. Du bord postérieur de la cavité oculaire à l'extrémité du thorax.

Pour cette zone, les courbes de croissance pour les mâles et les femelles ne permettent pas de déterminer un âge suffisamment précis au-delà de l'âge de 6 mois (trop peu de classes de taille et d'individus observés au-delà de la classe d'âge 6 mois) ; les individus capturés font partie des classes d'âge s'étendant de la classe 1 mois à celle regroupant les individus âgés de plus de 6 mois (classe 7+).

Pour les analyses de cohortes il faut choisir un coefficient de mortalité naturelle M qui s'applique aux différentes classes d'âge. Le Reste (1978), à partir de marquages effectués sur *F. indicus* en baie d'Ambaro, retient une valeur de 0,21 par mois pour l'ensemble des deux sexes. Marcille (1978), pour la même espèce à Madagascar, utilise dans ses travaux des valeurs de M variant de 0,15 à 0,25. Coss *et al.* (1993) utilisent une valeur de 0,18 pour les analyses de la pêcherie de *F. indicus* au Mozambique. Garcia (1977) calcule une valeur de 0,25 pour une espèce proche en Côte d'Ivoire. Nous retiendrons en première analyse une valeur de 0,20, commune aux deux sexes, pour toutes les classes d'âge exploitées. Une valeur de 0,30 a aussi été testée pour les plus petites crevettes et les plus grosses. Il est possible en effet que les mortalités naturelles soient quelque peu accrues pour les jeunes du fait d'une plus forte prédation et pour les plus âgées par l'effet de la sénescence. Ainsi, peu de recaptures de grosses crevettes marquées ont été observées (Rafalimanana et Caverivière, chapitre 3), cela est aussi le cas pour une autre espèce benthique à vie courte, le poulpe *Octopus vulgaris* (Domain *et al.,* 2002). Les valeurs choisies sont un peu différentes des valeurs utilisées pour les femelles (0,20) et les mâles (0,18) dans des analyses précédentes par pseudo-cohortes de *F. indicus* à Madagascar (Dintheer *et al.,* 1998 ; Moguedet *et al.,* 2000).

Les analyses de cohortes classiques sont dites ascendantes, elles remontent dans le temps à partir des individus les plus âgés. Comme la méthode est sous-paramétrée, elle a besoin qu'une valeur de mortalité par pêche F soit fixée pour initier les calculs, soit le F de la classe d'âge la plus âgée dans le cas d'une analyse ascendante dans la méthode d'origine. Une méthodologie plus récente et un peu différente peut être appliquée. Elle initialise le F de la classe d'âge précédente et utilise une procédure d'ajustement-stabilisation par itérations sur des moyennes des F des trois classes les plus âgées. Cette méthodologie a en principe l'avantage de ne fournir qu'une solution quelle que soit la valeur initiale de F choisie, elle a été employée lors des dernières analyses concernant *F. indicus* à Madagascar (Sandon *et al.,* 2005 ; Caverivière et Razafindrakoto, 2006). Elle présente cependant des inconvénients : il peut arriver que les estimations mensuelles des mortalités par pêche F du groupe d'âge terminal soient négatives, et aussi que la procédure d'ajustement-stabilisation par itérations ne fonctionne pas (en particulier pour les mâles) conduisant à des valeurs des F de toutes les classes d'âges tendant vers zéro et des effectifs de crevettes tendant vers l'infini. Nous avons finalement choisi d'effectuer systématiquement des analyses de cohortes ascendantes classiques. Il se pose alors le choix des mortalités par pêche F pour le dernier groupe d'âge, qui sont très différentes suivant les mois, comprises entre des valeurs proches de zéro (quand la

pêche est fermée) et des valeurs élevées à l'ouverture de la pêche. Nous avons choisi des F terminaux en rapport avec les captures des mois de l'année pour le dernier groupe d'âge. Il est donné la valeur 0,8 au F terminal pour la prise mensuelle la plus élevée de ce groupe dans l'année, soit le quadruple de la valeur du coefficient de mortalité naturelle. Les valeurs des F terminaux des autres mois sont calculées au prorata de leurs prises par rapport à la prise mensuelle maximale du dernier groupe d'âge.

La modélisation prédictive de type Thompson et Bell qui sera appliquée à l'issue des analyses de cohortes sera décrite en fin d'article pour bénéficier d'exemples permettant de comprendre ce type de modèle.

L'analyse des cohortes : les paramètres importants, l'application aux espèces à vie courte, la robustesse

Les analyses de cohortes mises en œuvre remontent dans le temps à partir des captures des individus les plus âgés et permettent d'estimer les mortalités subies et les effectifs des différentes classes d'âge présentes dans le milieu.

Il faut donc connaître la croissance moyenne en taille ou poids des individus pour les répartir dans des classes d'âge. La façon la plus fiable d'effectuer cette répartition consiste à disposer d'un échantillon suffisant d'individus dont l'âge a pu être déterminé avec une bonne précision, par la « lecture » de pièces osseuses ou d'écailles par exemple. Les individus de même taille ayant des âges différents étant alors répartis en fonction de leur proportion numérique dans les différents âges. Pour les crevettes cela n'est pas possible et les croissances de celles étudiées dans cet ouvrage ont été estimées à partir d'individus capturés et marqués, relâchés dans le milieu, et recapturés ensuite par les pêcheurs. Cette méthode est quand même bien plus fiable qu'une estimation de la croissance par le suivi dans le temps de modes dans des distributions de fréquence pour des espèces tropicales à vie courte, les modes présents dans une courte période de temps pouvant provenir de modifications de la disponibilité des espèces aux engins de capture (enfouissement des crevettes dans le sédiment, changement de stratégie des navires de pêche,...). Les crevettes sont réparties dans les classes d'âge par la « méthode du hachoir » (le « slicing » des anglophones), qui consiste à placer toutes les crevettes comprises entre deux valeurs de taille dans la même classe d'âge. Bien que d'inévitables approximations existent, on peut raisonnablement espérer que la croissance des espèces a été suffisamment bien appréhendée pour que ce paramètre ne soit pas un facteur de biais important pour les résultats des analyses de cohortes.

Les analyses de cohortes estiment des mortalités totales à partir du nombre d'individus d'une classe d'âge qui disparaît dans une période de temps, ici le mois. La mortalité totale est la somme de la mortalité due à la pêche et de la mortalité naturelle (toutes les autres causes de mort : maladie, prédation, vieillesse). Les coefficients de mortalité par pêche F sont estimés après fixation de valeurs pour les coefficients de mortalité naturelle M par classe d'âge, ces derniers sont donc un paramètre important susceptible de modifier les résultats des analyses de cohortes. Dans nos analyses le coefficient M a été fixé à 0,2 sur une base mensuelle pour toutes les classes d'âge. Le tableau ci-dessous donne une idée

Tableau 22
Taux de survie (%), lorsqu'il n'y a pas de pêche, à différents mois à partir du temps t = 0 pour 5 valeurs différentes du coefficient M de mortalité naturelle.

M	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
% à 4 mois	30,1	36,8	44,9	54,9	67,0
% à 8 mois	9,1	13,5	20,2	30,1	44,9
% à 12 mois	2,7	5,0	9,1	16,5	30,1

de l'importance que peut avoir ce paramètre, ainsi pour un M de 0,15 il y a 30 % de survivants de l'effectif initial à l'âge de 8 mois quand il n'y a pas de pêche, ils ne seraient que 9 % si la valeur de M était de 0,3. La valeur de M = 0,2 est encadrée par des valeurs similaires utilisées lors de travaux antérieurs dont nous avons déjà parlé, sur la même espèce à Madagascar ou ailleurs, ou sur des espèces proches, certaines de ces valeurs ayant été obtenues à partir de marquages. Nous avons aussi indiqué que des valeurs supérieures de M étaient probables pour les plus jeunes et les vieux adultes. Des analyses faites avec des valeurs de 0,3 pour ces classes d'âge n'ont pas engendré de changements notables dans les résultats du fait de la faible importance de ces individus dans les captures.

De ce qui précède, il semble raisonnable d'espérer que la valeur du paramètre M utilisée dans nos analyses est proche de la réalité. En outre, il est maintenant bien connu que des erreurs d'estimation de M n'entachent guère les résultats des analyses quand la capture représente une fraction importante du stock, soit quand les coefficients de mortalité par pêche F sont aussi élevés ou plus que M dans la phase exploitée, ce qui sera le cas comme nous le verrons pour les crevettes étudiées.

Nous avons déjà indiqué que la méthode d'analyse de cohortes est sous-paramétrée, qu'elle a besoin qu'une valeur de mortalité par pêche F soit fixée pour initier les calculs, soit le F de la classe d'âge la plus âgée dans une analyse ascendante remontant dans le temps. Nous avons aussi vu que dans le cas de la crevette *F. indicus* et plus généralement pour les espèces à vie courte, l'utilisation d'un pas de temps court (le mois) et la grande variabilité des captures par classes d'âge peuvent entraîner à de mauvais résultats de part le calcul de mortalités par pêche négatives ou/et la non-convergence des itérations. Cela nous a conduits à utiliser une méthodologie un peu particulière, explicitée un peu plus haut et à ce jour inédite, pour donner des valeurs aux F de la dernière classe d'âge.

Il est apparu utile de tester les résultats des analyses de cohortes avec d'autres valeurs pour les F terminaux. En prenant comme exemple les femelles de la zone A en 2003, l'analyse de cohortes, dont nous verrons les résultats par la suite, utilise comme valeur de F initiale celle de la classe 7+, le sigle + indiquant qu'il s'agit des quantités d'individus de plus de 7 mois. Ce coefficient a été tout d'abord estimé suivant la méthodologie explicitée précédemment, puis à ces valeurs mensuelles ont été ajoutées ou retranchées des valeurs multiples de 0,1 (hormis pour les mois où il n'y a pas eu de pêche et, dans les cas où les soustractions conduisent à des valeurs négatives des mortalités par pêche, les valeurs négatives impossibles ont été remplacées par la valeur 0,001). Ainsi, on peut couvrir une très large gamme de mortalités allant des valeurs estimées les plus probables - 0,2 à ces mêmes valeurs + 0,4. Les résultats des tests sont présentés sur la

figure 72 où l'on voit que la convergence est rapide et peut être considérée comme très bonne dès la classe d'âge 4, et dès la classe d'âge 5 si l'on ne tient pas compte de la série à laquelle la valeur 0,2 a été retranchée, conduisant à des valeurs de mortalité par pêche très peu probables. En sommant les captures des classes 1 à 4, ces bonnes estimations concernent près de 61 % des individus capturés, et surtout plus de 79 % pour les classes d'âge 1 à 5. Les remarquables propriétés de convergence des analyses de cohortes ascendantes dans les estimations des mortalités par pêche des groupes d'âges assurant la majorité des captures font que les incertitudes sur les F terminaux n'ont pas ou très peu d'importance (cf. CAVERIVIÈRE, 1982, pour des exemples).

La pêche des crevettes sur la côte ouest de Madagascar est soumise à une période de fermeture d'environ 3 mois. Cette fermeture de la pêche pose un petit problème dans les résultats des analyses de cohortes, qui est généralisable aux espèces à vie courte. Pour le mois qui précède la fermeture de la pêche les mortalités par pêche obtenues peuvent être très importantes pour les classes d'âge élevées. En effet, les classes d'âge qui devraient correspondre à l'ouverture suivante de la pêche n'existent plus du fait de la mort de ces crevettes, et le phénomène de convergence de l'analyse des cohortes ne peut plus jouer à ce niveau. Avec une valeur fixée de la mortalité naturelle, toutes les crevettes qui devraient avoir survécu à cette mortalité sont considérées avoir été décimées par la pêche alors que la sénescence a joué son rôle, d'où des valeurs de F élevées. Cela n'a guère d'importance sur les résultats globaux des analyses à l'échelle de l'ensemble de la saison de pêche puisque les captures en fin de saison sont faibles, mais cela est visuellement gênant sur les graphiques des évolutions des mortalités par pêche mensuelles.

Il est préférable de « corriger » ces mortalités inexactes en les remplaçant par les mortalités des mêmes classes d'âges du mois précédent (ou d'une moyenne des 2 à 3 mois précédents).

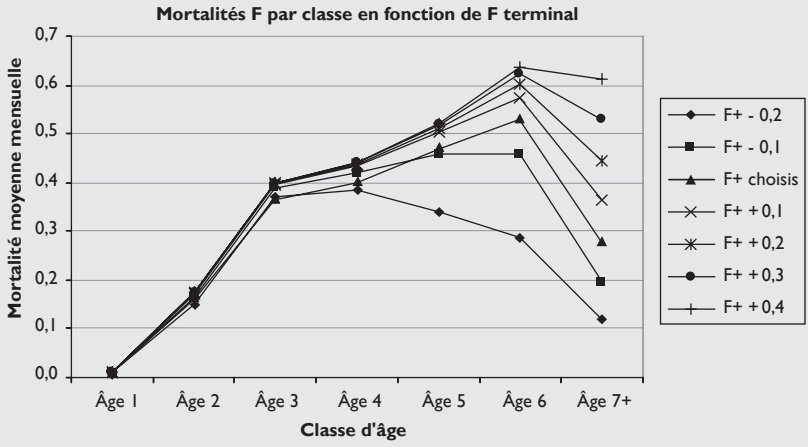


Fig. 72

Illustration de la propriété de convergence de l'analyse de cohortes (femelles F. indicus *en 2003) en fixant différentes valeurs pour la mortalité par pêche terminale (F+) d'initialisation des calculs. Coefficient de mortalité naturelle M fixé à 0,2/mois.*

On peut conclure que les analyses de cohortes réalisées sur les crevettes côtières de Madagascar à partir de paramètres suffisamment précis concernant les croissances et les mortalités naturelles, couplés à une grande robustesse quant au choix d'initialisation des calculs de la mortalité par pêche terminale, doivent fournir des résultats d'une bonne fiabilité quand les données recueillies sur les activités de pêche reflètent bien les captures réelles. Ceci bien qu'il y ait moins d'effet « tampon » que pour des espèces à plus longue longévité (des modifications de la capturabilité des espèces aux engins de pêche, des stratégies de pêche des navires…, sont moins lissées quand on travaille sur une base mensuelle que sur une base annuelle) et bien que l'application de l'analyse des cohortes à des espèces à vie courte puisse poser quelques problèmes particuliers.

Données et mise en forme

Seules les pêches industrielle et traditionnelle sont prises en compte. La pêche artisanale qui est pratiquée par de petits chalutiers appelés catchers est très limitée par rapport aux pêches industrielle et traditionnelle. Elle atteint moins de 50 tonnes de captures annuelles en dehors des activités de collecte auprès de la pêche traditionnelle. Par conséquent, elle n'est pas intégrée dans l'analyse suivante.

Pêche industrielle

Les deux armements opérant dans la zone A nous ont communiqué les captures traitées en mer ou/et en usine par calibre sur une base mensuelle. Ces données sont disponibles à partir de l'année 2001.

Les calibres, en nombre d'individus, sont différents selon qu'il s'agit de crevettes entières (HO pour Head On), étêtées (HL pour Head Less) ou décortiquées (Dec. ou PUD), par kg, livre anglaise ou autres. Les quantités de crevettes transformées sont converties en poids équivalents de crevette entière dans les calibres correspondants par des clés appropriées. Les quantités assez réduites qui ne sont pas calibrées, comme le vrac, sont ensuite ventilées dans les calibres au prorata des pourcentages en poids de ces calibres en équivalent crevettes entières. Les quantités en équivalent de crevettes entières figurent au tableau 23, ainsi que les données de la base nationale Banacrem qui sont un peu inférieures aux premières de 2001 à 2004. On notera la très importante diminution des captures de la pêche industrielle en 2005, sur laquelle nous reviendrons.

Tableau 23
Quantités (kg) de Fenneropenaeus indicus *capturées en zone A pour les deux grands segments de la pêcherie, période 2001-2005.*

	2001	2002	2003	2004	2005
Pêche industrielle	490 650	592 040	992 960	1 121 360	280 330
Industriel Banacrem	437 200	595 600	885 170	1 104 660	
Pêche traditionnelle	983 000	983 000	983 000	1 390 000	1 222 000
Total	**1 473 650**	**1 575 040**	**1 975 960**	**2 511 360**	**1 502 330**

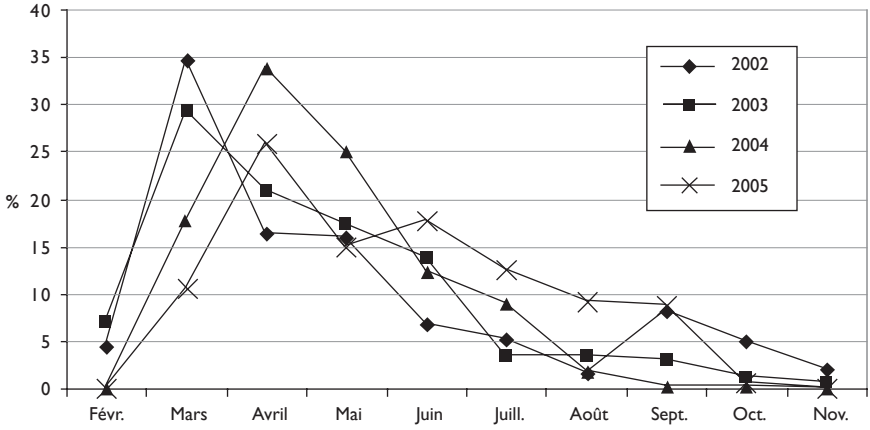


Fig. 73
Évolutions des pourcentages mensuels, par rapport aux totaux annuels 2002-2005, des captures de Fenneropenaeus indicus *par la pêche industrielle en zone A.*

Pour certains armements, il peut exister un délai conséquent entre la pêche d'une crevette et son conditionnement, en particulier en début de saison, quand la pêche est importante. Cette possibilité de biais dans l'estimation des captures mensuelles, et dans la répartition en calibre si cette répartition est différente d'un mois à l'autre, a été étudiée de différentes manières[26], pour arriver à la conclusion que le phénomène pouvait probablement être négligé en 2001-2002, mais pas après. Pour les années suivantes, nous nous sommes donc servis de la base Banacrem, ainsi que de fichiers de traitements à bord des crevettiers, pour ventiler l'ensemble des captures dans les mois. La figure 73 représente la répartition mensuelle des captures annuelles de *F. indicus* par la pêche industrielle de 2002 à 2005 : les captures sont les plus élevées dans les mois pleins suivant l'ouverture de la saison de pêche, soit mars en 2002-2003 et avril en 2004-2005, elles diminuent très rapidement ensuite (moins en 2005 du fait de la faiblesse « anormale » de l'abondance au début de la saison de pêche), quoique une petite remontée soit visible certaines années en septembre.

L'étape suivante consiste à transformer les quantités par calibre en nombre d'individus par classe de taille de 1 mm de longueur céphalothoracique. Pour cela on utilise les nombreuses mensurations par calibre faites dans les principales usines en 1998-2000. Les distributions issues de ces mensurations sont différentes par sexe (car la croissance est différente) et permettent de répartir les quantités débarquées par classe de taille et sexe. Dans un premier temps, à partir du poids des échantillons mesurés, on calcule l'effectif des crevettes

26. Par comparaison des structures en calibre des glaciers et des congélateurs, par comparaison des structures congélateurs des deux différents armements de la zone, et par comparaison avec les captures mensuelles dans la zone issues de la base Banacrem.

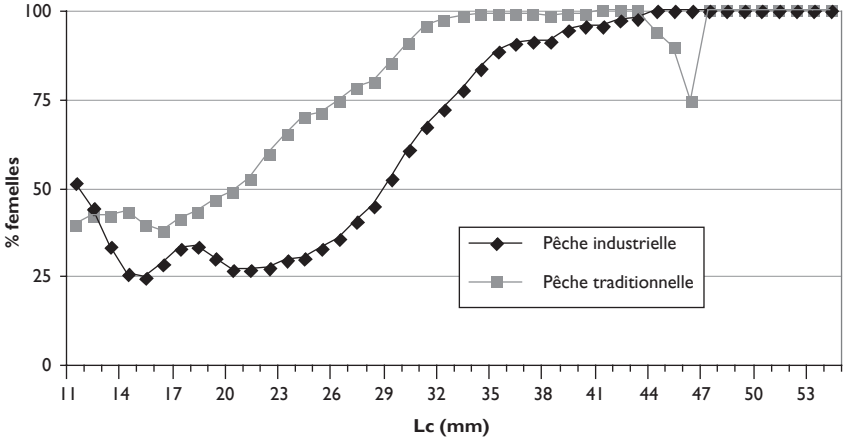


Fig. 74
Pourcentages des femelles par classe de taille dans les captures de la pêche industrielle et traditionnelle en 2003.

par classe de taille et par sexe pour 1 kg (mâles + femelles) dans chaque calibre d'équivalent crevette entière. Une multiplication de ces effectifs par les captures mensuelles en poids de chaque calibre donne les effectifs d'individus capturés par classe de longueur, sexe et mois dans chaque calibre. Les distributions dans les calibres sont ensuite sommées pour avoir une distribution mensuelle globale par sexe et classe de taille. L'évolution des sex ratios (ici le pourcentage des femelles) par taille est représentée sur la figure 74 : à la naissance le sex-ratio est théoriquement de 50 %, puis il y a plus de mâles dans les captures d'individus de petites tailles car leur croissance étant plus lente ils mettent plus de temps pour passer d'une classe de taille à la suivante. Dans les grandes tailles, le phénomène est inverse car les mâles y sont plus âgés que les femelles et ont un coefficient de mortalité naturelle plus élevé.

La dernière étape du prétraitement consiste à ventiler ces distributions dans des classes d'âge d'un mois. Pour cela, à partir des équations de croissance, un âge est attribué à chaque classe de taille. Les effectifs d'individus par classe de taille sont ensuite sommés dans les classes d'âge correspondantes. On obtient ainsi pour chaque sexe, les effectifs d'individus capturés par mois et par classe d'âge.

Les inconvénients de ce système sont la lourdeur des calculs des deux premières étapes par rapport à l'utilisation de la base statistique nationale Banacrem et l'existence de quelques possibilités de biais (il y en a aussi dans Banacrem). Son avantage est la disponibilité beaucoup plus rapide des données grâce à la diligence des armateurs. On peut ainsi espérer avoir une analyse des résultats d'une année dès le mois de janvier de l'année suivante. Enfin, on pourra se servir de ce système pour traiter plusieurs espèces de crevettes, alors que seule la crevette *Fenneropenaeus indicus* est individualisée dans la base Banacrem.

Pêche traditionnelle

Pour la pêche traditionnelle, on utilise les récents travaux de recensement, évaluation des captures et échantillonnages biologiques, réalisés par le PNRC dans la région de la baie d'Ambaro de 2003 à 2005. Les évaluations de 2003 seront considérées comme valables pour 2002 et 2001. Une description des engins de pêche et les résultats obtenus à partir des enquêtes de la pêche traditionnelle sont détaillés dans le chapitre précédent.

Les prises cumulées en *F. indicus* des trois principaux engins de pêche qui sont le *valakira*, le *kaokobe* et le *periky* sont indiquées au tableau 23.

Les distributions de fréquence pour les principaux engins de la pêche traditionnelle sont représentées sur les figures 61 à 63 du chapitre précédent. Il est important de noter que les filets maillants *periky* capturent une proportion bien plus forte de grosses crevettes que les deux autres engins, et même que les chaluts de la pêche industrielle, et leur part dans les captures de pêche traditionnelle est maintenant plus élevée que la senne *kaokobe*.

Le calcul des effectifs capturés par classe de taille commence par le calcul des distributions par sexe et par engin, regroupées en 3 trimestres (mars-mai, juin-août, septembre-novembre) pour avoir suffisamment d'individus échantillonnés tout en prenant en compte les variations saisonnières des distributions de fréquence par engin. On estime ensuite les poids échantillonnés à partir des relations taille-poids de Rafalimanana (2003). Puis, comme pour la pêche industrielle, on calcule ensuite la distribution en nombre de mâles et de femelles pour un kg d'échantillon (M + F) ; on multiplie cette distribution par les prises mensuelles totales par engin ; enfin on somme par mois les effectifs d'individus capturés de chaque sexe par les différents engins et on les répartit en classes d'âge à partir des équations de croissance.

L'évolution du pourcentage de femelles par classe de taille est présentée sur la même figure (fig. 74) que pour la pêche industrielle. Pour la pêche traditionnelle, le pourcentage des femelles dépasse 50 % à une taille nettement plus faible qu'en pêche industrielle. Cela peut s'expliquer, au moins en partie, par le fait que les mâles sortent des estuaires à des tailles plus petites que les femelles : l'âge, qui détermine la maturité sexuelle, serait le facteur principal de migration vers la mer et pour un même âge les mâles sont plus petits que les femelles.

Résultats

Les résultats concernent la période 2001-2005, ils ne prennent pas en compte la découverte en 2006 d'importantes pêches par des engins de pêche traditionnelle considérés auparavant comme négligeables : les *pôtô*, qui ont subi une évolution dans leur mise en œuvre, et les *vonosaha*. Ces engins sont très peu sélectifs et capturent de toutes petites crevettes, composées en bonne partie de *F. indicus*. Des simulations seront effectuées en fin d'étude de la zone pour estimer l'influence de leurs captures sur la dynamique des populations de l'espèce.

Poids moyens individuels, nombre d'individus et tonnages capturés par sexe

Les poids moyens des individus capturés pour chaque sexe ont été calculés. En pêche industrielle ils varient entre 13 et 14,8 g pour les mâles et entre 14 et 17,5 g pour les femelles. Ils sont plus faibles en 2003 et 2005 que pour les trois autres années ; la baisse est particulièrement marquée pour les femelles en 2005, probablement en rapport avec les faibles abondances de début de saison. Ceux observés en pêche traditionnelle sont stables autour de 15,3 g pour les femelles, ils varient entre 8,9 et 9,6 g pour les mâles avec les valeurs les plus élevés en 2004 et 2005. Comme prévu à partir des distributions de fréquence, les poids moyens individuels pour la pêche traditionnelle sont un peu plus faibles que pour la pêche industrielle (sauf le cas particulier de 2005), surtout pour les mâles.

Les estimations mensuelles des effectifs de mâles et de femelles capturés par la pêche industrielle et par la pêche traditionnelle, issues des méthodes de calcul décrites plus haut, sont représentées sur la figure 75. En pêche industrielle, les effectifs des mâles sont supérieurs à ceux des femelles, alors qu'en pêche traditionnelle les femelles dominent fortement en raison d'un sex ratio plus favorable. Pour l'ensemble des composantes de la pêcherie les femelles dominent largement.

Pour les captures en poids par sexe les quantités de mâles sont encore supérieures à celles des femelles en pêche industrielle, la domination pondérale des femelles est très forte en pêche traditionnelle, moindre pour l'ensemble des deux segments.

Captures pondérales par sexe et classes d'âge

Elles sont calculées mensuellement à partir des effectifs d'individus capturés par classe d'âge multipliés par le poids moyen d'un individu de la classe, ce dernier étant calculé à partir des distributions de fréquence de longueur dans chaque classe et des relations longueur-poids.

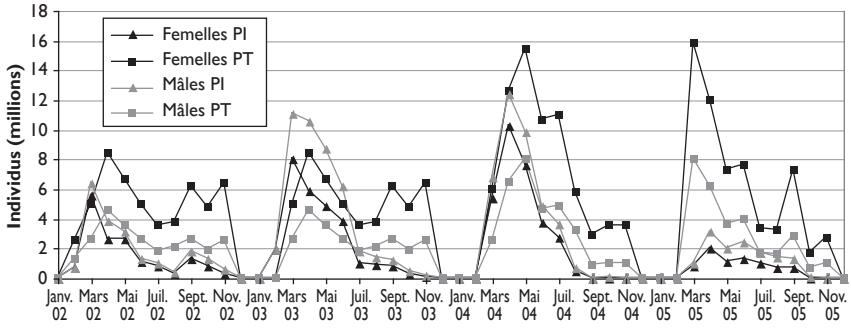


Fig. 75
Nombres d'individus capturés par sexe pour la pêche industrielle (PI) et la pêche traditionnelle (PT), période 2002-2005.

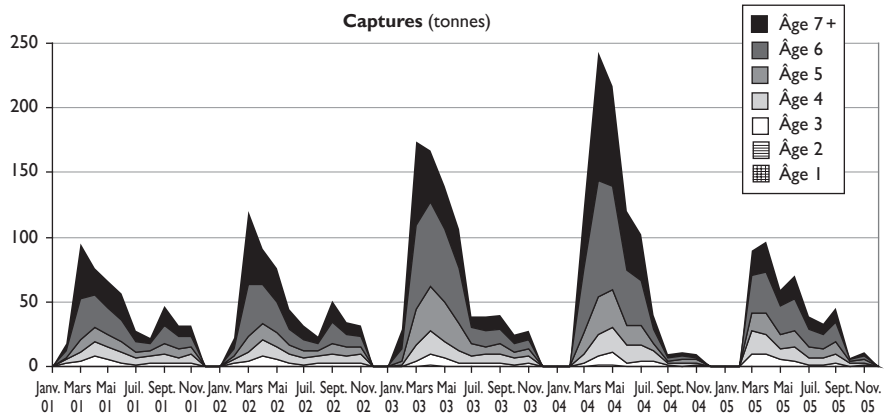


Fig. 76
Captures mensuelles par classe d'âge des F. indicus *mâles en zone A.*

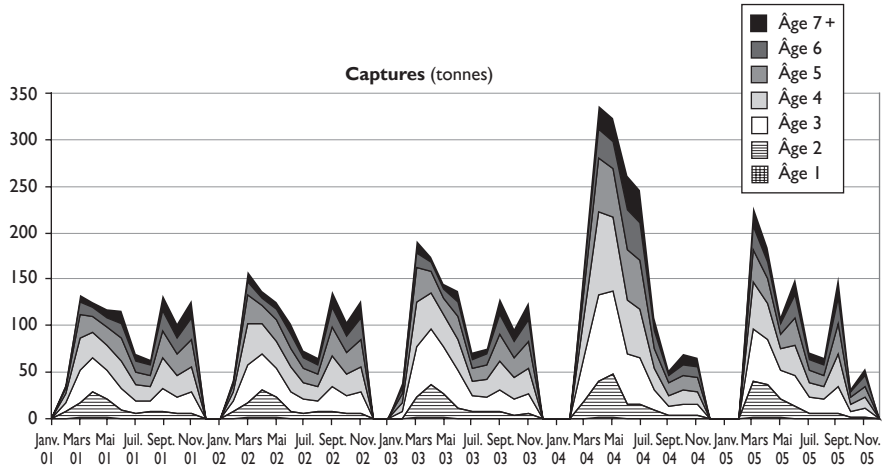


Fig. 77
Captures mensuelles par classe d'âge des F. indicus *femelles en zone A.*

Les évolutions mensuelles sont représentées sur les figures 76 et 77. Les classes 6 et 7+ sont prépondérantes dans les captures des mâles, en rapport avec leur faible croissance. Après la classe d'âge 3 pour les femelles (classe de plein recrutement), la part des classes suivantes diminue de manière assez proportionnelle avec l'augmentation de l'âge.

Évolution du recrutement

L'entrée des jeunes dans la pêcherie (recrutement) commence à la classe d'âge 1 (individus ayant entre 1 et 2 mois) pour les mâles et les femelles. Les abondances dans le milieu naturel de cette classe d'âge, issues des résultats mensuels des analyses de cohortes, sont représentées sur la figure 78.

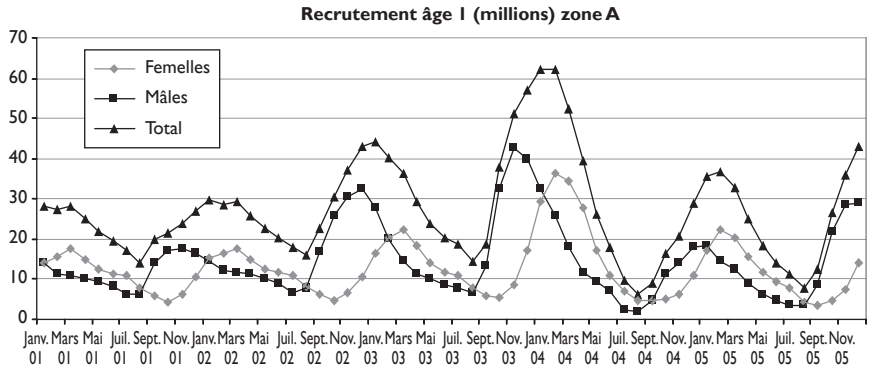


Fig. 78
Évolution du recrutement des Fenneropenaeus indicus *mâles, femelles et total.*

On distingue sur la figure des dômes bien marqués en saison chaude et pluvieuse (décembre-mars), avec des valeurs élevées en saison chaude 2002-2003 et encore plus fortes pour la saison 2003-2004 qui montre ainsi un excellent recrutement, 1,7 fois plus élevé que celui de la saison suivante qui est, lui, le plus faible de la série. Les variations annuelles du recrutement sont en rapport avec les prises (tabl. 23). Les mâles sont généralement plus abondants que les femelles et il y a un décalage entre les pics de recrutement des mâles et des femelles, ceux des mâles se situant avant ceux des femelles. Nous n'avons pas d'explication à ce décalage qui pourrait provenir des distributions de fréquences (et des sex ratios afférents) utilisées en pêche industrielle et traditionnelle.

Biomasses

Le calcul des biomasses par classe d'âge est obtenu par multiplication des effectifs d'individus dans la mer avec le poids moyen d'un individu dans chaque classe d'âge. Les évolutions des biomasses mensuelles sont représentées aux figures 79 et 80 pour les mâles et les femelles. Les plus fortes biomasses des mâles et des femelles sont observées les mois de mars (avril pour les femelles en 2004), en concordance avec le recrutement de saison des pluies et à la fermeture de pêche, protégeant les stocks les trois mois précédents. Les biomasses de 2003 et 2004 sont les plus élevées du fait d'un bon niveau de recrutement comme indiqué plus haut. Les plus faibles niveaux pour les mâles sont observés d'août à octobre, quand l'abondance en mer est très faible en fin de saison de pêche industrielle et avant le recrutement de saison sèche pour la pêche traditionnelle en estuaire. Pour les femelles les minima sont en décembre (octobre en 2005) et sont plus difficiles à expliciter, en relation avec les forts coefficients de mortalité par pêche modélisés pour la fin de saison (par rapport aux mâles) et les vecteurs de capture par sexe.

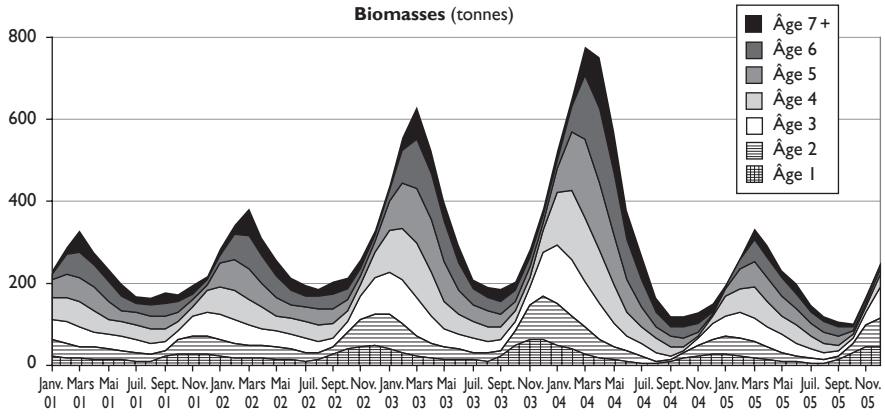


Fig. 79
Évolutions des biomasses par classe d'âge des F. indicus *mâles en zone A.*

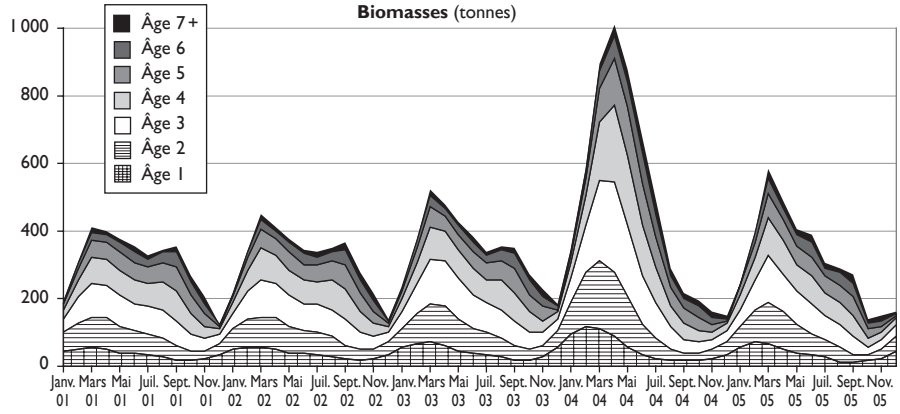


Fig. 80
Évolutions des biomasses par classe d'âge des F. indicus *femelles en zone A.*

Mortalité par pêche

Les évolutions mensuelles des vecteurs de mortalité par pêche F par classe d'âge sont présentées sur les figures 81 et 82 pour les mâles et les femelles. Cette représentation est faite sous forme d'aires empilées car cela présente des avantages de visualisation, et pour que le total soit compatible avec un F d'ensemble pour toutes les classes d'âges, les mortalités par classe ont été divisées par le nombre de classes présentes dans les captures (ici 7). Les vecteurs de mortalité F sont égaux à zéro lors des périodes de fermeture. Pour les mâles, après la montée des mortalités F à l'ouverture de la saison de pêche, il y a une diminution plus ou moins régulière dès les mois de juin-juillet. Pour les femelles, il y a aussi une diminution nette des mortalités F en juillet-août, mais les valeurs remontent ensuite du fait de captures non négligeables par la pêche traditionnelle en fin d'année, avant la fermeture de la pêche.

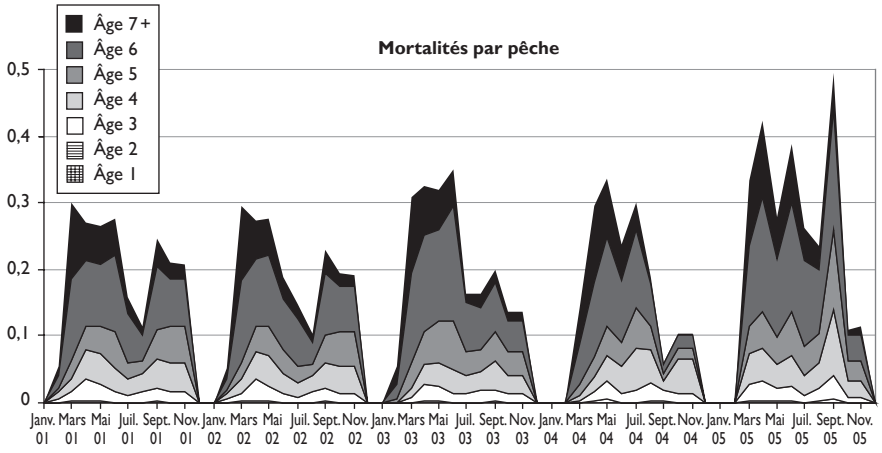


Fig. 81
Évolutions des coefficients de mortalité par pêche (F) mensuels par classe d'âge des F. indicus *mâles en zone A.*

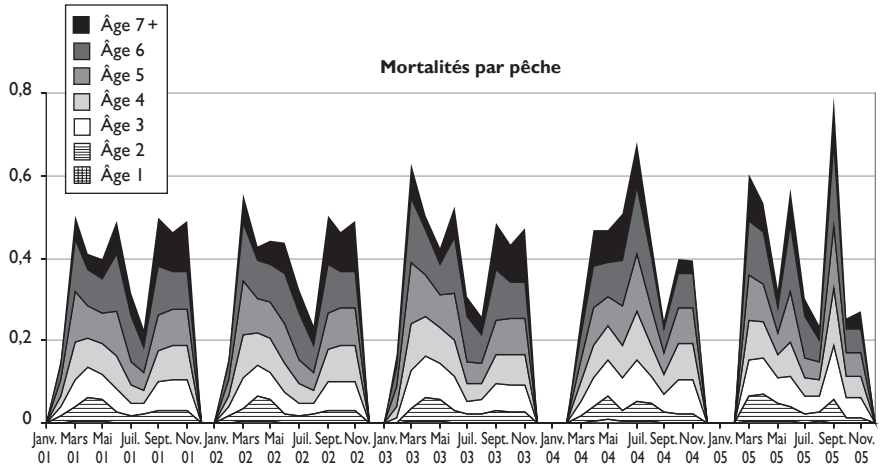


Fig. 82
Évolutions des coefficients de mortalité par pêche (F) mensuels par classe d'âge des F. indicus *femelles en zone A.*

Sur la figure 83 sont représentées les mortalités par pêche F mensuelles moyennes par classe d'âge pour les 5 années étudiées, obtenues en sommant et en divisant par 12 les mortalités de chaque mois d'une année. Les valeurs augmentent de la classe 1 à la classe 6 chez les mâles et les femelles. L'augmentation est différente suivant le sexe et les valeurs des classes 1 à 5 sont inférieures à 0,3 chez les mâles, alors qu'elles sont supérieures à ce chiffre dès la classe 3 des femelles. Ce phénomène est dû à la plus faible croissance des mâles qui sont de ce fait pêchés à un âge plus avancé. Les mortalités pour l'âge 7+ représentent les valeurs fixées par mois pour l'initialisation des analyses de cohortes.

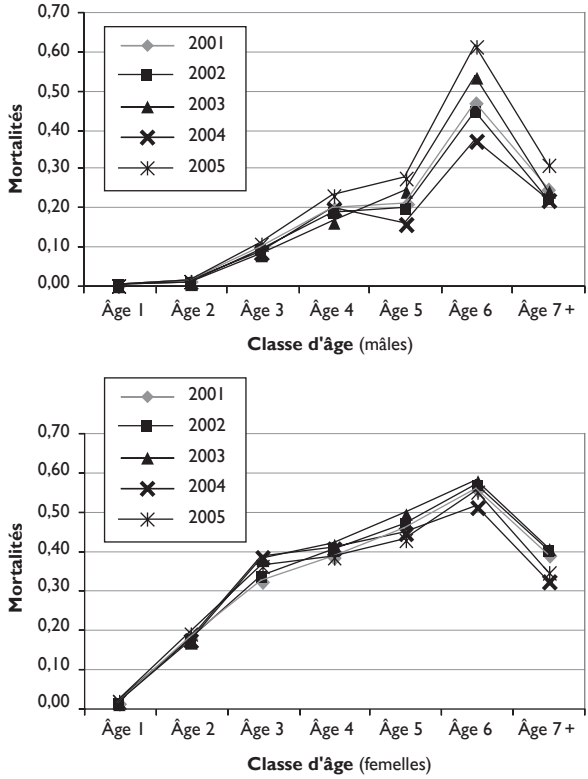


Fig. 83
Mortalités par pêche (moyennes mensuelles de l'année) par classe d'âge (diagramme d'exploitation) de 2001 à 2005, mâles puis femelles.

Modèle de Thompson et Bell

Le modèle de THOMPSON et BELL (1934) calcule par classe d'âge les effectifs d'individus survivants et de ceux capturés (et donc la biomasse et la production quand est connu le poids moyen d'un individu de chaque classe d'âge). Ce calcul est effectué à partir du nombre de recrues dans la pêcherie et des mortalités par pêche F par classe d'âge estimées par les analyses de cohortes. Les calculs correspondent alors à une situation où une valeur de référence de 1,0 est donnée à la mortalité par pêche effectivement appliquée. On peut ensuite simuler les conséquences d'un effort de pêche plus élevé ou faible en multipliant la mortalité par pêche de référence par un facteur supérieur ou inférieur à 1, en considérant alors que la mortalité par pêche est directement proportionnelle à l'effort de pêche. À partir d'une série de valeurs du facteur multiplicatif, on obtient des courbes de production en fonction des efforts par rapport à la référence 1,0 ainsi que des courbes de rendement par recrue en divisant le nombre de recrues par les productions. On peut aussi simuler des périodes de fermeture de la pêche en soustrayant aux mortalités par pêche

d'ensemble (ici annuelles) les valeurs correspondantes de celles estimées pour ces périodes. Par le même procédé, on peut aussi simuler une évolution différente des divers segments de la pêcherie, par exemple pêche industrielle et pêche traditionnelle.

Productions pondérales par sexe et rendements par recrue

La figure 84 présente les courbes de production et de rendement par recrue des femelles et des mâles de *F. indicus* en zone A pour les années 2002 à 2005. Il est important de noter que pour chacune des années le coefficient multiplicateur de l'effort (mF) de valeur 1, qui représente l'effort effectivement appliqué, peut correspondre à des valeurs différentes de ces efforts d'une année à l'autre. Les courbes de production pour les femelles montrent des niveaux plus élevés en 2003 et surtout en 2004 qu'en 2002 et 2005, ce qui correspond à de meilleurs niveaux de recrutements déjà signalés. Les maxima de production correspondent à la valeur 1,0 du multiplicateur de l'effort de pêche, ce qui signifie que les femelles de l'espèce ont été pleinement exploitées pendant les quatre années. Ce résultat va à l'encontre de ceux que nous avons présentés précédemment pour les années 2002-2003 (Caverivière et Razafindrakoto, 2006) qui indiquaient une nette surexploitation, cela est dû à la modification des courbes de croissance et à un changement de méthodologie des analyses de cohortes. Un niveau de production au maximum n'est pas considéré comme le meilleur pour

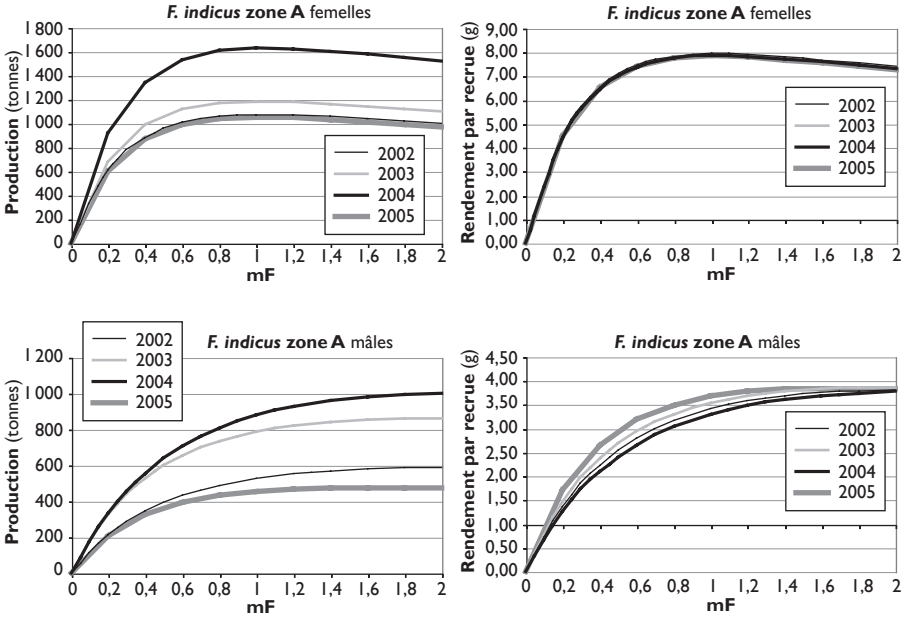


Fig. 84

Production et rendement par recrue pour les femelles et les mâles en zone A, modèle de Thompson et Bell. La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

une exploitation, des niveaux très proches pouvant être atteints avec un effort de pêche réduit qui diminue les coûts. En outre, une diminution de l'effort s'accompagne d'une hausse des tailles moyennes et cet effet est important lorsqu'il s'agit d'une espèce dont les prix au kilogramme sont fonction des tailles. Les courbes de rendement par recrue sont les mêmes pour les quatre années. Les mâles qui sont, quantitativement et encore plus économiquement, moins importants que les femelles dans la pêcherie, seraient plutôt sous-exploités, comme dans l'analyse précédente, du fait que la pêche porte surtout sur des individus âgés et peu sur des classes jeunes plus nombreuses. Les productions dépendent, comme pour les femelles, des niveaux de recrutement et les effets du très faible recrutement de début d'année 2005 en pêche industrielle y sont bien visibles. Les courbes de rendement par recrue sont proches pour les quatre années.

Productions monétaires (indices de valeur)

Il est possible d'estimer les valeurs monétaires des productions attendues, en calculant les valeurs pour chaque classe d'âge d'après celles des individus des classes de taille qui la composent. Cela est particulièrement intéressant quand, comme pour les crevettes tropicales, les prix au kilogramme augmentent avec la taille des individus. En fait, ce qui nous intéresse vraiment ne sont pas les valeurs « réelles », mais l'évolution de la valeur relative des captures en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche. Les calculs sont basés sur les prix export FOB par espèce et par calibre transmis par l'observatoire économique de la pêche crevettière pour 2004 ; le prix relatif du calibre entier 60-80 a été fixé à 1,0 et des indices de prix pour les autres catégories ont été calculés suivant le rapport : prix du calibre/prix calibre 60-80 (tabl. 24).

En outre, pour des facilités de représentation et d'interprétation, nous avons fait correspondre la valeur monétaire relative obtenue pour la situation de l'année observée (mF = 1) avec celle de la production pondérale correspondante.

Nous ne donnerons en exemple à la figure 85 que les résultats des femelles et des mâles pour les années 2002 et 2004, les résultats pour les deux autres années étant similaires. Pour les femelles une augmentation de l'effort de pêche pourrait se traduire par une diminution de la valeur monétaire tirée de la ressource, par contre les valeurs monétaires pourraient augmenter avec une diminution de l'effort : l'augmentation maximale estimée est de 10,5 % et 8,8 % (années 2002 et 2004) pour une diminution de l'effort de 40 % et une perte de production de 3,1 et 4,1 %. Une diminution de l'effort de 20 % se traduirait en principe par une baisse très minime de la production de 0,1-0,6 % pour une augmentation en valeur conséquente de 6,4 % et 5,8 %. Pour les mâles, l'effort effectivement exercé correspond à peu près aux indices de valeurs les plus élevés.

Tableau 24

Indices des prix par calibre commercial pour les crevettes F. indicus *entières (HO), base 1,0 pour le calibre entier 60-80 (60 à 80 individus au kg).*

Calibre	U10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-150	150UP
Indice prix	2,78	2,64	2,17	1,67	1,27	1,0	0,72	0,52	0,52	0,40

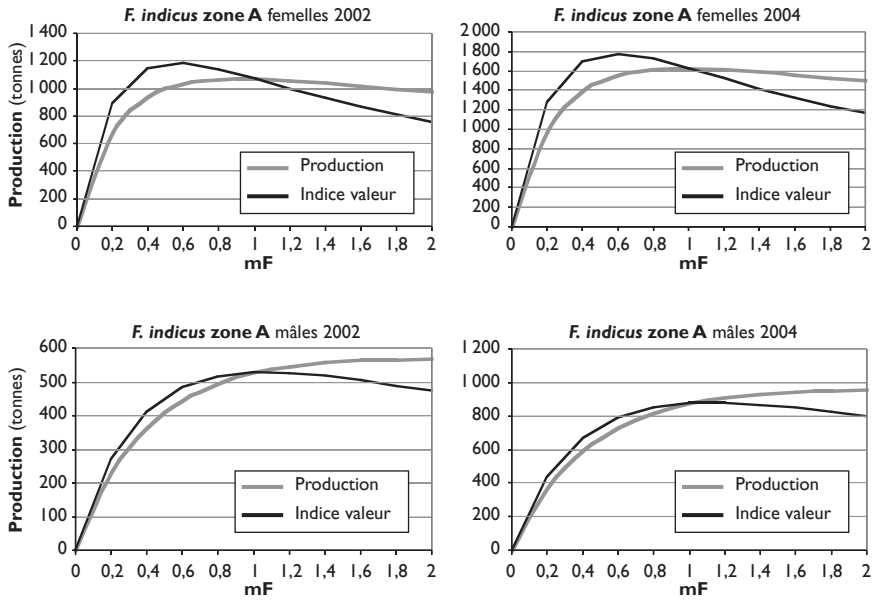


Fig. 85
Production pondérale et indice de valeur en zone A en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche pour les femelles et les mâles, années 2002 et 2004.
La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

Pour finir, nous présentons (fig. 86) pour les deux mêmes années les courbes de production et de valeur relative pour l'ensemble mâles plus femelles, ce qui est bien sûr plus directement utile à toute personne intéressée par les pêcheries crevettières. Les productions pondérales seraient très proches des maxima. La production monétaire toutes pêcheries serait en principe un peu plus élevée pour une réduction de l'effort effectif global de 20 à 40 %.

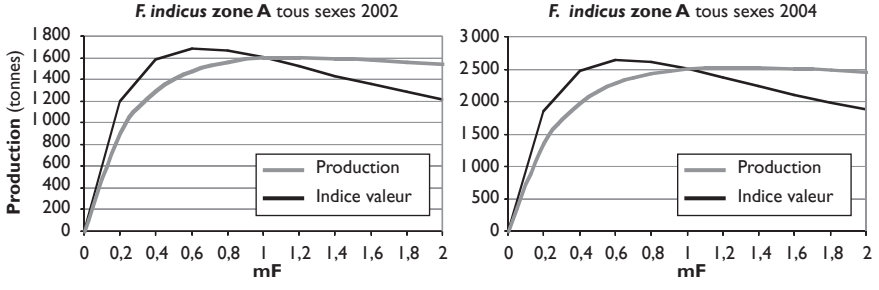


Fig. 86
Production pondérale et indice de valeur en zone A, ensemble des deux sexes, en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche, années 2002 et 2004.
La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

Effets des prises des engins traditionnels vonosaha *sur les estimations des niveaux d'exploitation*

En pêche traditionnelle, un rapport du groupe Unima (BERTHIN et GASPARD, 2006) note l'utilisation de plus en plus fréquente en baie d'Ambaro de l'engin de pêche dénommé *vonosaha* (décrit p. 125, chap. 6).

D'après ce rapport, le nombre de *vonosaha* dans la baie d'Ambaro est estimé à 600 unités en 2006, qui pêchent en moyenne 15 kg de crevettes par sortie journalière, avec 15 jours de pêche par mois pendant 7 mois (mai à novembre). Ces crevettes étant composées de *F. indicus* à 95 %, les *vonosaha* auraient pêché environ 900 tonnes de cette espèce. À partir des 4 échantillons de 150 individus pesés et mesurés, le poids moyen individuel est de 1,18 g. La pêche de l'année des *vonosaha* porterait donc sur 760 millions d'individus de *F. indicus*.

D'après les structures de classe de taille, nous avons calculé que 29 % des individus appartiennent à la classe 0 et 71 % à la classe 1, avec un poids moyen individuel dans les deux classes respectivement de 0,33 et 1,50 g. Nous considérons que les individus pêchés sont composés à part égale de mâles et de femelles. D'après le rapport, la pêche des *vonosaha* serait en nette augmentation, nous considérerons qu'elle était de 300 millions d'individus en 2001 et qu'elle a augmenté de 100 millions par an pour atteindre 700 millions en 2005. Ainsi, les captures des *vonosaha* représenteraient entre 70 % (en 2001) et 84 % (en 2005) des nombres d'individus capturés par l'ensemble de la pêche industrielle et de la pêche traditionnelle « classique » en zone A. Le coefficient de mortalité naturelle M pour les classes d'âge 0 et 1 doit être plus important que celui subi par des individus plus âgés (M = 0,2) du fait de la prédation, nous prendrons les valeurs 0,4 et 0,3 respectivement. Cela signifie pour M = 0,4 que, sans pêche, 33 % des individus de moins d'un mois (classe d'âge 0) n'atteindront pas la classe d'âge 1 (individus âgés de 1 à 2 mois) et que 22,1 % des individus entrant dans la classe d'âge 1 n'atteindront pas la classe d'âge 2, soit un peu plus de la moitié de l'effectif (55,1 %) disparaissant de manière naturelle (prédation autre que la pêche, maladie, …) en 2 mois. Les pourcentages sont de 25,9 et 19,2 % pour M = 0,3, soit alors un peu moins de la moitié qui meurt en 2 mois. Concernant les indices de prix pour lesquels la valeur 1,0 a été donnée à la valeur FOB des crevettes *F. indicus* HO du calibre 60-80, le rapport Unima indique un prix de 400 ariary par *kapoaka* (récipient utilisé sur les marchés pour la vente au détail, en général une boîte de lait de 250 g) de crevette séchée au marché d'Antsiranana. C'est – en prenant un contenu de 150 g de crevettes par *kapoaka* – environ la moitié du prix des plus petites crevettes exportées dont l'indice est de 0,4, indice qui est aussi celui de la classe d'âge 1[27]. Nous fixerons un peu arbitrairement les indices de prix d'ensemble à 0,2 et 0,3 pour les classes d'âge 0 et 1.

27. L'équivalent en frais du poids de crevettes dans un *kapoaka* serait plutôt de 210 g (GOEDEFROIT *et al.*, 2002) au lieu des 150 g que nous avons utilisés, ce qui diminuerait le prix au kg et donc l'indice de valeur. Mais, nous n'avons pas voulu que les indices de prix soient très inférieurs entre ceux des plus petites crevettes de la pêche industrielle et ceux de commercialisation locale en provenance de la pêche traditionnelle.

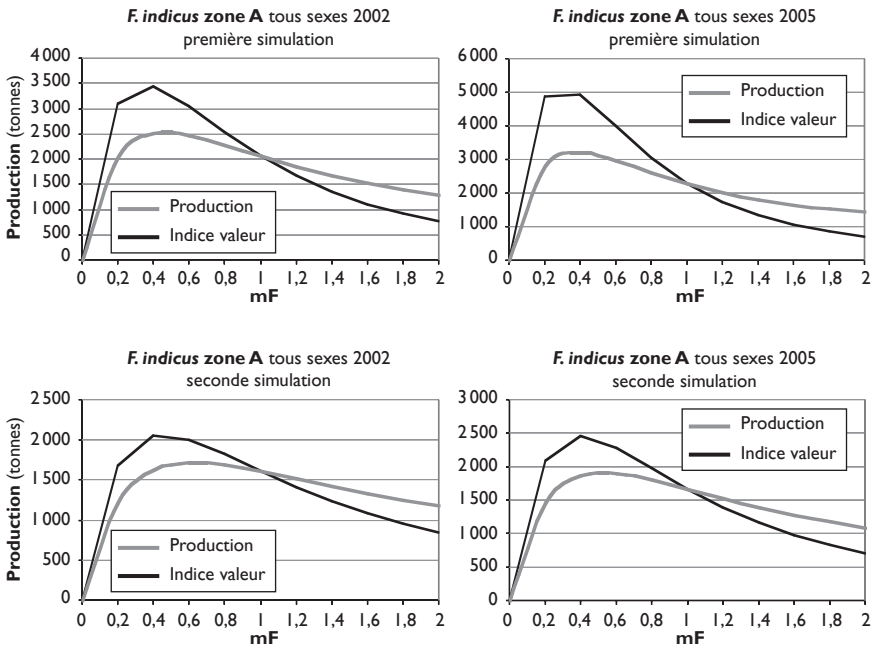


Fig. 87

Production pondérale et indice de valeur en zone A, ensemble des deux sexes, en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche, ensemble pêche industrielle et pêche traditionnelle comprenant l'engin vonosaha, *première et seconde simulation, années 2002 et 2005.*

Une capture de 900 tonnes pose cependant des questions, en particulier est-ce compatible avec une consommation villageoise couplée avec une commercialisation régionale ou à une échelle plus vaste comprenant la capitale ? Dans le doute, nous avons effectué une seconde simulation basée sur une capture de moitié inférieure, soit 450 tonnes.

La figure 87 présente les courbes de production et de valeur relative pour l'ensemble des mâles et femelles, obtenues pour les années 2002 et 2005 avec les deux simulations. Avec la première il y aurait une forte surexploitation de croissance, les productions pour les efforts observés (mF = 1) étant nettement en dessous des maxima des courbes. La seconde simulation montre une surexploitation un peu moindre, mais quand même très nette. Les courbes de production monétaire, dont l'indice a été artificiellement amené à la valeur de la production pondérale pour mF = 1, montrent qu'il y aurait potentiellement des gains très importants si la pêche des *vonosaha* n'existait pas. Ce point est cependant à relativiser dans la mesure où le système d'exploitation des *vonosaha*, pêche pratiquée surtout par de vieux et pauvres pêcheurs pour l'autoconsommation ou l'approvisionnement du marché local, est très différent des autres systèmes d'exploitation, pour lesquels le débouché essentiel est le marché d'exportation.

Ces résultats sont à comparer avec ceux obtenus à partir des analyses réalisées sans les *vonosaha*, où les productions pondérales étaient très proches des maxima. La pêche des *vonosaha* a donc un important effet négatif sur l'ensemble de la pêcherie.

Discussion

Les analyses de cohortes sont sensibles aux valeurs données en entrée au coefficient de mortalité naturelle M, soit 0,20 pour chaque sexe et pour le travail effectué ci-dessus. Nous avons testé une valeur de 0,25 par mois dans les premières modélisations afférentes au travail présenté : cela entraînait une diminution de la surexploitation qui paraissait exister pour les femelles mais augmentait la sous-exploitation pour les mâles. Nous avons aussi utilisé des valeurs de 0,2 pour les femelles et 0,18 pour les mâles, déjà retenues dans les analyses de pseudo-cohortes réalisées lors d'ateliers précédents (Dintheer *et al.,* 1998 ; Moguedet *et al.,* 2000) : cela atténuait un peu le diagnostic de sous-exploitation des mâles, mais l'équilibre du recrutement entre sexes était moins bon. La valeur M = 0,2 pour les deux sexes a été finalement conservée.

En zone A, d'après les productions estimées de *Fenneropenaeus indicus*, c'est la pêche traditionnelle qui domine largement et c'est donc d'elle que dépendent principalement les résultats des analyses. En 2003-2005, les profils de rendement et de capture des trois principaux engins de pêche traditionnelle en zone A sont différents de ceux décrits par Domalain et Rasoanandrasana (2001 a) de 1990 à 2000. Il semble donc qu'il y ait eu des changements importants. Les répartitions entre sexes paraissent bien différentes en mer et en estuaire. Les recensements, les enquêtes de captures et de rendements, ainsi que le sexage et les mensurations des captures de crevettes par les différents engins de pêche traditionnelle devraient donc continuer en baie d'Ambaro car les évolutions y sont rapides. Il serait également utile d'avoir plus d'informations sur la collecte des captures auprès de la pêche traditionnelle, principalement auprès des collecteurs indépendants qui ne semblent pas associés à un armement opérant dans la zone.

Pour la pêche industrielle nous utilisons des données déjà assez anciennes (1999) sur les distributions par sexe dans les calibres pour l'ensemble de la côte ouest ; il serait bon de réactualiser ces données, d'autant que les procédures de tri par calibre sont de plus en plus automatisées et sans doute plus précises.

Les résultats de l'étude conduisent à un diagnostic de pleine exploitation en production pondérale, les productions monétaires pouvant être améliorées avec une réduction de l'effort global. Ils sont obtenus à partir des données de la pêche industrielle, ainsi qu'à partir des résultats des enquêtes et échantillonnages de la pêche traditionnelle qui portent sur les engins de pêche participant en grande partie au marché d'exportation. Les résultats sont très différents quand la pêche croissante de très petits individus par les barrages *vonosaha* est prise en considération. Ils conduisent à des pronostics de nette surexploitation.

Ces conclusions sont tirées sans prendre en compte la pêche des *pôtô* (filets à l'étalage sur pieux), qui capturent aussi un nombre important de juvéniles de la crevette *F. indicus*. Le nombre de ces engins s'est récemment considérablement accru, et la maille au niveau du cul du filet, qui était auparavant de 12 mm est souvent de 1,5 mm (Rodellec et Caverivière, chapitre 6). Ces filets ont de plus été utilisés en période de fermeture de la pêche à la crevette de fin 2005-début 2006, et peut-être aussi, dans une moindre mesure, lors des fermetures antérieures. Ces nouvelles données devraient encourager à intensifier, en l'adaptant, le système d'enquête conduit par le PNRC, afin de prendre en compte les captures de ces deux engins.

À l'ouverture de la saison de pêche 2005, les captures des crevettiers ont été si faibles en baie d'Ambaro que plusieurs navires ont arrêté la pêche dans une zone considérée comme la plus riche en crevettes de Madagascar. Par contre, les prises de la pêche traditionnelle dans les estuaires ont été correctes pendant la même période. Il est possible, si ce n'est probable, que l'augmentation des captures de la pêche traditionnelle, particulièrement en petits individus, ait conduit à une forte diminution du recrutement des jeunes adultes en mer. Une analyse des conditions de l'environnement en baie d'Ambaro (Voisin et Sandon, chapitre 4) n'a pas permis de déceler d'anomalie sur la période précédant l'ouverture de la saison de pêche et son début. Ce n'est cependant pas une preuve qu'il n'en ait pas existé.

Zone d'aménagement B

La période d'étude s'étend de 2001 à 2004, des données concernant 2005 n'ayant pu être disponibles pour certains éléments de la pêcherie.

Concernant les méthodes d'analyses le lecteur se référera à la partie précédente relative à la zone d'aménagement A.

Les données

Pêche traditionnelle et artisanale

Comme pour la zone A, l'estimation des quantités capturées par la pêche traditionnelle et leur répartition par classe de taille pose ici des difficultés. On se référera au chapitre 7 (p. 151) pour la répartition des engins et les évaluations de leurs captures dans la zone de pêche principale qui est la baie de Narindra.

La figure 88 représente les distributions de fréquence des *F. indicus* pêchées par les *kaokobe* en 1989-1995 et en 1999 dans la baie de Narindra, ainsi que – pour comparaison – les distributions enregistrées en 2003 pour l'engin *kaokobe* en baie d'Ambaro (zone A plus au nord) et la pêche industrielle pour l'ensemble de la zone B.

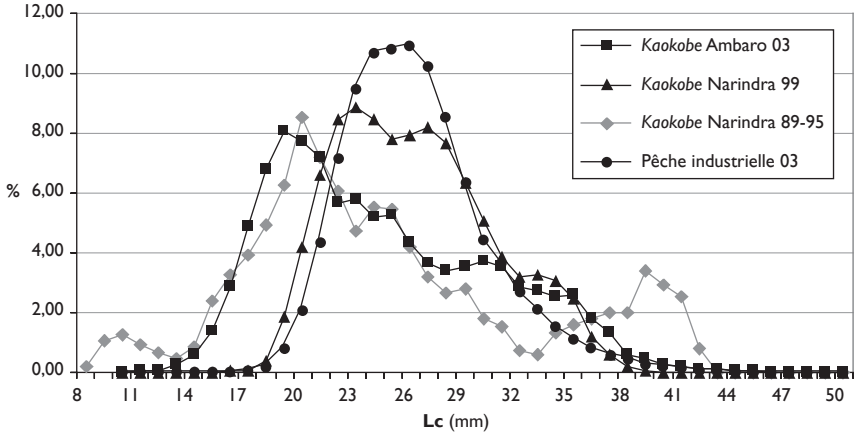


Fig. 88
Distributions de fréquence (pourcentages) de longueur céphalothoracique des F. indicus *capturées par les* kaokobe *en baie de Narindra en 1989-1995, 1999 et en baie d'Ambaro en 2003 (10 485, 13 494 et 9 960 individus respectivement), et aussi distribution de la pêche industrielle en zone B en 2003.*

On observe en 1999 dans la baie de Narindra une diminution du pourcentage des petites tailles pêchées par les *kaokobe* par rapport à la période antérieure. Cette diminution est probablement liée à l'augmentation de la chute des filets qui permet de pêcher plus profond, là où les petites crevettes sont moins abondantes. Ce serait une réponse des principaux collecteurs à la demande des usines de traitement qui ne voulaient pas de crevettes trop petites. Cette diminution des petites tailles n'apparaît pas jusqu'en 2003 en baie d'Ambaro, où la collecte est moins dépendante de grandes sociétés et où les petits fonds iraient plus au large. La distribution la plus récente des prises des *kaokobe* en baie de Narindra est proche de celle des crevettiers industriels dans la zone.

La pêche crevettière traditionnelle en zone d'aménagement B n'est pas limitée à la région de la baie de Narindra, elle existe aussi de manière plus réduite dans la région du Boina, qui regroupe les baies de la Mahajamba, de Bombetoka et de Boeny. Domalain et Rasoanandrasana (2001 a) estiment grossièrement les captures de crevettes, *F. indicus* en très grande majorité, de la pêche traditionnelle dans cette zone à 85 tonnes annuelles, prélevées essentiellement à l'aide de *kopiko* (53 t) et de *valakira* (23 t). Les *kopiko* sont des sortes de petits chaluts traînés à pied à contre-courant, en début de marée descendante ou montante, et l'emploi de petites mailles donne lieu à des prises de crevettes de petite taille dans leur ensemble. La figure 89 montre que les crevettes *F. indicus* pêchées par les *kopiko* sont plus petites que celles pêchées par les *kaokobe* ; la distribution est aussi quelque peu différente de celle des *valakira* de la baie d'Ambaro (nous ne disposons pas de distributions de fréquence pour les *valakira* de la zone B), avec une forme plus en dôme qui montre plus de crevettes juvéniles et moins de grosses, ainsi que les pourcentages les plus élevés situés à des tailles supérieures à celles observées pour les *valakira*.

Pirogue sous voile en baie d'Ambaro.

Retour de pêche difficile à Ankazomborona (baie d'Ambaro).

Sauf mention contraire, toutes les photos sont de A. de Rodellec/PNRC.

Pêche au pôtô *dans un chenal de mangrove.*

La pêche traditionnelle ne s'intéresse pas qu'à la crevette :
séchage de poisson destiné au marché local.

© Groupe Unima

Un engin traditionnel peu sélectif : le vonosaha *utilisé dans des reculs de la mangrove.*

© Groupe Unima

Les difficiles conditions de travail de la pêche traditionnelle : récolte de la capture d'un barrage vonosaha.

La chambre de capture d'un barrage palissade valakira *au large d'Ankazomborona (baie d'Ambaro).*

La pêche traditionnelle peut s'apprendre très jeune…

© C. Chaboud/IRD

Pêche au filet moustiquaire en mangrove.

Crevettes capturées par une senne kaokobe.

Ramendage d'un filet maillant periky.

Diversité de la prise d'un chalutier artisanal.

Pêche au filet maillant periky en baie d'Ambaro.

Crevettes juvéniles capturées par un vonosaha.

© Groupe Unima

Collecte et transport du poisson vers le marché local.

Étêtage à terre des crevettes destinées au marché local.

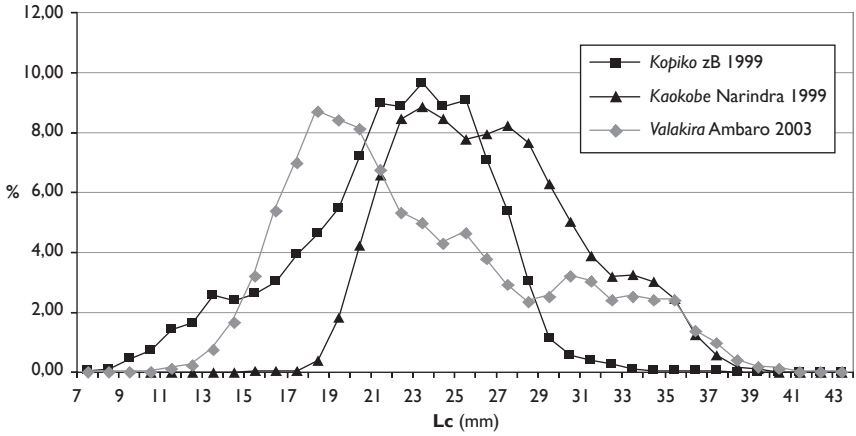


Fig. 89

Distributions de fréquence (pourcentages) de longueur céphalothoracique des F. indicus *qui seront utilisées pour les trois engins de la pêche traditionnelle en zone B. Échantillons de 10 485, 5 481 et 8 807 individus respectivement pour les* kaokobe, valakira et kopiko.

Les captures annuelles de la pêche traditionnelle ont évolué entre 2000 et 2004 comme il apparaît dans les statistiques des deux principales sociétés faisant de la collecte pour l'exportation. Il y a une augmentation sensible de 2000 à 2002, qui s'accélère en 2003 avec la mise en place d'une unité dite d'appui qui ne quitte pas la baie de Narindra de toute la saison de pêche, cette unité de 1 000 CV assurant sur place le traitement de crevettes collectées auprès des piroguiers. Il y a une baisse en 2004 due à la mise à l'écart de cette unité par voie réglementaire. À partir de toutes les données dont nous disposons, nous avons fait une estimation grossière des captures annuelles de la pêche traditionnelle et dans une bien moindre part de la pêche artisanale opérant dans les baies (tabl. 25).

Les distributions par sexe des trois engins seront utilisées au prorata des captures des engins pour l'analyse de population de la zone B. La méthode employée est assez similaire à celle de la pêche traditionnelle de la zone A : calcul de la distribution en nombre de chaque sexe pour 1 kg d'échantillon total (mâles + femelles). La répartition des captures estimées est de 82, 13 et 5 % respectivement pour les *kaokobe*, les *valakira* et les *kopiko*, d'après les enquêtes de 1999 et 2004 et en regroupant la pêche artisanale avec les *kaokobe* (pêche artisanale, *kaokobe* et pêche industrielle doivent avoir des structures de taille des crevettes pêchées très proches, cf. la figure 88 pour les deux derniers engins).

Comme nous ne disposons pas de la ventilation des captures par mois des différents engins de pêche traditionnelle, cette répartition sera faite en fonction de celle de la pêche industrielle, approximation qui devrait peu biaiser les résultats, la pêche traditionnelle (d'après les données mensuelles des deux principales sociétés faisant de la collecte) et la pêche industrielle ayant une saisonnalité assez comparable de leurs captures.

Tableau 25
Estimation des captures (tonnes) par segment de pêche en zone B.

	2001	2002	2003	2004
Pêche traditionnelle + pêche artisanale	1 000	1 200	1 400	1 150
Pêche industrielle	650	730	740	460
Total	**1 650**	**1 930**	**2 140**	**1 610**

Pêche industrielle

Les données qui vont être utilisées concernent les seuls crevettiers autorisés à travailler en zone B, bien qu'il arrive que des crevettiers autorisés en zone C pêchent en zone B, dans les carrés statistiques de cette zone adjacents à ceux de la bordure interne de la zone C.

Deux armements ont travaillé en zone B sur la période considérée. Le plus important utilise surtout des petits crevettiers (270 CV) dont la production est traitée en usine. Ces armements nous ont fourni leurs captures mensuelles de *F. indicus* par calibre et par mois. Les volumes de crevettes sans têtes et décortiquées ont été convertis en équivalent poids entier. Les faibles quantités de crevettes en vrac ont été réparties suivant nos connaissances sur leur distribution. Les quantités finales (cf. tabl. 25 pour les valeurs annuelles) ont ensuite été transformées à partir des calibres en nombre d'individus par sexe et classe de taille. On note une baisse importante des débarquements de la pêche industrielle en 2004, provenant du principal armement ; le recrutement aurait pu être touché (facteurs environnementaux ?, surpêche en 2003 ?), mais d'autres causes sont possibles et nous ne nous prononcerons pas pour le moment.

Paramètres pour les modélisations

Les équations de croissance utilisées pour les mâles et les femelles de la zone proviennent de l'étude de Rafalimanana et Caverivière (chapitre 3). Les équations de croissance permettent de donner un âge moyen à chaque classe de taille. Comme la croissance en zone B a été estimée nettement plus faible que dans les zones voisines, nous avons dû faire des regroupements en classes d'âge bimensuelles pour avoir des intervalles de taille entre deux classes d'âge qui ne soient pas trop rapprochés. Ainsi, la classe 1-2 regroupera les individus dont l'âge moyen est compris entre 1 et 3 mois, la classe 3-4 ceux entre 3 et 5 mois, etc. Les courbes de croissance ne permettent pas de donner un âge suffisamment précis au-delà de l'âge de 12 mois pour les mâles et les femelles (trop peu de classes de taille et d'individus au-delà de la classe d'âge 11-12 mois) ; les individus capturés font partie des classes d'âge s'étendant de la classe 1-2 mois à celle regroupant les individus âgés de plus de 12 mois (classe 13+).

Nous avons choisi un coefficient de mortalité naturelle M constant de 0,20 (coefficient mensuel) pour toutes les classes d'âges et les deux sexes à partir de différentes études déjà utilisées pour la zone A.

Résultats

Compte tenu des incertitudes particulières à cette zone comme la croissance singulièrement faible, ainsi que les estimations approximatives des captures de la pêche traditionnelle (qui domine) et de leur distribution en taille, les résultats suivants sont à prendre avec précaution.

Poids moyens individuels et nombres des individus capturés par sexe

Les poids moyens individuels pour chaque sexe, obtenus à l'issue des différentes étapes de prétraitement des donnés, sont proches en pêche industrielle de 2002 à 2004 (16,1 à 17,8 g pour les femelles et 12,5 à 12,8 g pour les mâles), ils sont en diminution par rapport à 2001 (19,5 et 13,8 g respectivement). En pêche traditionnelle, la méthodologie suivie n'a permis de calculer que des valeurs par sexe communes aux quatre années (15,7 g pour les femelles et 10,1 g pour les mâles). Comme prévu à partir des distributions de fréquence, les poids moyens individuels de la pêche industrielle sont un peu plus élevés que pour la pêche traditionnelle.

Les évolutions mensuelles des effectifs de mâles et de femelles capturés sont représentées sur la figure 90. Chaque année il y a un peu plus de femelles que de mâles capturés, mais la disproportion n'est pas très grande et les évolutions mensuelles des deux sexes sont similaires. Après l'ouverture de la pêche, les pics de captures des femelles sont enregistrés en mars de 2001 à 2003 (ouverture du 21 au 24 février) et en avril en 2004 (ouverture de la pêche plus tardive, le 15 mars). Les captures diminuent ensuite très rapidement, de manière encore plus brutale qu'en zone A et qu'en zone C (cf. p. 202). Les captures d'une année sont principalement effectuées dans les deux mois suivant l'ouverture de la pêche. La baisse des captures pourrait être accentuée par deux phénomènes : un report, quelque temps après l'ouverture, de l'effort

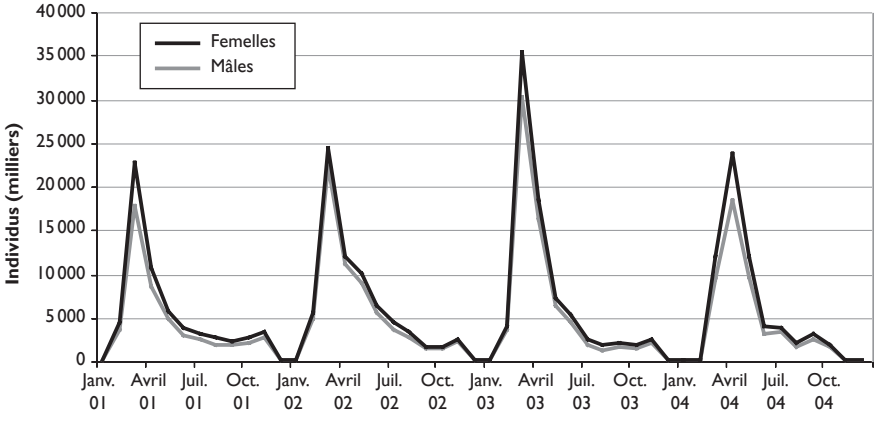


Fig. 90
Captures en nombre par sexe (milliers) de Fenneropenaeus indicus *en zone B.*

de pêche de certains navires du principal armement opérant dans la zone vers d'autres espèces, en particulier *Penaeus japonicus* qui est plus profonde que *F. indicus* ; peut-être aussi un report de l'effort de pêche vers la zone C.

Les femelles dominent les captures en poids, du fait de leur nombre un peu plus élevé et surtout de leur croissance plus rapide que celle des mâles.

Recrutements et biomasses

Le recrutement dans la pêcherie commence à la classe d'âge 1-2 (soit des individus âgés entre 1 et 3 mois) pour les mâles et les femelles. Les évolutions des effectifs mensuels pour cette classe d'âge, calculés de manière rétroactive par analyse de cohortes, sont présentées à la figure 91.

Les pics de recrutement correspondant à la période d'abondance des *F. indicus* (saison des pluies) ainsi qu'à la principale saison de pêche sont bien marqués, avec les sommets en octobre-décembre pour les mâles et décembre-janvier pour les femelles. Le recrutement d'ensemble mâles + femelles apparaît le plus fort en saison des pluies 2002-2003, puis pour la saison des pluies 2004-2005. Comme pour la zone A, il y a un décalage entre les mois de plus grande abondance des mâles et des femelles – les pics d'abondance des mâles se situant avant ceux des femelles – sans doute pour les mêmes raisons. Pour la classe d'âge prise pour le recrutement, les quantités annuelles de mâles présentes dans la mer seraient nettement plus grandes que celles de femelles, ce qui n'est pas très satisfaisant, nous en reparlerons dans la discussion générale commune aux quatre zones d'aménagement.

Les plus fortes biomasses des femelles et des mâles sont observées en mars, en bonne concordance avec les maxima de recrutement et avec la fin de la période de fermeture qui a protégé les stocks. Les biomasses des femelles et des mâles auraient été plus élevées au début 2003 que celles des autres années.

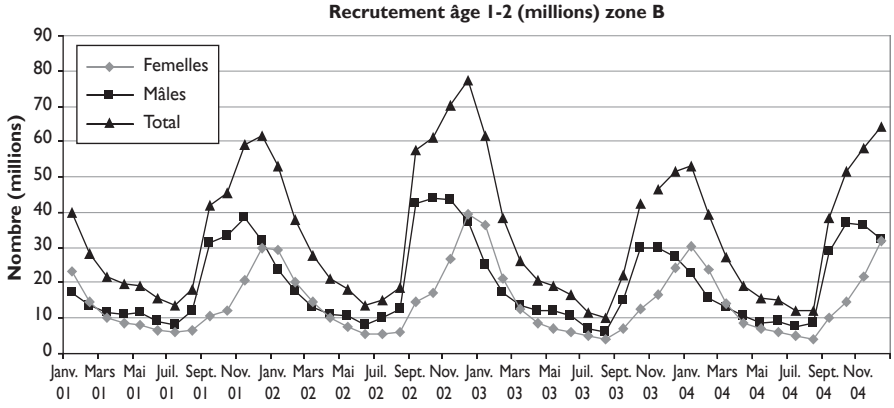


Fig. 91
Évolutions mensuelles par sexe des recrues (classe d'âge 1-2) de F. indicus *en zone B.*

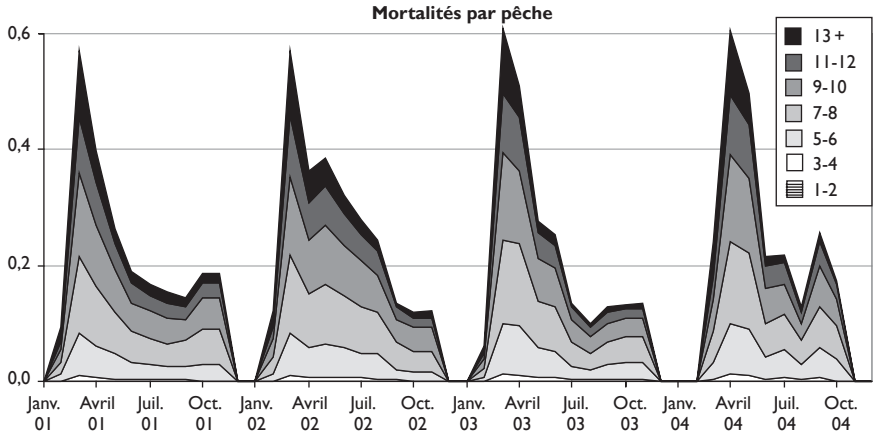


Fig. 92
Évolutions des coefficients mensuels de mortalité par pêche par classe d'âge des F. indicus *femelles en zone B.*

Mortalités par pêche

Les mortalités par pêche subies par les crevettes *F. indicus* portent sur des individus assez avancés en âge, 7 mois et plus (fig. 92 pour les femelles qui dominent la production). Elles sont les plus élevées pour le mois complet qui suit l'ouverture de la saison de pêche, mars 2001 à 2003, avril en 2004 qui a eu une ouverture de la pêche retardée de 3 semaines par rapport aux années précédentes ; les décroissances des mortalités par pêche sont ensuite rapides.

Sur la figure 93 sont représentées les mortalités par pêche par sexe et par classe d'âge pour les quatre années étudiées. Les mortalités par pêche des femelles augmentent rapidement jusqu'à la classe d'âge 7-8, elles diminuent nettement après la classe 9-10, ce qui peut traduire une disponibilité moindre des individus les plus âgés ou une mortalité naturelle plus élevée. Pour les mâles, l'augmentation rapide des mortalités va jusqu'à la classe 9-10, elles se stabilisent ensuite. Les taux de mortalité des mâles sont inférieurs à ceux des femelles.

Modèle de Thompson et Bell

Productions pondérales par sexe et rendements par recrue

La figure 94 présente les courbes de production et de rendement par recrue des femelles et des mâles de *F. indicus* en zone B pour les années 2001 à 2004. Les courbes de production et de rendement par recrue montrent une petite sous-exploitation des femelles. Si des augmentations de l'effort de pêche accroisseraient un peu la production, elles feraient chuter proportionnellement plus les rendements de la pêche. Il est bien connu qu'une meilleure optimisation de la pêche est obtenue pour des niveaux d'effort inférieurs à celui qui correspond à la production pondérale maximale. Pour les mâles, qui contribuent nettement moins que les femelles à la production d'ensemble de la pêcherie, le diagnostic de sous-exploitation est plus marqué.

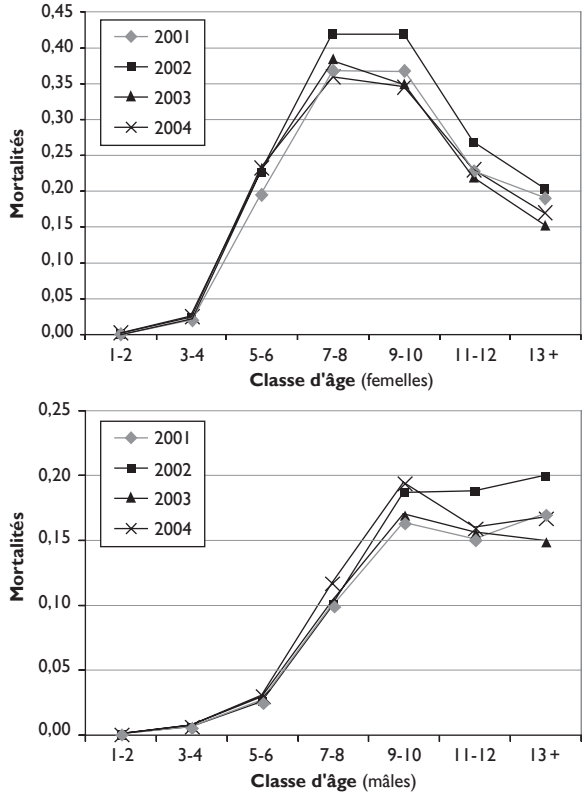


Fig. 93
Mortalités par pêche (moyennes mensuelles de l'année) par classe d'âge de 2001 à 2004, femelles puis mâles, zone B.

Les courbes de production pondérale pour les différentes années ont la même allure, mais pas les mêmes niveaux qui semblent refléter les niveaux des captures (tabl. 25) plus que ceux des recrutements calculés (fig. 91), alors que les poids moyens individuels sont stables de 2002 à 2004. Ce point est quelque peu gênant et nous y reviendrons dans la conclusion générale concernant les analyses effectuées pour l'ensemble de la pêcherie.

Productions pondérales et monétaires tous sexes

Les productions de l'ensemble des deux sexes, exprimées en volume et en indice de valeur, en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche, sont représentées sur la figure 95 pour les années 2002 et 2004. Si l'espèce paraît un peu sous-exploitée par rapport à l'optimum de production pondérale, c'est à un niveau correspondant mieux à une meilleure optimisation de la pêche que celui du maximum de production (puisque pour un gain assez faible de production il faudrait augmenter considérablement l'effort de pêche, conduisant à une baisse proportionnelle des rendements), les productions monétaires estimées seraient quant à elles à l'optimum.

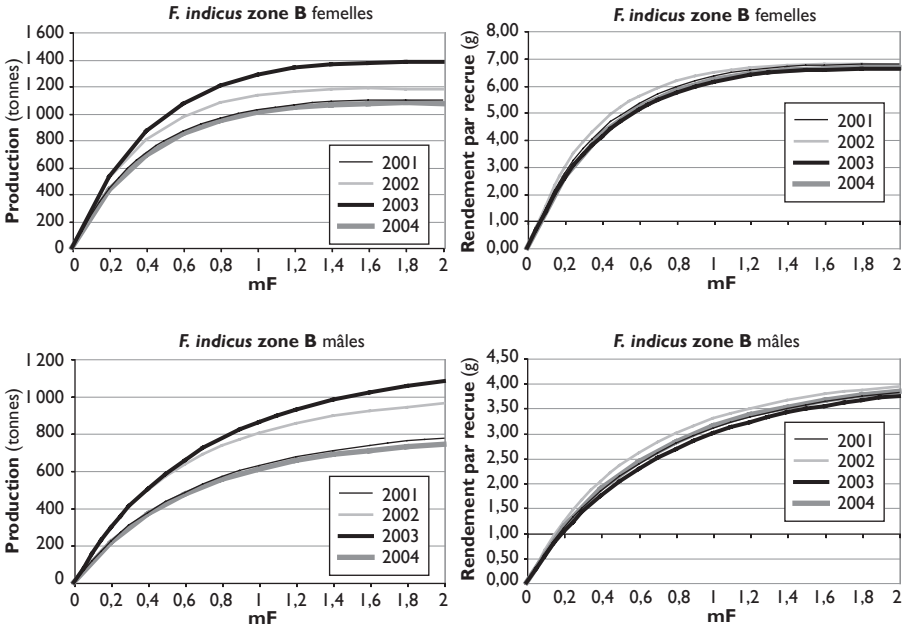


Fig. 94

Production et rendement par recrue pour les femelles et les mâles en zone B, modèle de Thompson et Bell. La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

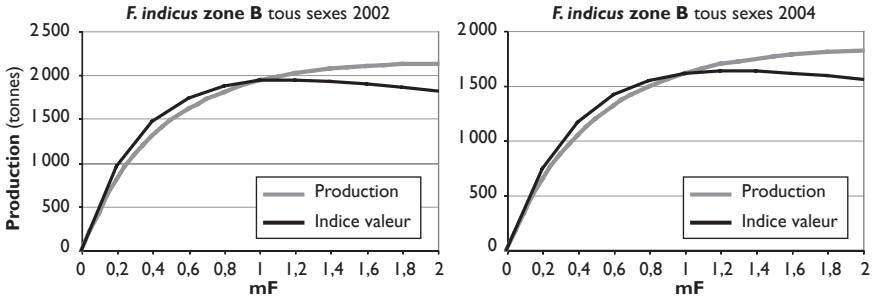


Fig. 95

Production pondérale et indice de valeur en zone B en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche pour l'ensemble des deux sexes, années 2002 et 2004. La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

Conclusion

Comme en zone A, les crevettes *F. indicus* de la zone B sont nettement plus exploitées par la pêche traditionnelle que par la pêche industrielle.

Du point de vue du niveau d'exploitation, en termes de conservation de la ressource, la crevette *F. indicus* apparaît de prime abord un peu sous-exploitée dans la zone d'aménagement B, à un niveau en rapport avec une bonne optimi-

sation de la pêche en volume, et la production en valeur serait maximale. Concernant cette sous-exploitation de production, *a priori* un peu étonnante, il faut rappeler que si les coefficients de mortalité par pêche sont importants en début de saison, ils chutent très rapidement par la suite. Cette chute est peut-être accélérée par un report de l'effort de pêche de certains navires du principal armement industriel opérant dans la zone vers d'autres espèces et peut-être aussi par un report de l'effort de pêche vers la zone C ; au final on se retrouverait alors pour l'ensemble de l'année avec un effort de pêche sur l'espèce inférieur à celui qui correspond au potentiel maximal de production pour la zone.

Comme en zone A, il est possible que des éléments de la pêche traditionnelle, encore mal connue, ne soient pas pris en compte, tels les barrages d'affluents (*vonikinga*, équivalents aux *vonosaha* de la zone A) et les filets à l'étalage *(pôtô)* capturant des crevettes *F. indicus* très petites. Si ces engins de pêche ont réellement augmenté leurs activités, leur prise en compte conduirait à des diagnostics de niveaux d'exploitation plus élevés, pouvant aller jusqu'à une surexploitation marquée. La chute de la production de la pêche industrielle en 2004 est peut-être une conséquence d'une plus forte exploitation en pêche traditionnelle, des facteurs environnementaux pouvant jouer aussi un rôle. Cependant, les informations récentes et non chiffrées relatives aux années 2005 et 2006 et indiquant une baisse des captures et des rendements de la pêche industrielle en zone B, mais aussi de la pêche traditionnelle classique et la confirmation de la probable augmentation des barrages d'affluents incitent au pessimisme quant à l'état récent de la ressource. Une information très récente (octobre 2006) d'une source digne de foi indique que la collecte de crabes de mangrove, produit de bonne valeur, en baie de Mahajamba (située un peu au sud de la baie de Narindra) est à cette période bien réduite par manque de produit, les pêcheurs préférant capturer des petites crevettes. Le désenclavement de la zone par le renforcement de l'infrastructure routière, permettant probablement une collecte plus importante par voie terrestre, a permis de mieux répondre à la demande d'un marché national pour les petites crevettes séchées, en particulier vers la capitale.

Il faut donc rester très prudent sur les diagnostics pour la zone du fait de nombreuses incertitudes dans les données et dans l'interprétation des résultats. La pêche traditionnelle, très importante et qui évolue rapidement, devra être mieux cernée. La pêche industrielle doit aussi être analysée en étudiant l'évolution des rendements des navires.

Zone d'aménagement C

La période d'étude s'étend de 2001 à 2004, des données concernant 2005 n'ayant pu être disponibles pour certains éléments de la pêcherie. Pour les indications concernant les méthodes d'analyses, le lecteur se référera à la partie consacrée à la zone d'aménagement A.

Tableau 26
Prises annuelles (tonnes) de F. indicus *par segment de pêche en zone C.*
PI : pêche industrielle, PA : pêche artisanale, PT : pêche traditionnelle.

Année	2001	2002	2003	2004
PI + PA	2 991	3 971	3 460	3 465
PT	500	500	500	500
Total	**3 491**	**4 471**	**3 960**	**3 965**

Les données

Pêches industrielle et artisanale

La quasi-totalité des armements opérant dans la zone C ont fourni leurs captures mensuelles de *F. indicus* par calibre et par mois. Les transformations nécessaires ont été faites pour changer les quantités de crevettes sans têtes et décortiquées en équivalent entier. Les quelques navires dont nous n'avions pas les captures et leur distribution par les armements ont été rajoutés au prorata des captures mensuelles de ces crevettiers issues de la base nationale crevettière Banacrem. Les quantités finales (tabl. 26) ont ensuite été transformées à partir des calibres en nombre d'individus par sexe et classe de taille.

Pêche traditionnelle

Comme pour les zones A et B, l'estimation des quantités capturées par la pêche traditionnelle et leur répartition par classe de taille a posé des difficultés. Finalement, la pêche traditionnelle a été estimée à 500 tonnes pour chaque année (cf. p. 151, chapitre 7). La distribution en taille des captures de la pêche traditionnelle est particulièrement délicate. Nous avons utilisé la distribution globale des crevettes traitées par une entreprise de pêche artisanale et de collecte auprès de la pêche traditionnelle, et pris comme représentatives de la pêche traditionnelle pour l'ensemble de la période les distributions mensuelles de l'année où la collecte a été la plus importante (2002, avec 19 % du total en collecte et les pourcentages en petites tailles les plus élevés). Cela semble le meilleur pis-aller, acceptable pour une pêche traditionnelle qui ne représenterait qu'environ 12 % des prises totales de la zone sur la période.

Paramètres pour les modélisations

Les équations de croissance utilisées pour la zone, qui permettent de donner un âge moyen à chaque classe de taille des mâles et des femelles, sont issues de l'étude réalisée par Rafalimanana et Caverivière (chapitre 3). Pour cette zone, les courbes de croissance ne permettent pas de donner un âge suffisamment précis au-delà de l'âge de 8 mois pour les femelles et 6 mois pour les mâles (trop peu de classes de taille et d'individus au-delà des classes d'âge 8 et 6 mois) ; les individus capturés font partie des classes d'âge s'étendant de la classe 1 mois à celles regroupant les individus âgés de plus de 9 mois pour les femelles et 7 mois pour les mâles (classe 9+ et 7+ respectivement).

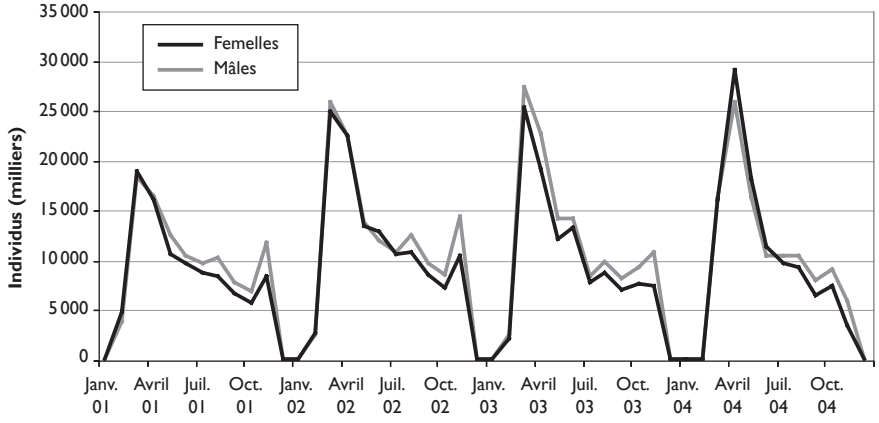


Fig. 96
Captures en nombre par sexe (milliers) de F. indicus *en zone C.*

Comme pour les zones étudiées précédemment nous avons utilisé une valeur de 0,20 comme coefficient mensuel de mortalité naturelle, pour toutes les classes d'âges.

Résultats

Nombres d'individus capturés par sexe, poids moyens individuels

Pour chaque année, les effectifs d'individus mâles et femelles capturés (fig. 96) sont similaires, ainsi que leurs évolutions mensuelles. Après l'ouverture de la pêche, les pics de captures des femelles sont enregistrés en mars de 2001 à 2003 et en avril en 2004, les captures diminuent ensuite très rapidement, particulièrement en 2004. Le pic secondaire qui apparaît sur la figure les mois de novembre 2001-2003 est au moins en partie dû à la façon dont la pêche traditionnelle a été estimée (extrapolation des données de 2002) et n'est pas vraiment représentatif. Les femelles dominent pondéralement du fait de leur croissance plus rapide.

Les poids individuels par sexe sont proches en moyenne annuelle, sans évolutions notables, ils vont de 18,9 à 20 g pour les femelles et de 16,2 à 17,3 g pour les mâles (tous types de pêche confondus). Une étude plus détaillée a permis de montrer que les poids moyens tous sexes sont décroissants du large vers la côte : soit en allant de la pêche industrielle vers la pêche traditionnelle, en passant par la pêche artisanale.

Recrutements et biomasses

Le recrutement dans la pêcherie commence à la classe d'âge 1 (soit des individus âgés entre 1 et 2 mois) pour les mâles et les femelles. Les évolutions des effectifs mensuels présents dans la mer pour cette classe d'âge sont présentées à la figure 97.

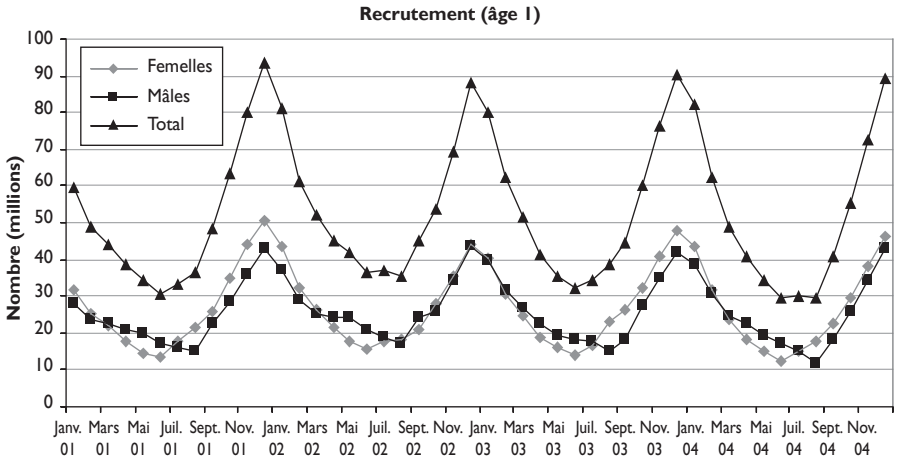


Fig. 97
Évolutions mensuelles par sexe des recrues (classe d'âge 1) de F. indicus *en zone C.*

Les pics de recrutement correspondant à la période d'abondance des *F. indicus* (saison des pluies) ainsi qu'à la principale saison de pêche sont nets, de niveau similaire (ce qui est quelque peu différent des zones précédemment étudiées) et remarquablement superposés pour les mâles et les femelles, avec les sommets en décembre. Les recrutements annuels sont bien équilibrés entre les mâles et les femelles, ce qui est satisfaisant, avec une légère domination des mâles ou des femelles suivant les années.

Comme pour les zones A et B, les plus fortes biomasses des femelles et des mâles sont observées en mars, en bonne concordance avec les maxima de recrutement et avec la fermeture de la saison de pêche qui a protégé les stocks. Les biomasses des femelles et des mâles auraient été faibles au début de 2001 par rapport aux années suivantes.

Mortalités par pêche

Les mortalités par pêche des femelles (fig. 98) et des mâles sont les plus élevées en début de saison de pêche où l'on observe aussi les maxima de biomasses. Elles ne diminuent pas rapidement par la suite comme en zone A et B, ce qui montre que l'activité de pêche visant l'espèce est soutenue toute l'année, les captures diminuent cependant avec la baisse des biomasses.

Sur la figure 99 sont représentées les mortalités par pêche par classe d'âge pour les quatre années étudiées. Pour les deux sexes, les mortalités augmentent nettement avec l'âge, jusqu'à l'âge 6 pour les femelles et elles sont *grosso modo* au même niveau après, jusqu'à l'âge 4 pour les mâles et elles sont ensuite en diminution pour les âges 6 et 7, ce qui montrerait une baisse de disponibilité.

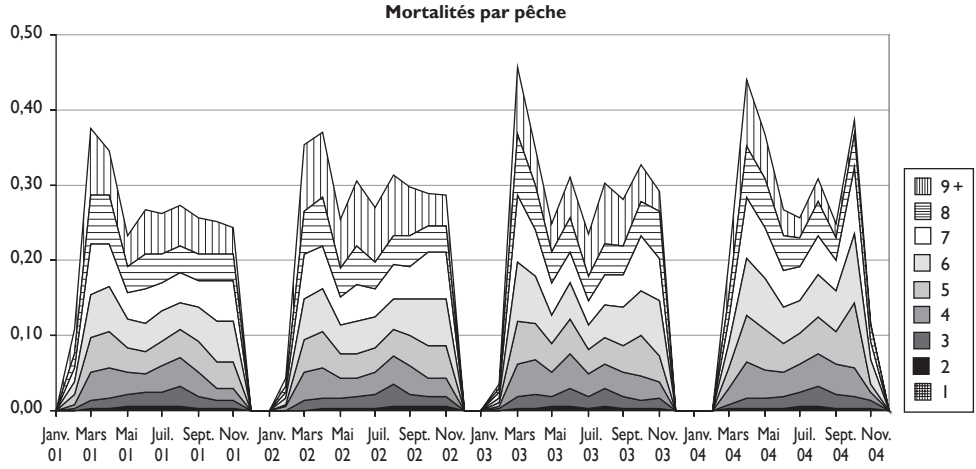


Fig. 98
Évolutions des coefficients de mortalité par pêche par classe d'âge des F. indicus *femelles en zone C.*

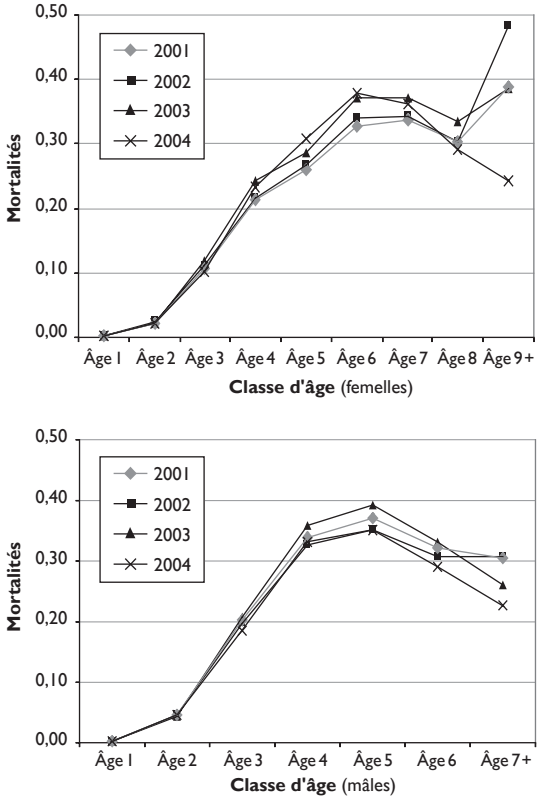


Fig. 99
Mortalités par pêche (moyennes mensuelles de l'année) par classe d'âge (diagramme d'exploitation) de 2001 à 2004, femelles puis mâles, en zone C.

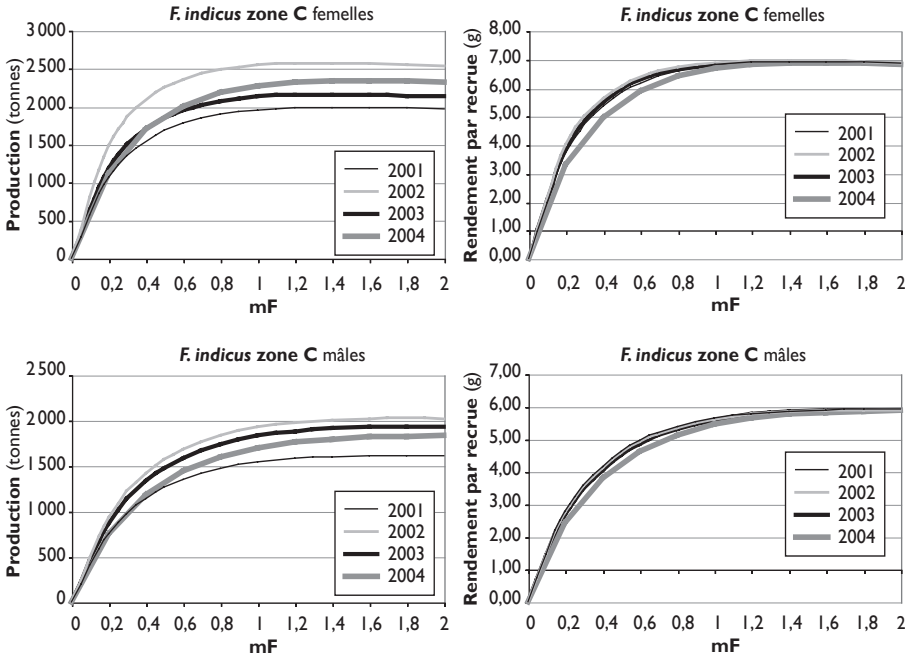


Fig. 100

Production et rendement par recrue pour les femelles et les mâles en zone C, modèle de Thompson et Bell. La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

Modèle de Thompson et Bell

Productions pondérales par sexe et rendements par recrue

La figure 100 présente les courbes de production et de rendement par recrue des femelles et des mâles de *F. indicus* en zone C pour les années 2001 à 2004. Les niveaux des courbes de production sont assez proches pour les quatre années et les allures similaires, les courbes de rendement par recrue sont pratiquement superposées.

Les courbes de production et de rendement par recrue montrent, tant pour les mâles que les femelles que l'espèce ne serait pas surexploitée en zone C. Les niveaux sont à l'optimum de l'effort appliqué et un peu en dessous pour les mâles.

Productions pondérales et monétaires tous sexes

Les productions en volume et en indice de valeur, en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche, années 2002 et 2004 prises comme exemple, sont représentées sur la figure 101. Dans l'ensemble, les productions pondérales et monétaires sont à leur maximum. Des productions monétaires équivalentes peuvent cependant être espérées avec une réduction de l'effort de 20 %, ce qui entraînerait alors une augmentation des rendements.

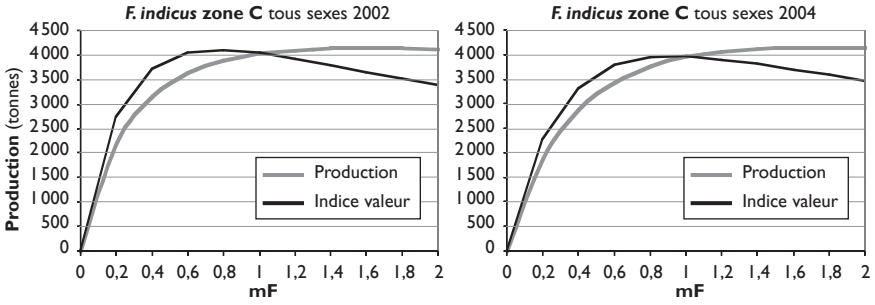


Fig. 101
Production pondérale et indice de valeur en zone C en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche pour l'ensemble des deux sexes, années 2002 et 2004. La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

Conclusion

Du point de vue du niveau d'exploitation et en termes de conservation de la ressource, la crevette *F. indicus* n'apparaît pas en danger de surexploitation biologique dans la zone d'aménagement C. Il faut rappeler que l'exploitation se fait sur une petite partie de la surface côtière de cette zone (Rafalimanana, 2003), là où les abondances sont les plus élevées. Les crevettes qui se trouvent dans des zones relativement moins riches ne sont pas ou peu exploitées et doivent représenter d'importantes quantités, ce qui protège le stock à l'échelle de l'ensemble de la zone. Le gel de l'effort au niveau actuel apparaît une mesure de bonne gestion pour la zone C dans le cadre des connaissances actuellement disponibles, sachant de plus qu'il est difficile de revenir sur une augmentation de l'effort de pêche si celle-ci se montrait défavorable.

Zone d'aménagement D

Les données de captures mensuelles par calibre nous ont été aimablement fournies par l'armement travaillant sur la côte est (zone D) pour les années 1999 à 2004. La pêche traditionnelle, très faible, a été négligée. Le traitement des données est similaire à celui décrit pour la zone A.

Pour les équations de croissance nous avons utilisé les valeurs données pour la zone par Rafalimanana et Caverivière (chapitre 3). Ces équations ont permis de découper les distributions de fréquences de chaque sexe en 7 classes d'âge mensuelles, allant de l'âge 1 (individus âgés de 1 à 2 mois) à l'âge 7+ (individus âgés de 7 mois et plus). Une seule valeur de mortalité naturelle M, soit un coefficient de mortalité de 0,2, a été utilisée pour tous les sexe-âge-mois de capture.

Tableau 27
Captures annuelles (tonnes) par sexe de F. indicus *en zone D, années 1999-2004.*

Année	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**
Mâles	35	38	33	44	31	25
Femelles	134	154	157	198	120	125
Total M + F	**169**	**191**	**190**	**242**	**151**	**150**

Résultats

Captures et effectifs par sexe, poids moyens individuels

Les captures pondérales annuelles par sexe et leurs totaux pour l'ensemble des deux sexes figurent au tableau 27 et sont issus de la méthodologie de décomposition des captures.

Pour les prises de *F. indicus*, l'année 2002 a été exceptionnellement bonne et est suivie des deux années les plus mauvaises de la série des six, ce qui proviendrait probablement de conditions environnementales (Voisin et Sandon, chapitre 4) agissant sur le recrutement ou/et sur la capturabilité des crevettes. Cependant, les données de la base statistique Banacrem pour 2005 indiquent une faible capture de 130 tonnes et, compte tenu du même nombre de crevettiers de type similaire, on peut se demander si ce n'est pas les années 2000, 2001 et surtout 2002 qui ont été particulièrement favorables à la pêche. Les poids moyens individuels par an varient de 27,1 à 29,2 g pour les femelles et de 18,5 à 21,6 g pour les mâles, ils sont un peu plus faibles en 1999-2000 que ceux des années suivantes.

Les évolutions mensuelles des effectifs de mâles et de femelles capturés sont représentées sur la figure 102.

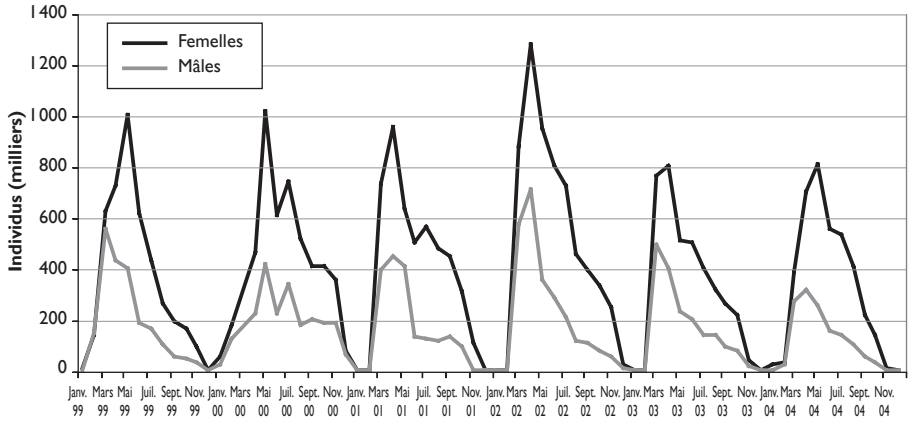


Fig. 102
Effectifs de captures par sexe de F. indicus *en zone D.*

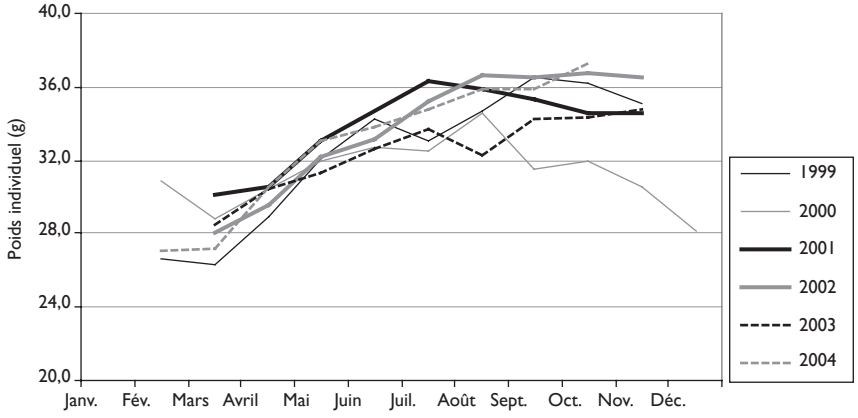


Fig. 103

Évolution mensuelle sur six ans des poids individuels femelles en zone D. Les données correspondant à des captures inférieures à 1 000 kg ont été supprimées car elles ne sont pas représentatives. L'année 2000 apparaît quelque peu différente des autres, surtout en fin d'année.

Après l'ouverture de la pêche, les pics de captures des femelles sont observés en mai (avril en 2003). Les captures diminuent ensuite très rapidement, avec parfois un pic secondaire, ou plutôt un arrêt de la décroissance en juillet. Les captures des mâles sont bien moins nombreuses que celles des femelles, ce qui est normal puisque nous verrons que les captures portent surtout sur des individus de grande taille en zone D et que la différence de croissance entre les mâles et les femelles explique que dans ces tailles les femelles dominent. Les courbes des captures des mâles sont assez similaires à celles des femelles, avec souvent des pics plus précoces d'un mois à ceux des femelles, peut-être parce qu'en début de saison les tailles capturées seraient dans l'ensemble un peu plus petites (fig. 103 pour les femelles)[28], ce qui augmente la proportion des mâles.

Recrutements et biomasses

Pour ne pas surcharger les figures, nous ne représenterons plus par la suite les résultats de 1999, qui sont très proches de ceux des années 2000 et 2001.

Le recrutement dans la pêcherie commence à la classe d'âge 1 pour les mâles et les femelles. L'évolution mensuelle des effectifs est présentée à la figure 104.

Les pics de recrutement correspondant à la principale période de reproduction sont bien marqués, ils sont centrés sur janvier-février pour les femelles et novembre-janvier pour les mâles. Ce décalage entre les mâles et les femelles, sans doute dû en partie aux différences de croissance, est cependant quelque peu embarrassant. Les recrutements annuels par sexe sont déséquilibrés en faveur des femelles, ce qui ne doit pas représenter la réalité. Cela proviendrait

28. Le calcul des poids moyens individuels par sexe et par mois fait appel à un certain nombre d'approximations, il utilise des équations longueurs-poids et des captures calculées à partir des effectifs en sortie des analyses de cohortes. Les valeurs peuvent donc être quelque peu différentes de la réalité, ce sont leurs évolutions qui nous intéressent ici. Les évolutions des poids moyens pour les mâles ne sont pas présentées, elles ont la même forme, quoique avec une variation des poids moins prononcée, ce qui est normal car la croissance est plus lente.

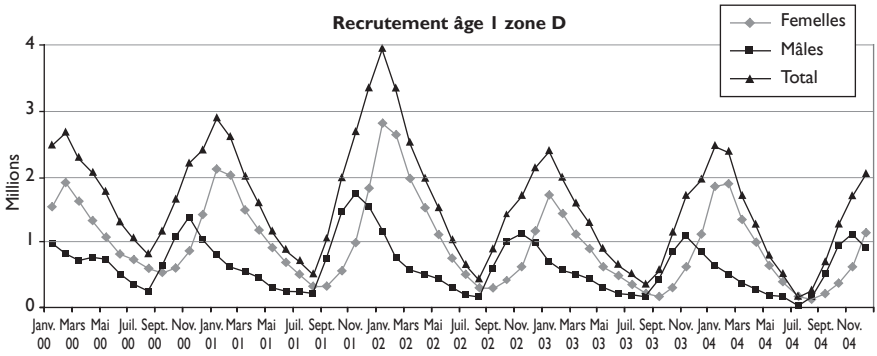


Fig. 104
Évolutions mensuelles par sexe des recrues de F. indicus *(classe d'âge 1) en zone D.*

du nombre beaucoup plus important de femelles capturées, les crevettiers travaillant dans des zones où les gros individus sont concentrés et où il y a proportionnellement moins de mâles du fait de leur moindre croissance. La zone côtière profonde de 5 à 10 m sur la côte ouest, où se concentre la crevette *F. indicus*, et plus particulièrement les recrues, est beaucoup plus étroite sur la côte est, et de plus difficilement accessible aux crevettiers du fait des conditions de mer : présence de houle et d'une barre déferlante côtière. Comme pour les captures, le recrutement de la période 2001-2002 a été particulièrement bon, il est suivi des deux années les plus mauvaises de la série.

Les plus fortes biomasses des mâles et des femelles sont observées en mars-avril, en assez bonne concordance avec les maxima de recrutement et avec la fin de la période d'arrêt de pêche qui a protégé les stocks, mars-avril 2002 étant la valeur la plus élevée du fait d'un bon niveau de recrutement comme indiqué plus haut. Les plus faibles valeurs pour les mâles sont en septembre-octobre et pour les femelles en octobre-novembre, en fin de saison de pêche industrielle, quand l'abondance en mer est très faible. Les biomasses estimées des femelles sont nettement plus élevées que celles des mâles, les femelles étant en moyenne nettement plus grosses que les mâles ; mais il y a sans doute aussi, comme pour le recrutement, un effet artificiel dû à de plus importantes captures de femelles par les crevettiers du fait de leurs zones de pêche.

Mortalités par pêche

Pour les femelles (fig. 105) et les mâles, les mortalités par pêche des différentes années montent jusqu'en avril-mai, quand les biomasses en mer sont importantes. Pour les femelles, elles ne diminuent pratiquement plus par la suite avant les mois de novembre-décembre correspondant à l'arrêt de pêche ou proches de celui-ci, contrairement aux zones A et B étudiées précédemment. Cela montre une activité de pêche soutenue sur l'espèce pendant toute la saison de pêche (en particulier sur les gros individus, car les mortalités sur la classe d'âge la plus âgée sont importantes). En dépit d'une bonne activité de pêche, les captures diminuent cependant en raison de la baisse des biomasses.

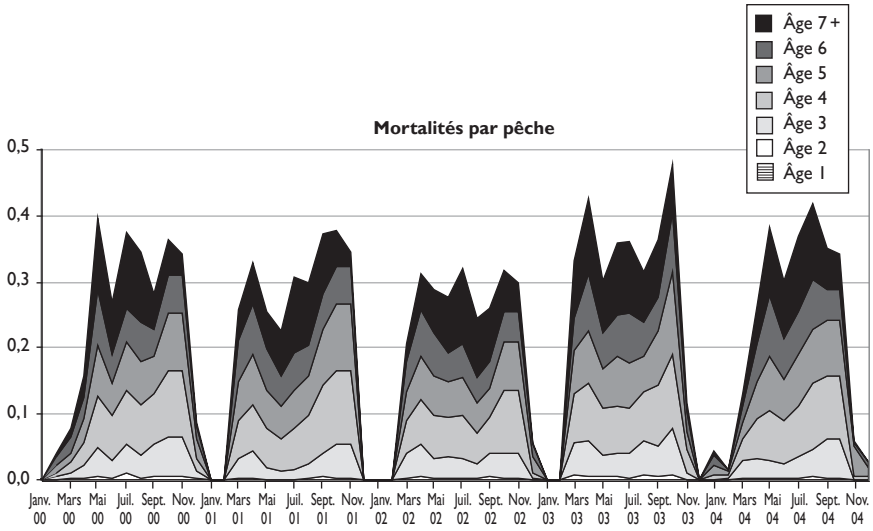


Fig. 105
Évolutions des coefficients de mortalité par pêche par classe d'âge des F. indicus *femelles en zone D.*

Pour les mâles, les mortalités par pêche mensuelles (non figurées) diminuent après le pic d'avril-mai, mais restent aussi à un niveau soutenu jusqu'à l'arrêt de la pêche, et les mortalités sur la classe d'âge la plus âgée sont relativement élevées. Dans l'ensemble, les mortalités par pêche des mâles sont beaucoup plus faibles que celles des femelles (fig. 106), ce qui paraît assez normal car la pêche porte essentiellement sur de grands individus.

Les valeurs les plus élevées des mortalités par pêche concernent les classes d'âge 4 à 7 des femelles qui forment un plateau (fig. 106). Pour les mâles, les mortalités croissent avec les classes d'âge, ce qui est normal en raison d'efforts de pêche importants exercés sur des effectifs de classes d'âge de plus en plus faibles (par rapport aux femelles) du fait de la sénescence.

Modèle de Thompson et Bell

Pour la zone D, on a pu estimer les efforts réellement appliqués sur *F. indicus* de 1999 à 2004. Pour cela, on a sommé par crevettier puis pour leur ensemble (tabl. 28) les jours où des captures de crevettes *F. indicus* ont été effectuées. Ces jours de pêche sont importants quand l'abondance de l'espèce, indiquée par les niveaux des biomasses, est grande (2002) et nettement plus faibles quand l'abondance est réduite (2003, 2004).

Tableau 28
Nombres annuels de jours de pêche où des captures de F. indicus *ont été faites en zone D.*

Année	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**
Jours de pêche	1 010	1 093	1 046	1 203	977	863

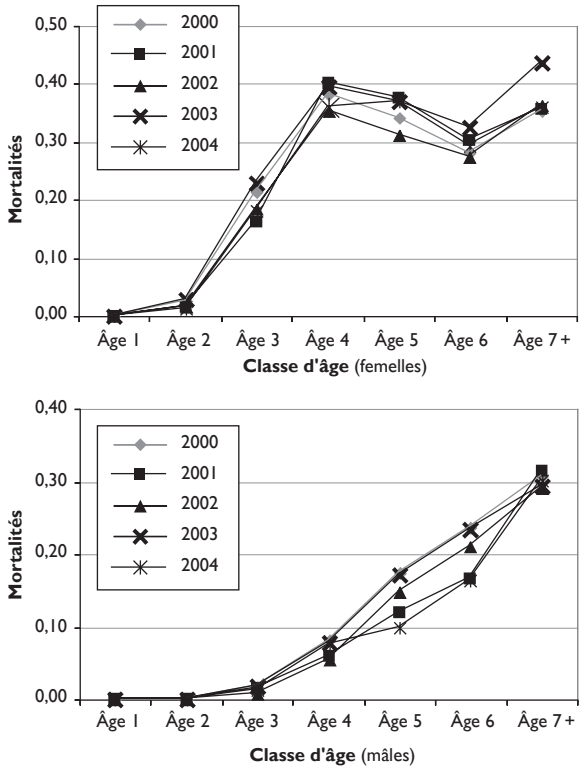


Fig. 106
Mortalités par pêche (moyennes mensuelles de l'année) par classe d'âge de 2000 à 2004, femelles puis mâles, zone D.

Productions pondérales par sexe et rendements par recrue

La figure 107 présente les courbes de production et de rendement par recrue des femelles et des mâles de *F. indicus* en zone D pour les années 2000 à 2004.

Pour les femelles, les courbes de production montrent des niveaux bien différenciés, allant de 180 à 110 tonnes pour l'effort appliqué observé (mF = 1), suivant que les recrutements ont été forts ou faibles. Une petite augmentation de la production pourrait en principe être obtenue en accroissant l'effort, mais avec une chute notable des rendements ; on peut considérer que l'exploitation des femelles est au niveau du maximum économique. Les courbes de rendement par recrue sont de niveaux proches pour les différentes années.

Pour les mâles, les productions annuelles sont également variables, avec aussi des productions plus faibles pour les années à faible recrutement. Comme pour les femelles, les courbes de rendement par recrue sont plus resserrées. Une augmentation de l'effort pourrait accroître de manière non négligeable la production soutenable et le rendement par recrue des mâles, mais cela ne semble pas souhaitable car l'essentiel de la pêche se fait sur les femelles, dont l'exploitation est au niveau du maximum de la valeur des captures.

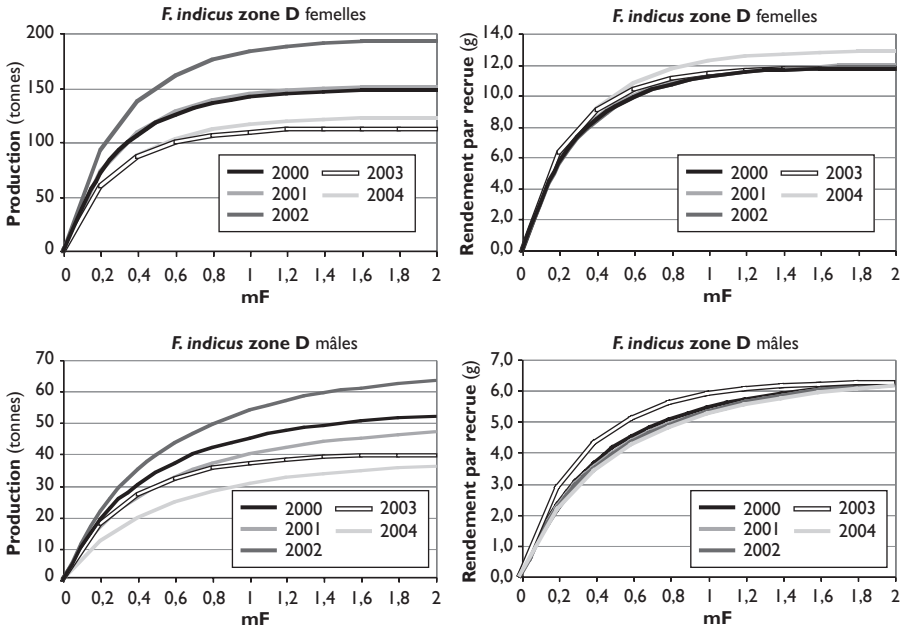


Fig. 107
Production et rendement par recrue pour les femelles et les mâles en zone D, modèle de Thompson et Bell. La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

Productions pondérales et monétaires tous sexes

Les productions pondérales et en indice de valeur, en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche, pour l'ensemble des deux sexes, années 2002 et 2004 prises comme exemple, sont représentées sur la figure 108. Les courbes montrent qu'aux niveaux d'effort observés les indices de valeur sont à leurs maxima et chuteraient si on augmentait l'effort de pêche. Si, faisant abstraction des indices de valeur, des augmentations de l'effort de pêche pourraient accroître un peu la production, elles feraient chuter proportionnellement plus les rendements de la pêche et mettraient très vraisemblablement la rentabilité de l'activité en danger. Il est bien connu, qu'une optimisation de la pêche est obtenue pour des niveaux d'effort inférieurs à celui qui correspond à la production pondérale maximale.

Discussion-conclusion

Il semble qu'il y ait eu une modification considérable des tailles moyennes (donc sans doute de la stratégie de pêche) dans le temps en zone D. En effet, Dintheer *et al.* (1998) rapportent qu'en 1995, les *Fenneropenaeus indicus* capturées sur la côte est sont plus petites que celles de la côte ouest. Pour 1998, Moguedet *et al.* (2000) indiquent le contraire et produisent un graphe où les modes des distributions des captures mâles et femelles sur la côte est

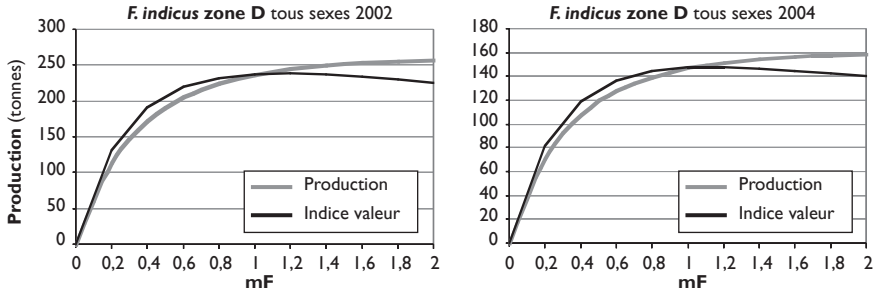


Fig. 108
Production pondérale et indice de valeur en zone D en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche pour l'ensemble des deux sexes, années 2002 et 2004. La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

sont à 24-25 mm de longueur céphalothoracique, valeurs bien inférieures aux modes observés pour les moyennes des distributions 2001-2003 (34 et 29 mm pour les femelles et les mâles respectivement).

À l'âge 1 retenu pour le recrutement, les effectifs de femelles survivantes estimés par les analyses de cohortes sont bien supérieurs à ceux des mâles. Ces différences sont artificielles, car les recrutements doivent en théorie être relativement équilibrés entre sexe, les pontes des femelles étant censées donner lors de la différentiation sexuelle autant d'individus de chaque sexe. Le déséquilibre issu des calculs pour la zone D, si l'on considère que la croissance est correctement décrite, proviendrait de ce que la pêcherie capture un nombre particulièrement élevé de femelles dans les classes d'âge les plus vieilles. L'analyse de cohortes, qui commence par la dernière classe d'âge, n'arrive pas à compenser le déséquilibre au niveau du recrutement, malgré ses propriétés de convergence.

Comme les mâles sont plus petits que les femelles, ils doivent être plus soumis à la prédation que les femelles, en particulier pour les classes d'âge jeunes. On peut penser aussi que la sénescence augmente la mortalité chez les individus d'âge avancé. Nous avons, pour prendre en compte ces phénomènes, utilisé pour les mâles un coefficient de mortalité naturelle M égal à 0,3 au lieu de 0,2 pour les classes d'âge 1 et 2, ainsi que pour la plus âgée 7+. La différence est sensible, car avec un coefficient de mortalité de 0,3 et après 10 mois, seulement 5 % des individus survivent en l'absence de pêche, contre 13,8 % avec un coefficient de 0,2. Nous obtenons alors un nombre de recrues mâles (12,2 millions) similaire à celui des femelles (12,8 millions). Bien entendu, d'autres répartitions des M par classe d'âge permettent des recrutements équilibrés entre mâles et femelles. Par exemple, M = 0,3 pour la classe d'âge 1 et 7+, M = 0,25 pour les classes d'âge 2 et 3, M = 0,22 pour les classes d'âge 4, 5 et 6, conduisent à des recrutements de 12,8 millions pour les deux sexes. L'important étant que, d'après les données de la zone, les cœfficients de mortalité naturelle des mâles seraient plus élevés que ceux des femelles et particulièrement pour les individus les plus âgés dominant dans les captures

de cette zone. La longévité moyenne des mâles serait alors moindre que celle des femelles, comme cela a été observé chez beaucoup d'animaux. Avec des coefficients de mortalité naturelle plus élevés, le diagnostic de sous-exploitation des mâles serait un peu augmenté ; il n'y aurait cependant pas de gains à attendre d'un accroissement de l'effort de pêche, puisque l'essentiel de la pêche se fait sur les femelles et qu'aux niveaux d'effort observés les courbes d'indices de valeur sont à leurs maxima et chuteraient si on augmentait l'effort de pêche.

En zone D, beaucoup moins riche en crevettes que la côte ouest, et qui est exploitée par des chalutiers obligés de commercialiser d'importantes quantités de poissons pour être rentables, l'espèce *F. indicus* est pleinement exploitée, non plus biologiquement mais économiquement, c'est-à-dire à un niveau inférieur d'effort de pêche. Les crevettes capturées y sont beaucoup plus grosses et les rendements par recrue calculés par la modélisation s'en ressentent, de l'ordre de 11 g par individu femelle contre 8 g en zone A. Les faibles rendements d'ensemble observés ces deux dernières années en zone D pour *F. indicus* proviendraient alors sans doute de recrutements annuels faibles (ou d'une moindre capturabilité des crevettes aux engins de pêche), qui seraient reliés à des facteurs environnementaux encore mal connus, comme la pluviométrie (Voisin et Sandon, chapitre 4). Ces faiblesses sont en mesure de mettre en danger l'exploitation, malgré une bonne « gestion », du fait de faibles densités dans un milieu moins favorable à cette crevette que les zones de pêches de la côte ouest.

Conclusion générale

Dans l'ensemble, à partir des données de capture fournies par les armements et le système d'enquête mis en place pour la pêche traditionnelle, les productions pondérales des ensembles mâles et femelles sont proches des niveaux optima ou un peu en deçà, ce qui est satisfaisant. Les productions monétaires peuvent le plus souvent être maintenues ou améliorées avec une réduction de l'effort global.

En pêches industrielle et artisanale, les poids moyens des *F. indicus* capturées sont les plus faibles pour les zones d'aménagement A et B, puis vient la zone C et enfin la zone D pour laquelle on observe des poids nettement plus élevés (tabl. 29). C'est la même chose pour l'ensemble de la pêche crevettière qui prend aussi en compte la pêche artisanale et la pêche industrielle, alors que les croissances des mâles et des femelles en zones A et C sont proches.

Il est normal que les tailles moyennes et donc les poids moyens diminuent quand les niveaux d'exploitation sont plus élevés. Pourtant, nous avons estimé à partir des éléments dont nous disposions que les niveaux d'exploitation sont

Tableau 29
Poids moyens individuels (g) des captures de F. indicus *(tous sexes) pour les différentes zones et années.*

		2000	2001	2002	2003	2004	2005
Zone A	Pêche industrielle		15,78	15,79	13,80	15,99	13,28
	Toute pêche		13,74	13,83	13,49	14,50	13,39
Zone B	Pêche industrielle		17,57	14,02	14,34	15,01	
	Toute pêche		15,23	13,66	13,74	13,85	
Zone C	Pêche industrielle		19,71	20,01	18,76	20,05	
	Toute pêche		16,74	17,25	16,27	17,56	
Zone D	Pêche industrielle	25,20	26,90	26,10	24,80	26,80	

assez similaires pour les quatre zones, quoique la zone A soit la plus exploitée et la zone B le moins. Il est apparu sur le tard pour la zone A que des engins de pêche capturant de toutes petites crevettes de l'espèce *F. indicus*, situées dans des endroits difficiles d'accès, n'avaient pas été comptabilisés par le système d'enquête. Une première tentative de leur prise en compte conduit à un état de surexploitation marquée dans la zone (surexploitation de croissance) qui a pu fragiliser les stocks vis-à-vis de l'environnement climatique et conduire à de mauvais recrutements en mer (surexploitation de recrutement). Une similarité d'absence de prise en compte de ce type d'engin de pêche existe dans la zone B, où la pêche traditionnelle est aussi importante qu'en zone A, et cela conduirait sans doute aussi à un diagnostic de surexploitation, comme le prouveraient les difficultés récentes de la pêche industrielle dans cette zone. Les faibles poids moyens observés en zone A et B, par rapport aux zones C et D, sont en conformité avec ces éléments.

Dans l'avenir, sous peine de résultats faussés, un effort de recensement et d'échantillonnage important devrait porter sur les engins de pêche manquants.

Il est considéré depuis longtemps, en particulier par Marcille (1978), et confirmé à partir de nombreux marquages par Rafalimanana (2003 et chapitre 2), que les stocks de la crevette *F. indicus* sont bien délimités dans l'espace et souvent inféodés à des estuaires. Cela est confirmé, à une échelle plus vaste cependant, par les résultats des analyses de cohortes de notre étude qui donnent, pour l'ensemble de la période pluriannuelle étudiée, des maxima de recrutement variables d'une zone à l'autre : saison des pluies 2003-2004 pour la zone A, saison 2002-2003 pour la zone B et saison 2001-2002 pour la zone D.

Dans la zone D, les captures portent principalement sur les individus âgés et les coefficients de mortalité naturelle des mâles seraient supérieurs à ceux des femelles, en particulier pour les individus les plus âgés. Cela permet de penser que la longévité moyenne des mâles serait moindre que celle des femelles, comme cela a déjà été observé chez beaucoup d'espèces animales.

Les facteurs environnementaux ne sont pas négligeables dans l'évolution des niveaux d'abondance. Ainsi, les captures de la pêche industrielle en zone A ont été très faibles à l'ouverture de la saison de pêche 2005 (même compte tenu d'une surpêche sur l'ensemble de la saison), alors que par contre les prises de la pêche traditionnelle dans les estuaires ont été correctes pendant la même période. Les effets de chasse des jeunes crevettes vers la mer par la crue des fleuves auraient été réduits, sans qu'il ait été possible de les mettre en évidence par manque de données sur le débit des fleuves. Des phénomènes de même nature ont vraisemblablement joué en zone D, où les captures des années 2003 et surtout 2004 ont été faibles, suivant il est vrai une année 2002 exceptionnelle.

Le cas de la zone D est particulier, les crevettes n'y sont présentes qu'en faibles densités et ne sont pratiquement exploitées que par des chalutiers qui doivent commercialiser d'importantes quantités de poissons pour maintenir leur activité. L'espèce *F. indicus* y est exploitée au mieux de sa rente économique, c'est-à-dire à un niveau plus intéressant que le niveau optimum de production pondérale.

Il a été considéré que les analyses de cohortes réalisées sur les crevettes côtières de Madagascar, ici *Fenneropenaeus indicus*, étaient robustes. Quelques améliorations pourraient cependant être réalisées pour augmenter leur fiabilité. En particulier, ces analyses sont basées sur des lois de croissance qui sont différentes par zone et par saison, et la saisonnalité n'a pour le moment pas été intégrée dans les études. Il serait aussi bon de réactualiser les données de distributions par sexe dans les calibres pour la pêche industrielle, qui sont aussi à l'origine des analyses de cohortes pour cette composante de la pêche. Quand la pêche traditionnelle existe et est importante, il est essentiel d'avoir, en raison de son évolution rapide, des données de captures par sexe et par engin récentes, avec les distributions de fréquence correspondantes.

La robustesse des analyses doit être appréciée dans son ensemble ; il ne faut pas s'attacher aux valeurs absolues en elles-mêmes, mais considérer leurs niveaux et les tendances.

Dynamique des populations des crevettes *Metapenaeus monoceros* dans trois zones d'aménagement à Madagascar

Alain caverivière,
Herimamy Lalaniaina razafindrakoto

© A. de Rodellec/PNRC

Des indications très synthétiques concernant la méthodologie utilisée pour l'étude seront données ci-dessous. Pour des indications plus complètes sur les méthodes d'analyses, le lecteur se reportera au chapitre 8 concernant la crevette *Fenneropenaeus indicus*.

La zone d'aménagement B n'a pas été étudiée car les données dont nous disposons sont trop partielles. Les autres zones d'aménagement seront traitées les unes après les autres dans la partie résultats, mais la discussion de ces résultats ne sera faite qu'en fin d'article.

Données et méthodologie

Les données et leur mise en forme

Pour la zone d'aménagement A, les données fournies par les armements de pêche industrielle sont les seules à être utilisées. La pêche traditionnelle dans

la zone, si importante pour *Fenneropenaeus indicus*, capture apparemment très peu de *Metapenaeus monoceros* comme le montrent de nombreux échantillons des captures de pêcheurs traditionnels étudiées en 2003 (Rasoanandrasana et Sandon, 2004 a). Ces auteurs indiquent des pourcentages faibles des individus de *M. monoceros* : entre 3 % (pour le principal village de pêcheurs) et 10 % des captures étaient des *Metapenaeus* sp. La crevette *M. monoceros* étant surtout pêchée de nuit par les crevettiers industriels car moins vulnérable de jour, il est possible que cette moindre vulnérabilité se présente aussi en estuaire où la pêche traditionnelle opère peu de nuit (*valakira*).

Les données de capture de *M. monoceros* fournies par le principal armement opérant dans la zone A sont des données mensuelles qui portent sur les traitements de l'usine de conditionnement à terre. Ces traitements peuvent avoir eu lieu, et particulièrement pour cette espèce, longtemps après la capture. Pour affecter au mieux les données de capture aux mois où elles ont été réalisées nous avons utilisé, suivant une méthodologie laborieuse que nous ne décrirons pas, les données journalières de capture de la base Banacrem (où l'espèce n'est pas différenciée des autres espèces secondaires de crevettes) et les données de l'autre armement qui travaille dans la zone. Les captures totales annuelles de la période 2002-2005, période d'application des études de dynamique analytique pour la zone, sont données au tableau 30, avec celles des autres zones. Il y a une très importante baisse des captures en 2004-2005.

Pour la zone d'aménagement C, les données de capture par catégories commerciales pour les années 2002 à 2005 proviennent des trois principaux armements industriels, comprenant pour certains la commercialisation pour d'autres sociétés opérant dans la zone. Ces armements ont traité, suivant les années considérées, entre 65 et 75 % des captures de *M. monoceros* réalisées en zone C par l'ensemble de la pêche industrielle et artisanale. Les captures par catégories commerciales ont été multipliées par un facteur permettant de les amener aux captures totales prenant en compte celles des autres armements (tabl. 30), ces captures sont en diminution en 2004-2005.

Pour la zone d'aménagement D, les données de capture par catégories commerciales ont été fournies pour les années 1999 à 2004 par l'armement travaillant dans la zone ; elles sont en nette diminution en 2003-2004, tout comme celles de l'espèce principale *F. indicus* (cf. chapitre 8).

Tableau 30
Captures annuelles (tonnes) de M. monoceros *dans les trois zones d'aménagement étudiées.*

Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Zone A				583	507	170	177
Zone C				1 177	1 197	999	975
Zone D	230	307	330	277	144	132	

Tableau 31
Indices des prix par calibre commercial pour les crevettes M. monoceros *entières (HO), base 1,0 pour le calibre entier 60-80 (60 à 80 individus au kg).*

Calibre	U10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-150	150UP
Indice prix	3,08	3,07	1,88	1,59	1,27	1,00	0,78	0,72	0,61	0,40

Les structures de taille par sexe des captures ont été obtenues à partir des données de prises par calibre fournies par les armements et des mensurations faites en usines sur ces calibres (près de 50 000 crevettes *M. monoceros* mesurées en 1998-2000 pour l'ensemble de la côte ouest). Elles sont représentées (après lissage sur trois points) pour l'ensemble des deux sexes, par zone et par année, sur la figure 109.

Les courbes sont en forme de dôme assez régulier en zone A (mode à 22 mm). Elles sont similaires en zone C, avec cependant des tailles un peu supérieures (mode à 23 mm et proportion un peu plus forte de grands individus) à la zone A. Sur la côte est (zone D), les modes sont un peu plus élevés, surtout à partir de 2002 (modes à 25-26 mm) et les grands individus sont encore plus présents.

Pour les indices de valeur commerciale qui seront utilisés dans la modélisation de Thompson et Bell, ils sont basés sur les prix export FOB par espèce et par calibre transmis par l'observatoire économique de la pêche crevettière pour 2004 ; le prix relatif du calibre entier 60-80 a été fixé à 1,0 (tabl. 31).

Méthodologie

Les analyses de cohortes et la modélisation de type Thompson et Bell ont été réalisés en suivant la même méthodologie que lors du travail présenté précédemment pour l'espèce *F. indicus* (Caverivière et Razafindrakoto, chapitre 8) :

– analyses de cohortes ascendantes classiques (sans procédure de stabilisation), avec fixation des mortalités par pêche mensuelles du groupe d'âge terminal en fonction des prises de ce groupe d'âge ;

– coefficient de mortalité naturelle fixé à 0,2 (mois) pour tous les groupes d'âge ;

– paramètres des équations de croissance des femelles déterminés pour les différentes zones d'aménagement et par façade maritime pour les mâles, avec « fixation » de la longueur 'L infini'.

Il s'agit d'une croissance de saison froide pour les femelles et les mâles de la côte ouest ; elle concerne les deux saisons pour la côte est, où malgré cela elle est plutôt plus faible que sur la côte ouest. Pour l'étude, du fait d'une croissance relativement lente et comme pour les *F. indicus* de la zone B, nous avons dû faire des regroupements en classes d'âge bimensuelles pour obtenir des intervalles de taille entre deux classes d'âge qui ne soient pas trop rapprochés.

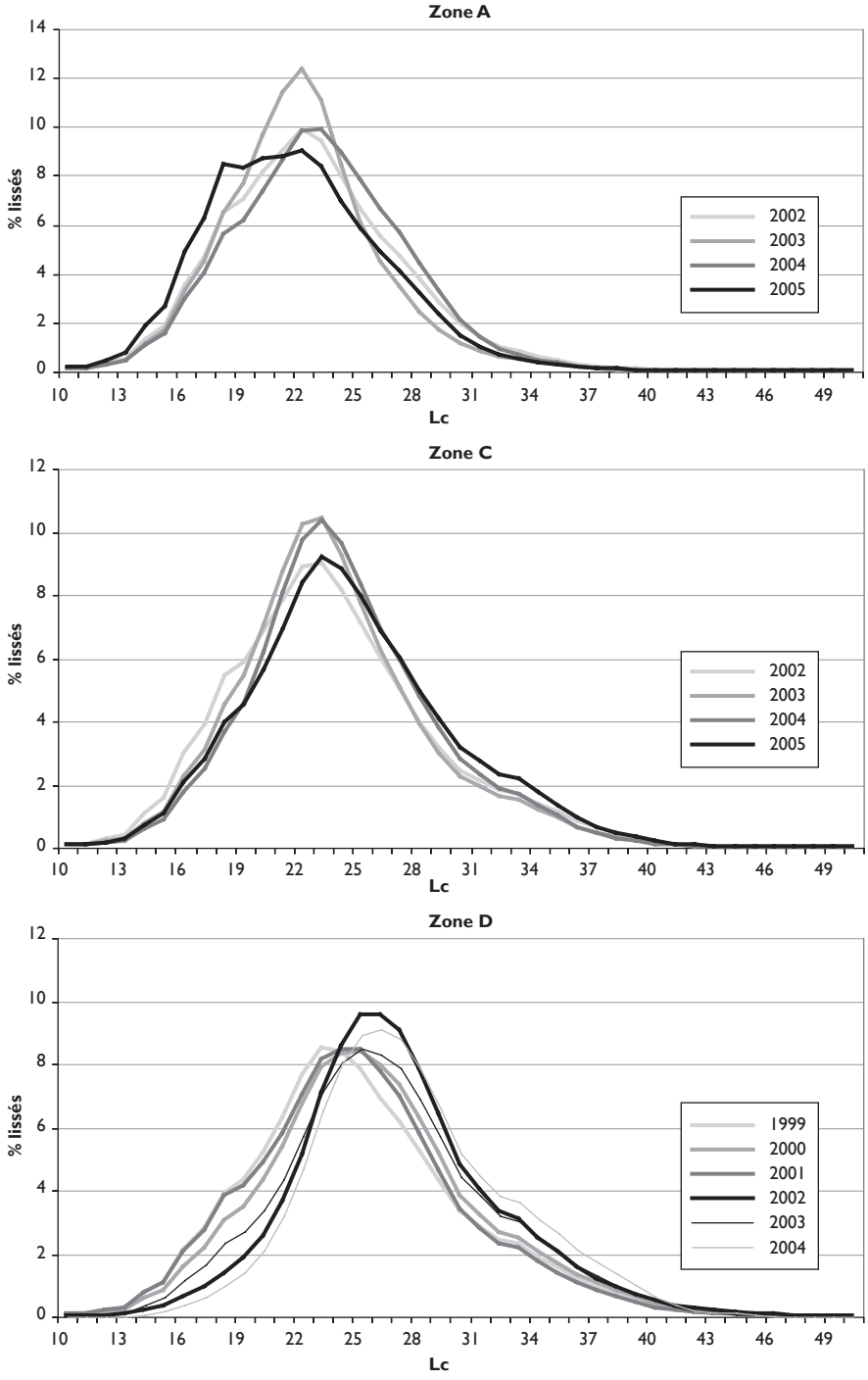


Fig. 109
Distributions de fréquences annuelles des captures de M. monoceros
en zone A, puis C et D, ensemble des deux sexes.

Tableau 32
Poids (tonnes) des captures par sexe et totales de M. monoceros *en zone A, années 2002-2005.*

	2002	2003	2004	2005
Mâles	247	241	73	80
Femelles	336	266	97	97
Total M + F	583	507	170	177

Résultats

Zone d'aménagement A

Captures et effectifs par sexe, poids moyens individuels

Les captures pondérales annuelles par sexe (années 2002 à 2005) et leurs totaux pour l'ensemble des deux sexes figurent au tableau 32, et sont issus de la méthodologie de décomposition des captures appliquée.

Pour chaque année, les effectifs d'individus mâles et femelles capturés (fig. 110) sont similaires, mais les captures de 2004 et 2005 sont bien plus faibles que celles des deux années précédentes. Le premier pic de capture apparaît après l'ouverture de la pêche, en mars, pour 2002 et 2003. Il n'apparaît plus par la suite car les armements de la zone ont décidé de ne plus pêcher de nuit pendant le premier semestre en 2004 et 2005 ; hors c'est de nuit que la crevette *M. monoceros* est plus particulièrement disponible à la pêche dans ses zones de prédilection. Cet arrêt de la pêche de nuit est en partie responsable de la chute des captures, mais n'est pas suffisant à les expliquer en totalité. Un pic secondaire apparaît en mai quand l'effort se porte un peu plus sur l'espèce, suite à la chute des rendements sur l'espèce principale *F. indicus*. Un dernier pic se situe entre juillet et septembre, quand l'espèce principale n'est presque plus recherchée.

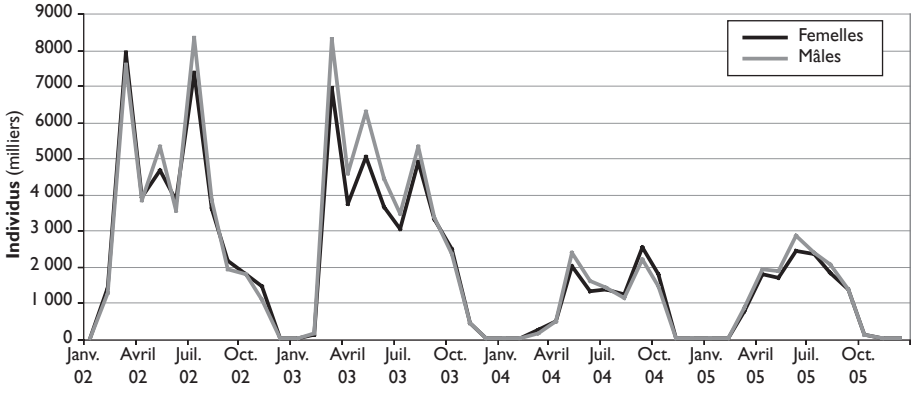


Fig. 110
Captures en nombre par sexe (milliers) de Metapenaeus monoceros *en zone A.*

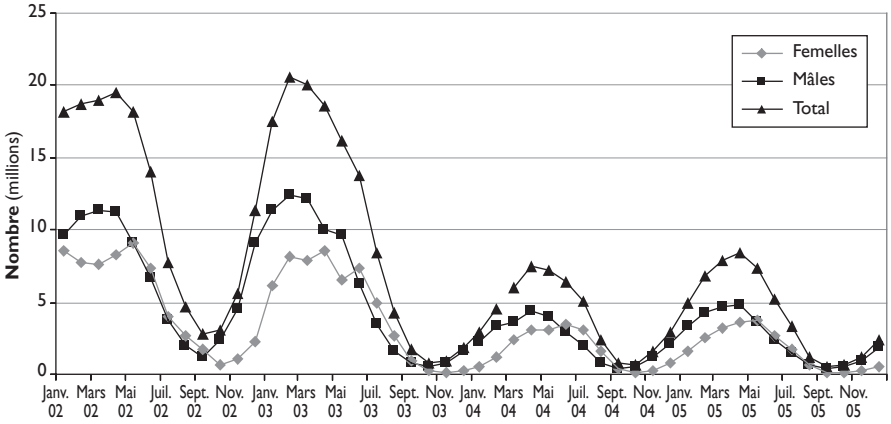


Fig. 111
Évolutions mensuelles des recrutements de M. monoceros *femelles (classe d'âge 1-2), mâles (classe d'âge 3-4) et tous sexes en zone A.*

Les femelles dominent en poids du fait de poids moyens individuels (de 8,4 à 9,5 g selon les années) plus élevés que ceux des mâles (de 6,4 à 7,1 g).

Recrutements et biomasses

Les recrutements dans la pêcherie commencent à la classe d'âge 1-2 mois pour les femelles, mais seulement à la classe d'âge supérieure (3-4 mois) pour les mâles qui ne sont pas capturés plus jeunes par les chaluts, probablement en raison de leur petite taille. Les évolutions mensuelles des effectifs dans la mer aux âges de recrutement sont présentées à la figure 111.

Les périodes de recrutement sont bien marquées, mais assez étalées dans le temps. L'essentiel des recrutements a lieu en deuxième partie de saison chaude, entre février et mai. Les résultats des analyses de cohortes donnent des effectifs dans le milieu différents entre les sexes pour les jeunes crevettes, ce qui pose théoriquement des problèmes. Les croissances utilisées, très différentes entre les sexes, peuvent en être en bonne partie la cause. Nous reviendrons sur cette question lors de la discussion.

Les plus fortes biomasses de femelles et de mâles (non représentées graphiquement ici) seraient estimées pour le mois de mars et resteraient assez élevées jusqu'en mai-juin pour les deux premières années. Par la suite, le pic se déplace en avril-juin et, comme il n'y a plus eu de pêche de nuit en début de saison de pêche, ce changement de stratégie modifierait les estimations des biomasses qui seraient alors quelque peu sujettes à des biais. Les plus faibles estimations des biomasses correspondent toujours au quatrième trimestre.

Mortalités par pêche

L'évolution des coefficients de mortalité par pêche est présentée à la figure 112 pour les femelles qui représentent l'essentiel de la pêche. Pour les deux

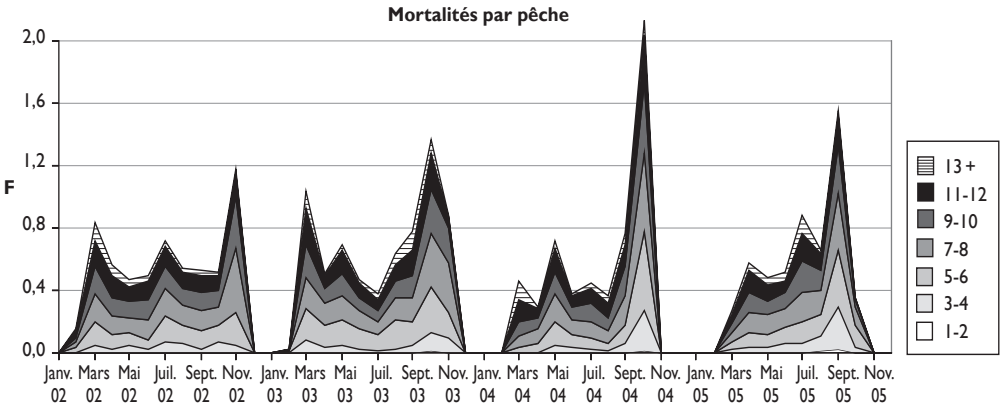


Fig. 112
Évolutions des coefficients mensuels de mortalité par pêche (F) par classe d'âge des M. monoceros *femelles en zone A.*

premières années il existe un pic de mortalité à l'ouverture de la saison de pêche, qui disparaît par la suite avec l'arrêt de la pêche de nuit sur l'espèce à cette période. De fortes valeurs des coefficients sont estimées à la fin de la saison de pêche, lorsque les navires recherchent activement l'espèce alors que sa biomasse est à un faible niveau. Il est cependant probable que ces fortes valeurs soient quelque peu exagérées car elles sont suivies de valeurs de captures faibles ou nulles dues à la cessation des activités de pêche, et les analyses de cohortes sont sensibles à des variations brutales d'un mois à l'autre qui peuvent entraîner quelques biais. Ce biais possible, portant sur de faibles prises par rapport à l'ensemble annuel, ne peut guère modifier le sens des modèles d'évaluation qui suivront.

Les évolutions pour les mâles (non représentées) sont similaires à celles des femelles, avec cependant des valeurs nettement plus faibles des coefficients de mortalité par pêche.

Sur la figure 113 sont représentées les mortalités par pêche F mensuelles moyennes par classe d'âge pour les quatre années étudiées, obtenues en sommant et en divisant par 12 les mortalités de chaque mois d'une année. Les valeurs augmentent de la classe 1-2 à la classe 7-8 chez les femelles, 9-10 chez les mâles. Elles diminuent ensuite pour les femelles et se stabilisent pour les mâles. Il faut rappeler que les mortalités pour l'âge 13+ représentent les valeurs fixées par mois pour l'initialisation des analyses de cohortes. Les valeurs pour 2004 et 2005, tant pour les femelles que pour les mâles, sont inférieures à celles des deux années précédentes, ce qui correspond au moins en partie à une diminution de l'effort de pêche (arrêt de la pêche de nuit au premier semestre notamment).

La représentation d'ensemble des mortalités F est le plus souvent bien supérieure au coefficient de mortalité naturelle M retenu (0,2).

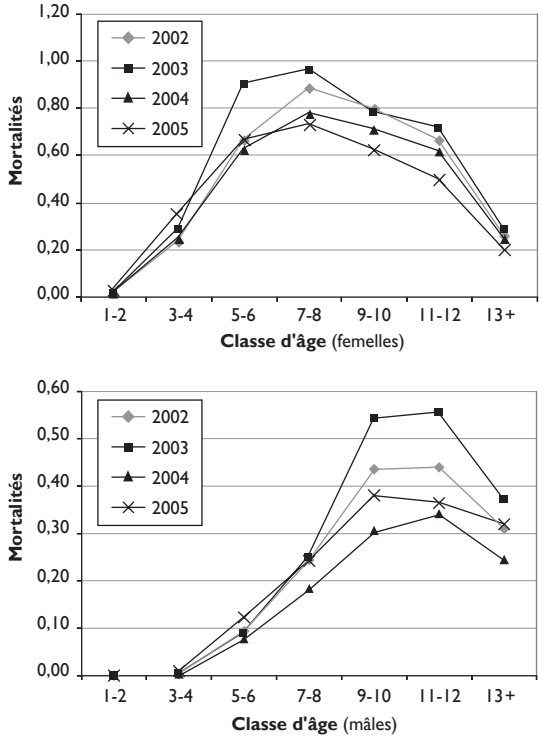


Fig. 113
Mortalités par pêche (moyennes mensuelles de l'année) par classe d'âge (diagramme d'exploitation) de 2002 à 2005, femelles puis mâles en zone A.

Modèle de Thompson et Bell

Productions pondérales par sexe et rendements par recrue

La figure 114 présente les courbes de production et de rendement par recrue des femelles et des mâles de *M. monoceros* en zone A pour les années 2002 à 2005. Les niveaux des courbes de production sont très différents entre le début et la fin de la période, reflétant les niveaux de capture et les allures similaires des courbes. Les femelles seraient assez surexploitées en début de période, un peu moins ensuite ; les mâles seraient un peu sous-exploités en termes de production, leur taille ne permettant que la capture d'individus assez âgés. Les courbes de rendement par recrue des différentes années sont pratiquement superposées. Ces résultats sont assez curieux et seront discutés en fin de chapitre.

Productions pondérales et monétaires tous sexes

Les productions en volume et en indice de valeur, en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche, pour l'ensemble des deux sexes, années 2002 et 2004 prises comme exemple, sont représentées sur la figure 115. Les productions pondérales seraient à leur maximum et les productions monétaires pourraient

être un peu augmentées avec une diminution de l'effort de pêche. Cependant, il paraît curieux que deux graphiques montrant des courbes similaires par rapport à l'effort de pêche soient obtenus à partir de niveaux de production très différents (près de 600 tonnes en 2002 et moins de 200 tonnes en 2005).

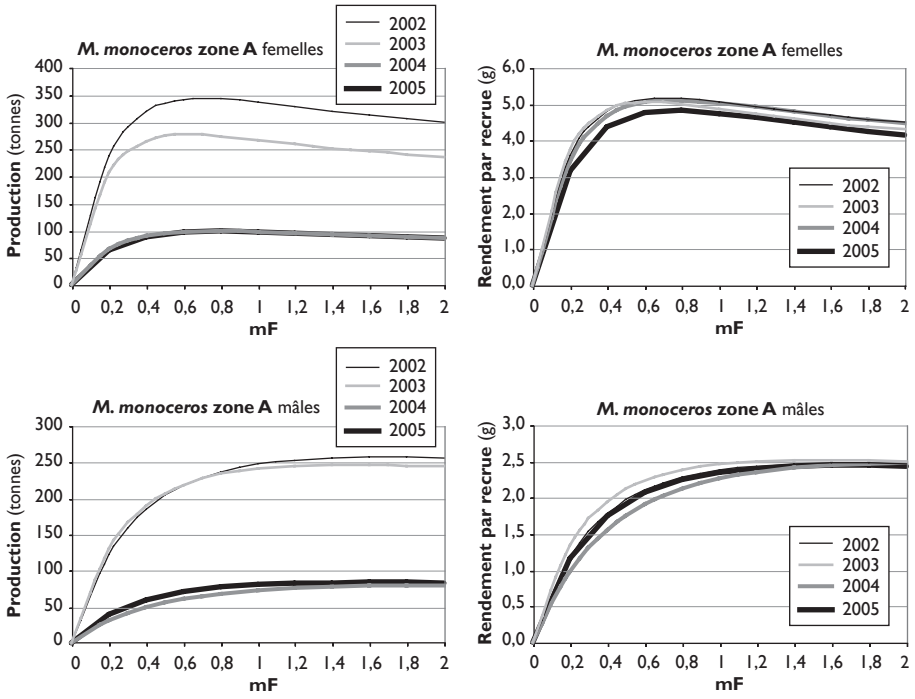


Fig. 114
Production et rendement par recrue pour les femelles et les mâles en zone A, modèle de Thompson et Bell. La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

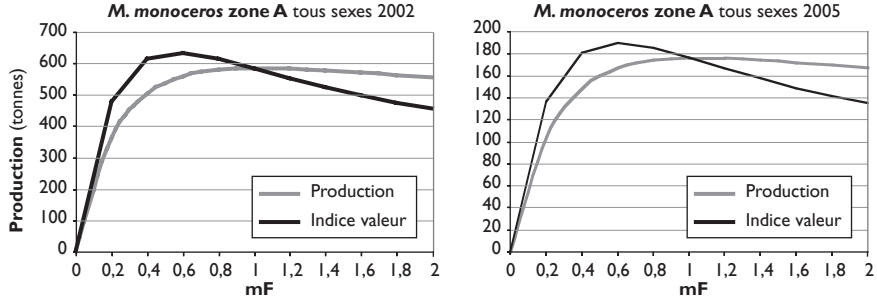


Fig. 115
Production pondérale et indice de valeur en zone A en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche pour l'ensemble des deux sexes, années 2002 et 2005. La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

Zone d'aménagement C

Captures et effectifs par sexe, poids moyens individuels

Les captures pondérales annuelles par sexe et leurs totaux pour l'ensemble des deux sexes figurent au tableau 33, et sont issus de la méthodologie de décomposition des captures appliquée.

Chaque année, les femelles dominent nettement en poids dans les captures, mais aussi quelque peu en effectifs, et les évolutions mensuelles des captures en effectif par sexe et en poids tous sexes (fig. 116) sont assez proches de celles décrites pour la zone A, bien que d'interprétation moins nette.

Les poids moyens individuels des femelles (de 10,9 à 12 g suivant les années) sont plus élevés que ceux des mâles (de 7 à 7,6 g).

Tableau 33
Poids des captures (tonnes) par sexe et totaux de M. monoceros *en zone C, années 2002-2005.*

	2002	2003	2004	2005
Mâles	413	449	360	317
Femelles	763	747	640	658
Total M + F	1 176	1 196	1 000	975

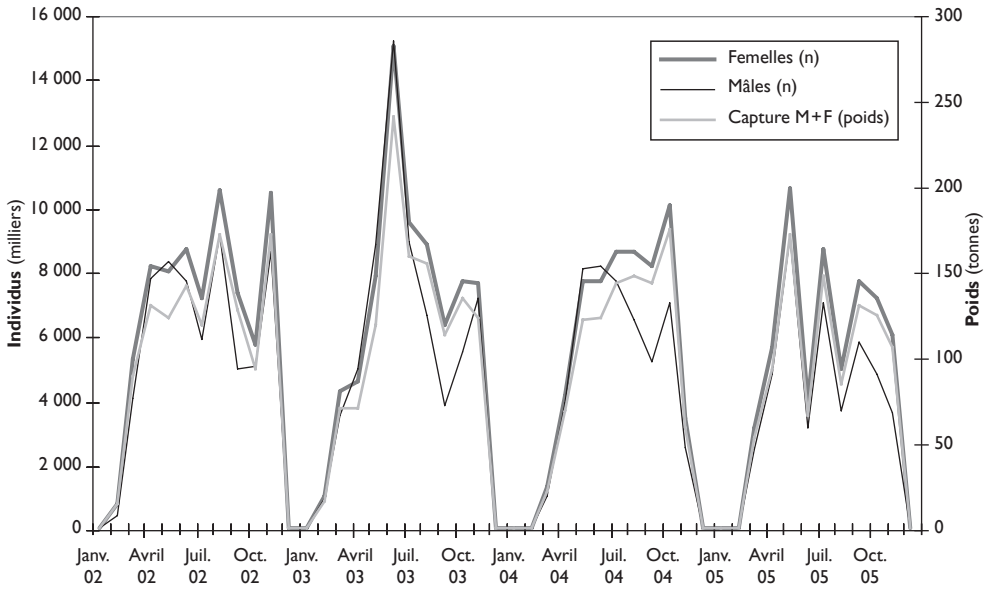


Fig. 116
Captures en nombre par sexe et en poids (tous sexes) de Metapenaeus monoceros *en zone C.*

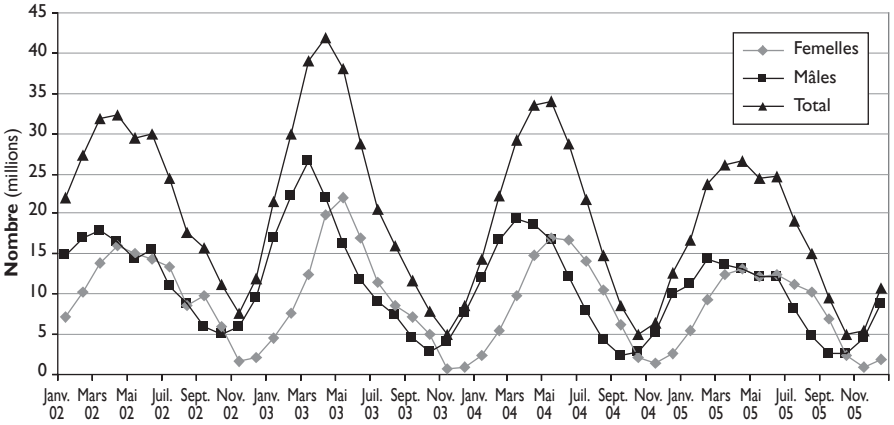


Fig. 117
Évolutions mensuelles des recrutements de M. monoceros *femelles (classe d'âge 1-2), mâles (classe d'âge 3-4) et tous sexes en zone C.*

Recrutements et biomasses

Les recrutements dans la pêcherie commencent à la classe d'âge 1-2 mois pour les femelles, mais seulement à la classe d'âge supérieure (3-4 mois) pour les mâles qui ne sont pas capturés plus jeunes par les chaluts, probablement en raison de leur petite taille. Les évolutions mensuelles des effectifs dans la mer aux âges de recrutement sont présentées à la figure 117.

Les périodes de recrutement sont bien marquées, avec un pic autour du mois d'avril. Les résultats des analyses de cohortes donnent, comme en zone A, des effectifs dans le milieu différents entre les sexes pour les jeunes crevettes, ce qui pose théoriquement des problèmes. Les croissances utilisées, très différentes entre les sexes, peuvent en être en bonne partie la cause.

Les plus fortes biomasses de femelles et de mâles (non représentées graphiquement ici) seraient estimées en fin de premier semestre. Les plus faibles estimations des biomasses correspondent toujours au mois de décembre.

Mortalités par pêche

L'évolution des coefficients de mortalité par pêche est présentée à la figure 118 pour les femelles, qui représentent l'essentiel de la pêche. Il existe un pic de mortalité à l'ouverture de la saison de pêche. Après une baisse plus ou moins importante, les valeurs remontent ensuite à la fin du premier semestre ou au début du second suivant les années, quand les biomasses en mer sont les plus importantes. Des valeurs souvent élevées des coefficients sont estimées à la fin de la saison de pêche, lorsque les navires recherchent activement l'espèce alors que sa biomasse est à un faible niveau. Les évolutions pour les mâles (non représentées) sont assez similaires à celles des femelles, avec cependant des valeurs nettement plus faibles des coefficients de mortalité par pêche.

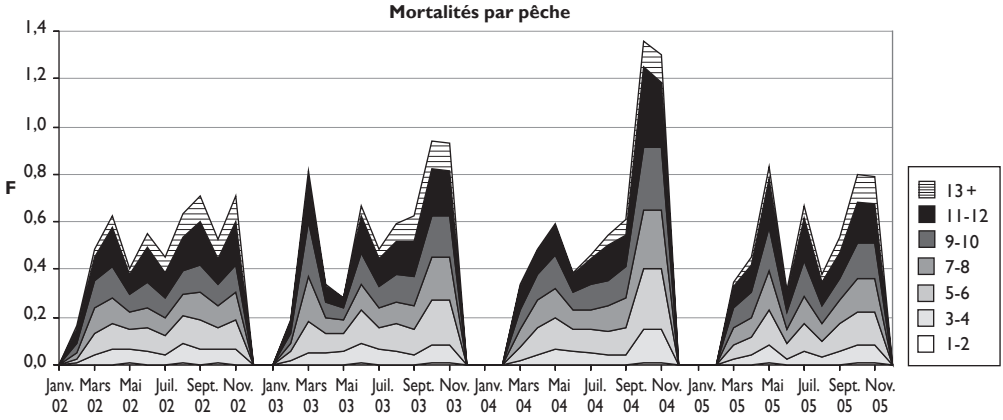


Fig. 118
Évolutions des coefficients mensuels de mortalité par pêche (F) par classe d'âge des M. monoceros *femelles en zone C.*

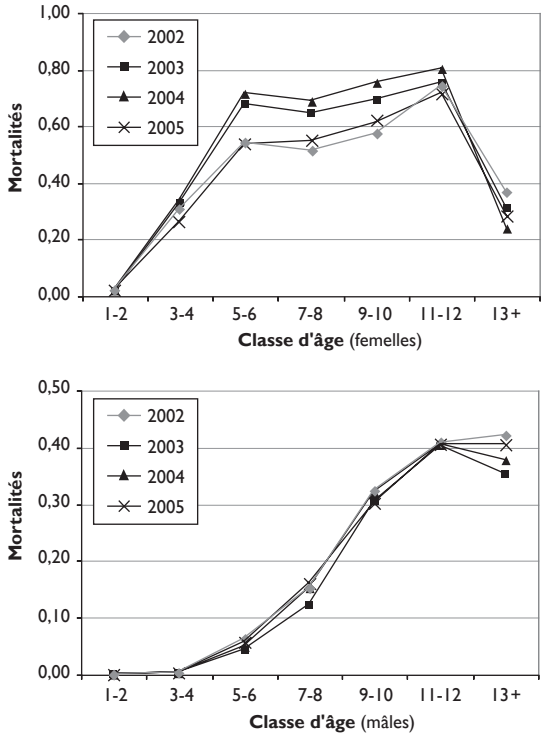


Fig. 119
Mortalités par pêche (moyennes mensuelles de l'année) par classe d'âge (diagramme d'exploitation) de 2002 à 2005, femelles puis mâles en zone C.

Sur la figure 119 sont représentées les mortalités par pêche F mensuelles moyennes par classe d'âge pour les quatre années étudiées. Les valeurs augmentent rapidement de la classe 1-2 à la classe 5-6 chez les femelles, puis plus lentement jusqu'à la classe 11-12 (les mortalités pour l'âge 13+ représentent les valeurs fixées par mois pour l'initialisation des analyses de cohortes). L'augmentation des mortalités avec l'avancement en âge des classes exploitées est rapide chez les mâles, qui présentent cependant des valeurs plus faibles que les femelles.

La représentation d'ensemble des mortalités par pêche des femelles est le plus souvent bien supérieure au coefficient de mortalité naturelle retenu (0,2).

Modèle de Thompson et Bell

Productions pondérales par sexe et rendements par recrue

La figure 120 présente les courbes de production et de rendement par recrue des femelles et des mâles de *M. monoceros* en zone C pour les années 2002 à 2005. Les niveaux des courbes de production sont un peu différents entre le début et la fin de la période, reflétant les niveaux de capture qui ont diminué avec la réduction de la pêche de nuit, et les allures des courbes sont similaires. Les femelles seraient assez surexploitées, les mâles quelque peu sous-exploités en termes de production, leur taille ne permettant que la capture d'individus assez âgés. Les courbes de rendement par recrue des différentes années sont pratiquement superposées.

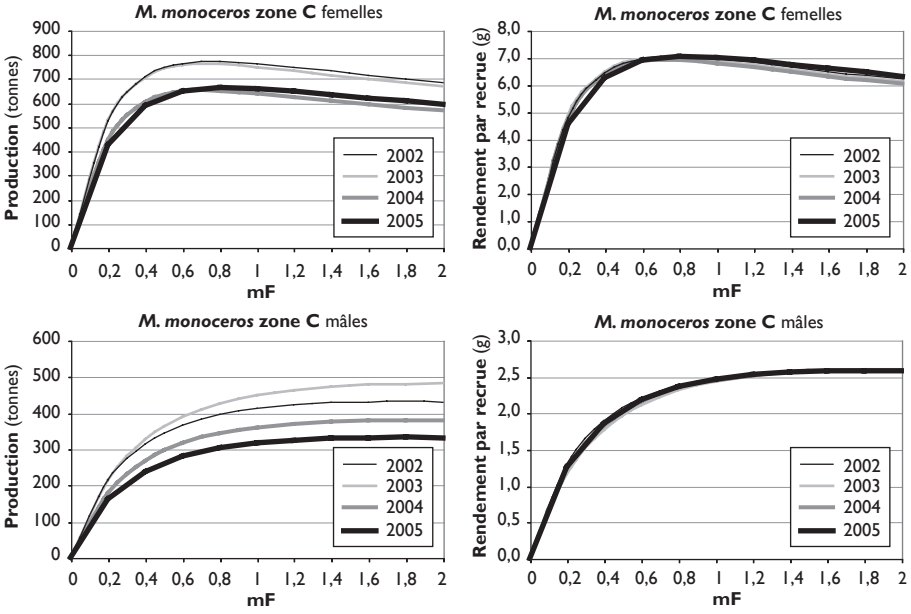


Fig. 120

Production et rendement par recrue pour les femelles et les mâles en zone C, modèle de Thompson et Bell. La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

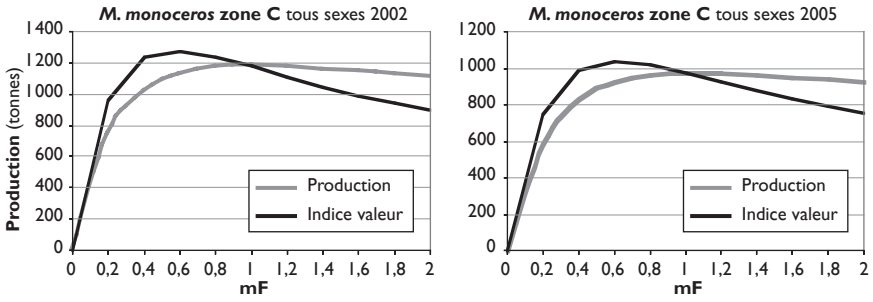


Fig. 121
Production pondérale et indice de valeur en zone C en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche pour l'ensemble des deux sexes, années 2002 et 2005.
La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

Productions pondérales et monétaires tous sexes

Les productions en volume et en indice de valeur, en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche, pour l'ensemble des deux sexes, années 2002 et 2005 prises comme exemple, sont représentées sur la figure 121. Les productions pondérales seraient à leur maximum. Les simulations indiquent, si le modèle est bien paramétré, qu'une réduction de 40 % de l'effort de pêche maintiendrait pour le moins les productions monétaires qui seraient alors obtenues pour des coûts moindres.

Zone d'aménagement D

Captures et effectifs par sexe, poids moyens individuels

Les captures pondérales annuelles par sexe et leurs totaux pour l'ensemble des deux sexes figurent au tableau 34, et sont issus de la méthodologie de décomposition des captures appliquée. Comme pour l'espèce *F. indicus*, les captures en 2003 et 2004 sont particulièrement faibles.

Chaque année, les captures pondérales en femelles dominent nettement celles des mâles, la même tendance est observée sur le plan des effectifs (fig. 122). Les plus fortes captures ont lieu en mars-avril. Les poids moyens individuels augmentent quelque peu dans la période 2001-2004. Les valeurs annuelles vont de 12,5 à 15,3 g pour les femelles et de 7,8 à 9,2 g pour les mâles.

Tableau 34
Poids des captures par sexe et totaux de M. monoceros *en zone D, années 1999-2004.*

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Mâles	75	87	102	69	36	29
Femelles	155	220	227	208	108	103
Total M + F	230	307	329	277	144	132

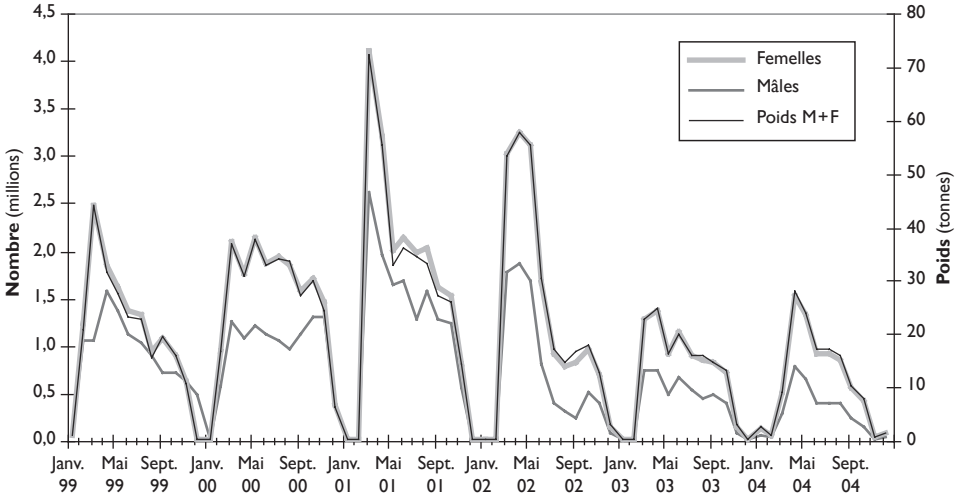


Fig. 122
Captures en nombre par sexe et en poids (tous sexes) de Metapenaeus monoceros *en zone D.*

Recrutements et biomasses

Les recrutements dans la pêcherie commencent à la classe d'âge 1-2 mois pour les femelles, mais seulement à la classe d'âge supérieure (3-4 mois) pour les mâles qui ne sont pas capturés plus jeunes par les chaluts, probablement en raison de leur petite taille. Les évolutions mensuelles des effectifs dans la mer aux âges de recrutement sont présentées à la figure 123.

Les périodes de recrutement sont assez bien marquées, surtout pour les femelles, avec un pic autour du mois de janvier et les valeurs les plus basses en août.

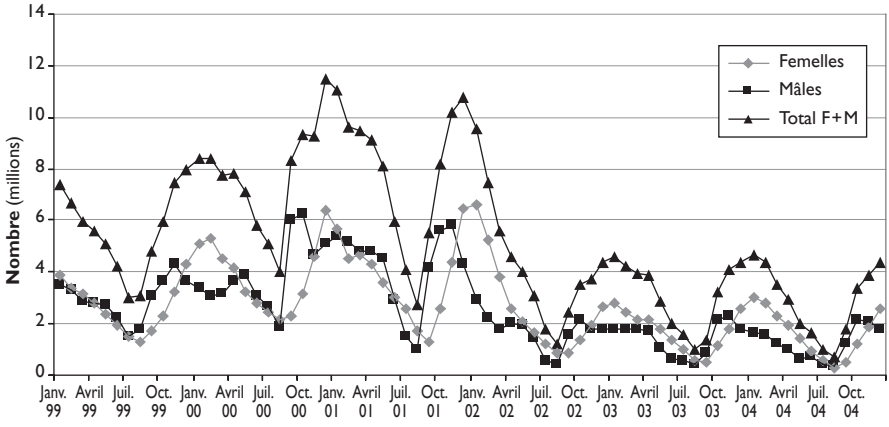


Fig. 123
Évolutions mensuelles par sexe (classe d'âge 1-2) et tous sexes des recrutements de M. monoceros *dans la pêcherie en zone D.*

Les plus fortes biomasses de femelles et de mâles (non représentées graphiquement ici) surviendraient en mars-avril. Les plus faibles estimations des biomasses correspondent au mois de novembre pour les femelles, la période est plus variable pour les mâles : entre août et décembre.

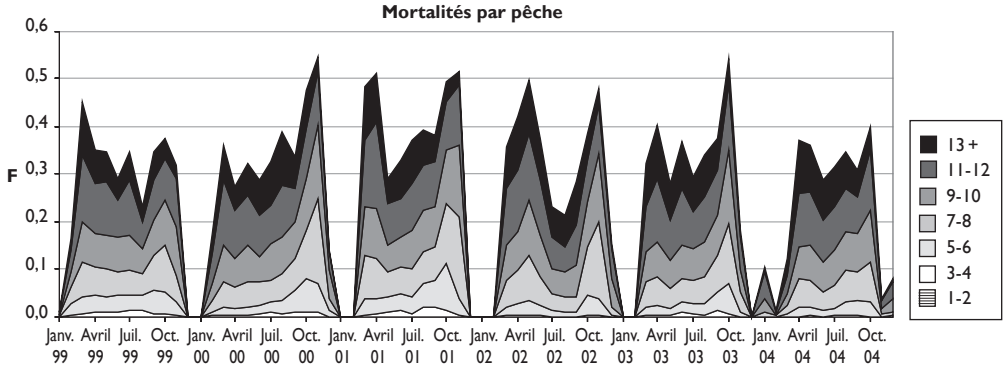


Fig. 124
Évolutions des coefficients mensuels de mortalité par pêche (F) par classe d'âge des M. monoceros *femelles en zone D.*

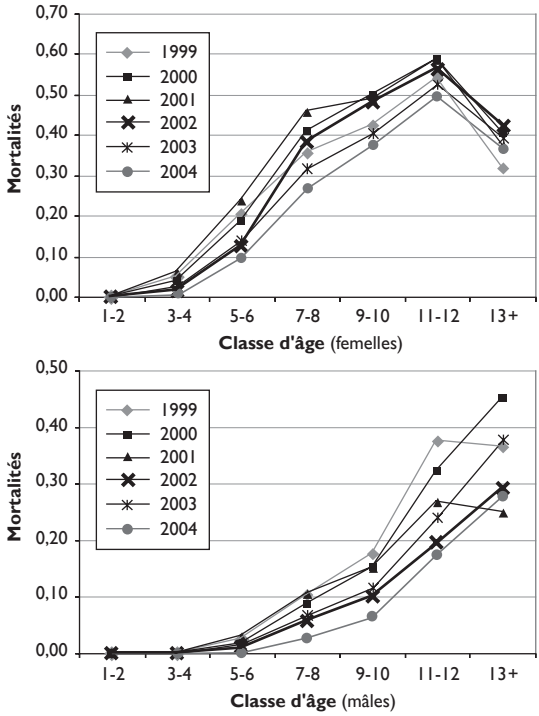


Fig. 125
Mortalités par pêche (moyennes mensuelles de l'année) par classe d'âge (diagramme d'exploitation) de 1999 à 2004, femelles puis mâles en zone D.

Mortalités par pêche

L'évolution des coefficients de mortalité par pêche est présentée à la figure 124 pour les femelles qui représentent l'essentiel de la pêche. Il existe un pic de mortalité plus ou moins important à l'ouverture de la saison de pêche. Des valeurs relativement fortes des coefficients sont estimées à la fin de la saison de pêche, lorsque les navires recherchent activement l'espèce alors que sa biomasse est à un faible niveau. Les évolutions pour les mâles (non représentées) sont assez similaires à celles des femelles, avec cependant des valeurs d'ensemble nettement plus faibles des coefficients de mortalité F, la pêche portant essentiellement sur des individus âgés.

Sur la figure 125 sont représentées les mortalités par pêche F mensuelles moyennes par classe d'âge pour les six années étudiées. Les valeurs augmentent rapidement de la classe d'âge 1-2 à la classe 11-12 chez les femelles et les mâles (les mortalités pour l'âge 13+ représentent les valeurs fixées par mois pour l'initialisation des analyses de cohortes). Notons que les deux mauvaises années de capture, 2003 et 2004, ont des valeurs des coefficients de mortalité F proches de ceux des années précédentes, ce qui est un signe que l'abondance sur les fonds a été touchée.

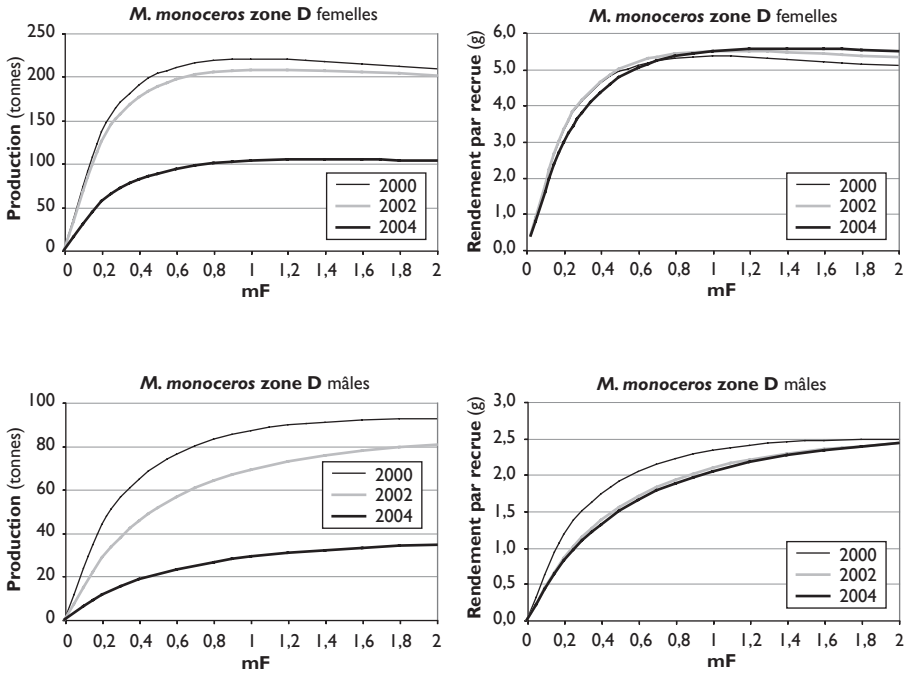


Fig. 126

Production et rendement par recrue pour les femelles et les mâles en zone D, modèle de Thompson et Bell. La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

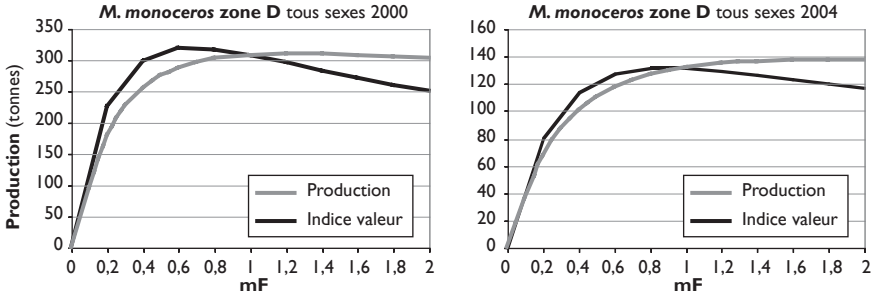


Fig. 127
Production pondérale et indice de valeur en zone D en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche pour l'ensemble des deux sexes, années 2000 et 2004. La valeur 1 de mF représente l'effort de pêche effectivement appliqué l'année donnée.

Modèle de Thompson et Bell

Productions pondérales par sexe et rendements par recrue

La figure 126 présente les courbes de production et de rendement par recrue des femelles et des mâles de *M. monoceros* en zone D pour les années 2000, 2002 et 2004 prises comme exemples. Les niveaux des courbes de production en 2004 sont très différents de ceux des années antérieures, reflétant les niveaux de capture qui ont fortement chuté, avec des allures de courbes similaires. Les femelles seraient assez surexploitées, les mâles quelque peu sous-exploités en termes de production, leur taille ne permettant que la capture d'individus assez âgés. Les courbes de rendement par recrue des différentes années sont pratiquement superposées.

Productions pondérales et monétaires tous sexes

Les productions en volume et en indice de valeur, en fonction du multiplicateur de l'effort de pêche, pour l'ensemble des deux sexes, années 2000 et 2004 prises comme exemple, sont représentées sur la figure 127. Les productions pondérales seraient à leur maximum en 2000 et proches de celui-ci en 2004. Les simulations indiquent, si le modèle est bien paramétré, qu'une réduction de 40 % de l'effort de pêche maintiendrait les productions monétaires, qui seraient alors obtenues pour des coûts moindres.

Discussion

Les captures de *M. monoceros* en zone A ont montré en 2004 et 2005 des baisses considérables par rapport aux années précédentes, alors que celles de l'espèce principale *F. indicus* n'ont chuté qu'en 2005-2006, en raison de l'augmentation de la pêche traditionnelle (qui pêche *F. indicus* à plus de 90 %) et de possibles modifications des conditions environnementales. Il semble donc

que la chute des captures de *M. monoceros* ait d'autres origines. L'arrêt de la pêche de nuit pendant le premier semestre à partir de 2004 a apparemment joué un rôle. Cependant, la diminution du niveau de l'effort de pêche sur l'espèce, que cet arrêt a entraîné, aurait dû réduire le niveau d'exploitation (ce qui ne se voit guère en comparant les deux courbes de production de la figure 115) et surtout ne pas conduire, ou de manière limitée, à une telle baisse des captures. Par exemple, une réduction de l'effort de pêche de 60 % aurait en principe généré des prises comprises ente 450 et 500 tonnes (production pour une valeur de mF de 0,4 sur la figure 115 pour l'année 2002) ; or moins de 200 t annuelles ont été capturées en 2004-2005. Une diminution de l'effort de pêche aurait dû aussi se traduire par une augmentation du poids individuel moyen de la crevette, ce qui n'a pas été observé en 2005. Tout se passe comme si les crevettes *monoceros* qui auraient pu être pêchées de nuit pendant les premiers semestres 2004 et 2005 avaient été définitivement perdues pour la pêche (mortalité naturelle plus élevée, croissance plus rapide, …).

D'autres facteurs pouvant diminuer les captures sont susceptibles d'être avancés. Le maillage des culs de chalut est passé de 50 à 60 mm en 2003, et comme la crevette *M. monoceros* est relativement petite, cela aurait pu favoriser son échappement à travers les mailles. Cependant, cela aurait dû là aussi s'accompagner d'une augmentation de la taille moyenne individuelle. D'autres modifications des engins de pêche ont eu lieu qui pourraient aussi, quoique de façon moins flagrante, avoir joué un rôle.

En zone D, une chute des captures de *M. monoceros* a eu lieu en 2003 et s'est poursuivie en 2004. Le chute de 2003 proviendrait probablement de conditions environnementales (Voisin et Sandon, chapitre 4) reliées à une abondante pluviométrie, agissant sur le recrutement ou/et sur la capturabilité des crevettes. En raison de la croissance assez lente de cette espèce de crevette tropicale, un choc sur le recrutement pourrait avoir des effets sur plus d'une année. Cependant, on a observé une augmentation du poids moyen individuel des crevettes entre 2001 et 2004, ce qui pourrait noter une modification de la stratégie de pêche : recherche des grosses crevettes de forte valeur marchande dans les zones où elles sont abondantes, mais d'abondance moindre que celle des zones où dominent des individus plus petits. Cela pourrait expliquer en partie la chute des captures, mais cette modification de la structure des prises pourrait être aussi une conséquence de la diminution générale de l'abondance.

Nous avons noté des différences considérables, en zone A et C, entre les mâles et les femelles dans la force et la période du recrutement, qui théoriquement devraient être minimes. Cela proviendrait probablement des équations de croissance, particulièrement de celle employée pour les mâles. En effet, cette dernière a été estimée pour l'ensemble de la côte ouest, alors que l'on sait que la croissance est différente entre les zones (Rafalimanana et Caverivière, chapitre 3), à partir du faible nombre de données de marquage-recapture provenant des trois zones de cette côte.

Les analyses effectuées sont donc soumises à de nombreuses incertitudes, celles inhérentes à tout modèle analytique de production concernant en particulier les facteurs de mortalité naturelle et les paramètres de la croissance, aggravées par la courte durée de vie d'espèces dont les populations se renouvellent rapidement, avec de plus des périodes de fermeture de pêche qui entraînent des variations très brutales des captures. Malgré cela, des éléments indiqués ci-dessous permettent de croire à une certaine fiabilité des résultats.

Des études antérieures ont été réalisées en dynamique analytique pour l'ensemble des *M. monoceros* de la côte ouest par MOGUEDET *et al.* (2000) à partir de paramètres d'équations de croissance obtenus au Mozambique par COSS *et al.* (1993), qui ne disent rien des conditions d'obtention et de traitement des données. Le coefficient de mortalité naturelle (0,18) est du même ordre que celui utilisé dans notre étude, mais les croissances mâles et femelles sont nettement plus rapides. Néanmoins, leurs résultats (données de captures de 1998) sont proches des nôtres en zone A et C (en particulier pour 2002 où les conditions d'exploitation, efforts et méthode de pêche sont similaires à celles de 1998) en ce qui concerne les niveaux d'exploitation différents des mâles et des femelles, avec une légère sous-exploitation de l'ensemble. Une autre étude menée par SANDON *et al.* (2005) pour la côte est, avec les mêmes paramètres de croissance que COSS *et al.,* donne aussi pour l'année 2003 des résultats similaires à ceux que nous avons obtenus avec des croissances plus lentes et des coefficients de mortalité naturelle pour chaque sexe (M = 0,2) identiques.

La structure des données des captures des mâles et femelles par classe de taille et la croissance différentielle des mâles et des femelles conditionnent ainsi en grande partie les résultats bien que les paramètres des équations de croissance soient différents.

En conclusion des études de dynamique analytique rapportées dans ce chapitre, il ressort donc que les stocks de *M. monoceros* des trois zones d'aménagement étudiées sont à un niveau de pleine exploitation en ce qui concerne les captures pondérales. Les valeurs monétaires à la vente (prix FOB) seraient soit un peu augmentées (zone A et C), soit similaires avec des réductions de l'effort de pêche, c'est-à-dire avec une réduction des coûts. Ces études ont été menées pour les zone A et C à partir d'équations de croissance récentes (Rafalimanana et Caverivière, chapitre 3), dont les paramètres ont été obtenus à partir de crevettes marquées dont la croissance entre la date du marquage et la date de recapture s'est essentiellement déroulée en saison froide, période de faible augmentation de taille/poids. Il est possible que la prise en compte partielle de la croissance de saison chaude puisse modifier les résultats dans le sens probable de niveaux d'exploitation un peu plus faibles.

Les captures accessoires des crevettiers industriels et artisanaux

Fanomezantsoa Randriarilala,
Théophile Rafalimanana,
Alain Caverivière

© A. de Rodellec/PNRC

Introduction

Les engins de pêche (chalut) des crevettiers sont peu sélectifs. Les captures accessoires ou *bycatches* sont les espèces capturées autres que l'espèce cible (crevettes). Elles peuvent être rejetées en mer ou gardées à bord (Alverson *et al.,* 1994). L'un des problèmes de base de l'exploitation crevettière est celui des captures accessoires. Elles représentent un tonnage important, de faible valeur marchande, constitué souvent de poissons juvéniles (Rafalimanana, 2005 a).

À Madagascar, les dernières études sur l'estimation des *bycatches* des chalutiers crevettiers industriels datent de 1989 et estiment les rejets entre 18 000 et 20 000 tonnes de poissons (Roullot, 1989). L'atelier d'aménagement de la pêche crevettière en juin 2003 avait recommandé d'actualiser les études sur les *bycatches* des chalutiers industriels et de revoir la réglementation sur le ratio de débarquement des poissons par rapport aux crevettes. Cela dans le but de mettre à la disposition de l'Administration malgache et du Groupement des aquaculteurs et pêcheurs de crevettes de Madagascar (GAPCM) des éléments quantitatifs et qualitatifs pour identifier les mesures de gestion permettant la réduction de rejets de *bycatches*, la durabilité des ressources et de l'environnement.

L'étude ci-dessous présente principalement les résultats obtenus à partir d'un important échantillonnage des *bycatches* de la pêche crevettière industrielle

dans les principales zones réalisé en 2005, ainsi que ceux plus ponctuels de la poursuite de l'étude de 2005 sur une partie de 2006 et d'une étude réalisée en 2003 sur la pêche crevettière artisanale.

En 2005-2006, les chaluts de la pêche industrielle étaient tous équipés de dispositifs d'échappement des tortues appelés TED (pour *Turtle Extruder Device*) et, la plupart, de dispositifs de réduction des captures accessoires appelés BRD (pour *Bycatch Reduction Device*). Ces deux dispositifs ont sans doute eu un effet sur le volume et la composition des captures accessoires, par rapport aux périodes antérieures où ils n'existaient pas.

Méthodologie

Lieux et périodes d'échantillonnage

Les données utilisées ont été obtenues par des observateurs embarqués à bord des navires de pêche opérant dans toutes les zones de pêche et pendant toute la saison. En principe, chaque observateur effectue une marée (en moyenne 30 jours). La période de pêche a été stratifiée par bimestre. Trois zones d'aménagement de la pêche crevettière ont été suivies pendant l'année 2005 : la zone B (partie nord-ouest de la côte ouest), la zone C (centre de la côte ouest) et la zone D (côte est). Durant l'année 2005, 4 213 traits de chalut ont été échantillonnés. Les nombres de traits et de jours d'observation sont présentés par zone et par bimestre sur le tableau 35.

Des données sont aussi disponibles pour le bimestre mai-juin 2006 des zones A (nord de la côte ouest), B et C, mais elles ne permettent que des calculs restreints car les quantités totales de crevettes capturées par les crevettiers dans cette zone ne sont pas encore disponibles.

Les *bycatches* de la pêche artisanale en 2003 concernent la partie nord de la zone C et les mois d'avril ou juillet, suivant les lieux très côtiers échantillonnés.

Tableau 35
Nombre de traits analysés et nombre de jours d'observation en 2005.

Bimestre	ZONE B		ZONE C		ZONE D	
	Nombre de traits	Jours d'observation	Nombre de traits	Jours d'observation	Nombre de traits	Jours d'observation
Mars-avril	265	53	330	59	360	59
Mai-juin	108	16	375	55	418	69
Juillet-août	270	39	697	63	459	74
Sept.-oct.	182	25	423	63	326	54
Total	**825**	**133**	**1 825**	**240**	**1 563**	**256**

Calcul des estimateurs

Ratio bycatch/*crevette*

La méthode du quotient est utilisée pour l'estimation des *bycatches*. Cette méthode calcule le ratio *bycatch*/crevette. Elle a été utilisée par plusieurs auteurs, dont YE (2002), pour estimer les ratios des *bycatches* de la pêche crevettière. Les *bycatches* et les crevettes capturées sont enregistrés pour chaque trait de chalut. Nous considérons que toutes les crevettes capturées sont gardées.

Le ratio R est calculé à partir des données des observateurs par zone et bimestre.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n} BC_i}{\sum_{i=1}^{n} Cr_i}$$

BC représente les captures accessoires ou *bycatches*, *Cr* représente les captures en crevettes.

Estimation des bycatches

L'ensemble des *bycatches* est calculé à partir des prises de crevettes totales par zone et bimestre.

$BC = R \times Cr$

Le *bycatch* est composé de deux ensembles : les poissons et les autres espèces d'accompagnement.

Estimations des poissons dans le bycatch *et de leur destination*

– Estimation des poissons capturés

$Pc = BC \times \% Pc$

avec $\% Pc$ = pourcentage des poissons capturés dans le *bycatch*

– Estimation des poissons gardés

$Pg = Pc \times \% Pg$

avec $\% Pg$ = pourcentage des poissons gardés dans les poissons capturés

– Estimation des poissons rejetés

$Pr = Pc \times \% Pr$

avec $\% Pr$ = pourcentage des poissons rejetés dans les poissons capturés

Estimations des autres espèces d'accompagnement dans le bycatch

$Ac = BC \times \% Ac$

avec $\% Ac$ = pourcentage des autres espèces d'accompagnement capturées dans le *bycatch*

Nous n'estimerons pas les quantités des autres espèces d'accompagnement gardées et rejetées car elles sont en principe rejetées en mer, sauf les langoustes et les calmars qui sont capturés occasionnellement en faibles quantités.

Tableau 36
Données des captures totales en crevettes (tonnes) de la pêche industrielle par zone et bimestre.

	Mars-Avr.	Mai-Juin	Juil.-Aout	Sept.-Oct.	Total
Zone A	187	176	124	60	547
Zone B	176	155	114	67	512
Zone C	1 548	1 217	878	679	4 322
Zone D	125	99	84	80	388
Total	**2 036**	**1 647**	**1 200**	**886**	**5 769**

Analyse des captures en poissons

Un échantillonnage de chaque espèce capturée a été effectué en notant leur nom scientifique, leur poids ainsi que leur nombre. Les espèces de poissons sont assez diversifiées, nous considérerons comme espèces représentatives les espèces représentant les 60 %, en poids cumulés, de la capture des poissons dans chaque zone.

Une répartition de la destination des poissons sera présentée par zone. Pour cela, nous classerons les poissons en quatre catégories :

– les espèces systématiquement rejetées (100 % rejetées) ;

– les espèces en majorité rejetées (50 % à 100 % rejetées) ;

– les espèces en majorité conservés (< 50 % de rejets) ;

– les espèces totalement conservées (100 % conservées).

Les données statistiques de base

Les données statistiques de base, concernant les captures totales en crevettes de la pêche industrielle par zone et bimestre, sont utilisées pour l'estimation des captures accessoires. Elles sont fournies par la base statistique nationale Banacrem 2005, alimentée par les armateurs membres du GAPCM (tabl. 36).

Résultats

Résultats pour la pêche industrielle

Les ratios bycatch/*crevette pour les différentes zones et bimestres*

Leurs évolutions sont présentées sur la figure 128.

Quelle que soit la zone de pêche, le ratio *bycatch*/crevette est faible pendant le début de la saison de pêche (mars-avril), du fait de la grande abondance en crevettes à cette période. Il ne cesse d'augmenter jusqu'à la fin de la saison, du fait de la diminution continue des abondances en crevettes. C'est en septembre-octobre qu'il y a le plus de différence par zone sur les ratios trouvés.

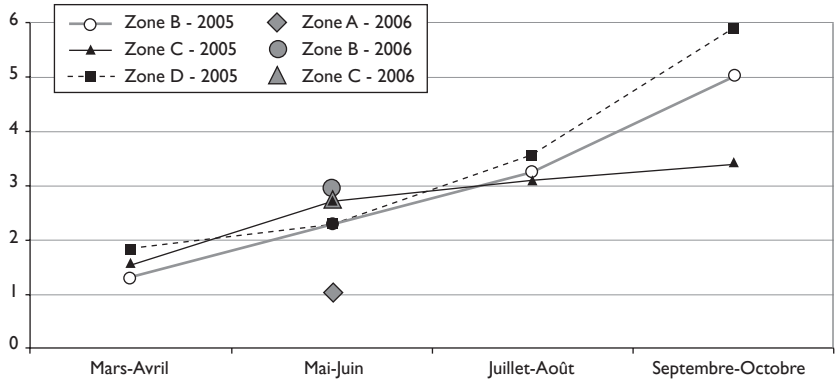


Fig. 128
Ratios bycatch/*crevette par zone, bimestre et année.*

Étude des bycatches *de la zone B*

Estimation des captures accessoires

Les résultats concernant les ratios, les estimations des captures accessoires et leurs répartitions sont donnés au tableau 37.

Les *bycatches* dans cette zone varient entre 56 % et 83 % de la capture totale, leur part ne cesse d'augmenter du début à la fin de la saison de pêche, effet dû totalement ou en grande partie à la diminution de l'abondance des crevettes, comme nous l'avons déjà dit. Le pourcentage des poissons dans l'ensemble du *bycatch* est élevé (88 % à 97 %). Le pourcentage des poissons rejetés est élevé en début de saison de pêche (90 % en mars-avril), l'essentiel de la capacité de cale étant conservée pour les crevettes du fait de leur abondance ; elle diminue par la suite, sauf au dernier bimestre où elle remonte quelque peu, ce qui paraît *a priori* peu compréhensible. Dans cette zone les deux tiers des poissons capturés (67 %) sont rejetés pendant toute l'année.

Composition des prises accessoires

La composition des *bycatches* est indiquée par groupe d'espèces et bimestre sur le tableau 38.

Les poissons sont dominants dans l'ensemble des *bycatches* de cette zone. La variation des pourcentages des poissons dans l'ensemble des *bycatches* est quasi stationnaire (88 à 97 %). Une prolifération du crabe (*Scylla serrata*) est constatée au bimestre mars-avril, il atteint alors 5 % des *bycatches*. Les oursins (*Echinotrix* sp.), eux, proliféraient en juillet-août dans cette zone. Les concombres de mer ou trépangs (notamment *Holothuria scarba*), ainsi que des calmars (en majorité des *Loligo* spp.), sont capturés en faibles quantités (0,1 à 1,1 %), avec une meilleure représentation en deuxième partie de période de pêche, et particulièrement en saison sèche et froide (juillet-août). Les langoustes (du genre *Panulirus*) ont été également observées en très faibles quantités.

Tableau 37
Estimation des bycatches *dans la zone B en 2005. Les ratios et moyennes pour l'année sont les moyennes des bimestres.*

	Mars-Avr.	Mai-Juin	Juil.-Août	Sept.-Oct.	Année
Ratios *bycatch*/crevette	1,29	2,23	3,21	5,01	**2,94**
Minimum	0,04	0,22	0,13	0,11	
Maximum	72,00	32,91	86,88	110,55	
Ratios poissons/crevette	1,21	2,18	2,83	4,67	**2,72**
Composition capture Crevette	43,6 %	30,9 %	23,8 %	16,7 %	**28,7** %
Bycatch	56,4 %	69,1 %	76,2 %	83,4 %	**71,3** %
Composition *bycatch* Poissons	93,7 %	97,4 %	88,1 %	93,3 %	**93,1** %
Autres espèces	6,4 %	2,7 %	11,9 %	6,7 %	**6,9** %
Répartition poissons Conservés	10,0 %	33,8 %	51,1 %	32,2 %	**31,8** %
Rejetés	90,0 %	66,2 %	48,9 %	67,8 %	**68,2** %
Quantités crevettes capturées (t)	176	155	114	67	**510**
Quantités *bycatch* estimées (t)	227	346	367	336	**1 300**
Quantités poissons estimées (t)	213	337	323	313	**1 200**
Conservés (t)	21	114	165	101	**400**
Rejetés (t)	192	223	158	212	**800**
Quantités autres estimées (t)	14	9	44	22	**100**

Tableau 38
Composition des différents groupes d'espèces des bycatches *(en pourcentage de poids) dans la zone B en 2005.*

Groupe	Mars-Avr.	Mai-Juin	Juil.-Août	Sept.-Oct.	Année
Poissons	93,7	97,4	88,1	93,3	**93,1**
Crabes	5,1	1,2	1,0	1,3	**2,1**
Calmars	0,1	0,2	1,1	0,6	**0,5**
Trépangs	0,1	0,2	1,1	0,6	**0,5**
Oursins	0,1	–	3,1	0,9	**1,0**
Langoustes	0,1	–	0,8	0,6	**0,4**
Coquillages	0,01	–	0,7	–	**0,2**
Cigales de mer	–	–	0,8	–	**0,2**
Étoiles de mer	–	–	1,4	0,7	**0,5**
Méduses	–	–	1,0	0,9	**0,5**
Autres	0,9	1,0	1,1	1,1	**1,0**

Composition des poissons capturés

Les captures sont assez diversifiées dans la zone B où 93 espèces ont été rencontrées, 9 d'entre elles représentent 60 % de la capture totale de poissons. C'est l'espèce *Leiognathus equulus* ou Sapsap commun qui prédomine en représentant 15 % de la capture totale en poissons (fig. 129). Quatre familles

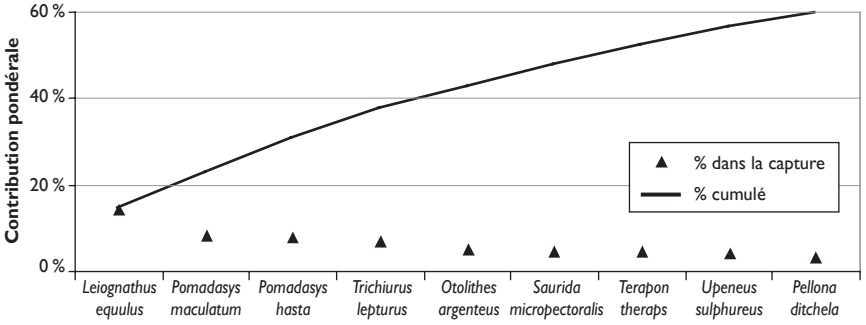


Fig. 129
Espèces représentatives des poissons dans la zone B en 2005.

prédominent dans cette zone : Leiognathidae avec comme espèce principale *Leiognathus equulus*, Haemulidae, avec comme espèces principales *Pomadasys maculatum* (Grondeur selle) et *Pomadasys hasta* (Grondeur javelot), Trichiuridae avec *Trichiurus lepturus* (Poisson-sabre commun) et Sciaenidae, avec comme espèce principale *Otolithes argenteus* (Troisdents).

Destination des poissons

Pendant toute l'année, 67 % de la quantité des poissons capturés sont rejetés dans la zone B. Seulement 0,43 % des espèces capturées sont totalement conservées (fig. 130), ce sont des espèces pêchées occasionnellement : *Pomadasys furcatus* (Goret à six bandes), *Saurida gracilis* (Anoli grêle), *Luijanus malabaricus* (Vivaneau malabar), *Siganus sutor* (Sigan cordonnier), et appréciées pour la qualité de leur chair ; la contribution de chacune de ces espèces dans la capture est très minime, voire même négligeable. Les espèces conservées en majorité (26,4 %) sont au nombre de 24, parmi lesquelles les espèces *Pomadasys hasta* (Grondeur javelot), *Otolithes argenteus* (Troisdents) et *Saurida micropectoralis* (Anoli) représentent chacune plus de 5 % de la capture totale en poissons. Ce sont des espèces de taille moyenne et les petites tailles sont rejetées.

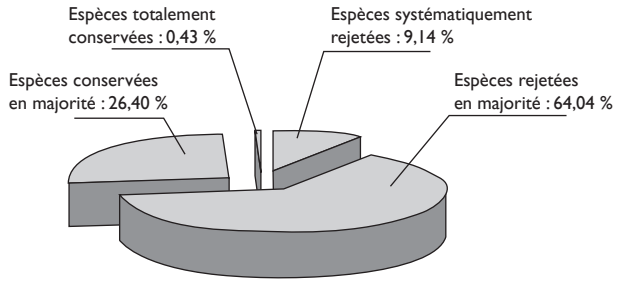


Fig. 130
Répartition de la destination des poissons dans la zone B en 2005.

Étude des bycatches de la zone C

Estimation des captures accessoires

Les résultats concernant le ratio, les estimations des captures accessoires et leur répartition sont donnés au tableau 39.

Les *bycatches* dans cette zone varient de 61 % à 77 % de la capture totale, leur contribution dans la capture est quasi stationnaire à partir du mois de mai jusqu'au mois d'octobre (74 % à 77 %). Le pourcentage des poissons dans l'ensemble du *bycatch* monte du deuxième bimestre jusqu'au cinquième pour atteindre alors 90 %. À l'inverse, pendant la même période, le pourcentage des autres espèces d'accompagnement passe de 36 % à 10 % du *bycatch* total. Plus de la moitié des poissons capturés sont rejetés pendant toute l'année dans cette zone (53 % à 82 %), avec une diminution du deuxième au quatrième bimestre et une augmentation au cinquième par rapport au précédent, ici la valeur la plus élevée de l'année. Cette augmentation de la part des rejets en poissons au quatrième bimestre a déjà été observée pour la zone B et avait été qualifiée de peu compréhensible. L'observation de cette hausse pour les deux zones, avec une différence encore plus nette en zone C, indique qu'il s'agit d'un phénomène important ; d'après un armateur, les poissons de petites tailles et rejetés seraient alors plus nombreux.

Composition des prises accessoires

La composition des *bycatches* est indiquée par groupe d'espèces et bimestre au tableau 40.

Les poissons sont dominants dans l'ensemble des *bycatches* de cette zone (64 % à 90 %). Les autres espèces d'accompagnement sont abondantes dans cette zone, mais leurs maxima varient suivant la saison. En l'occurrence, les méduses sont fréquentes en mars-avril (21 % du *bycatch* total) et encore abondantes en mai-juin, les oursins *Echinotrix diadema* sont fréquents au mois de juin et *Astropiga radiata* au mois d'août. Il faut noter que, lorsque la présence d'*Echinotrix diadema* est importante dans les culs de chalut, cela a une conséquence négative sur la qualité des crevettes, car les aiguilles entrent dans la chair des crevettes et y restent souvent après cassure. Les concombres de mer ou trépangs (notamment *Holothuria scarba*), ainsi que des calmars (en majorité des *Loligo* spp) sont capturés en faibles quantités. Les langoustes (du genre *Panulirus*) ont été également observées et sont assez abondantes au bimestre mai-juin. Les crabes (*Scylla serrata* et *Portunus pelagicus*) sont capturés en faibles quantités au début de la période de pêche, puis augmentent quelque peu avant de retrouver le niveau qu'ils avaient en début de saison de pêche.

Composition des poissons capturés

Les captures de poissons sont bien diversifiées en zone C où 137 espèces ont été rencontrées, dont 10 d'entre elles représentent 60 % de la capture totale en poissons. C'est l'espèce *Otolithes argenteus* (Troisdents) qui est la plus importante et représente 11 % (fig. 131) de la capture totale en poissons. Cinq familles prédominent dans cette zone : Sciaenidae avec comme espèces prin-

Tableau 39
Estimation des bycatches *dans la zone C en 2005. Les ratios et moyennes pour l'année sont les moyennes des bimestres.*

		Mars-Avr.	Mai-Juin	Juil.-Août	Sept.-Oct.	Année
Ratios *bycatch*/crevette		1,58	2,79	3,09	3,44	**2,73**
	Minimum	0,03	0,23	0,11	0,25	
	Maximum	103,1	40,2	67,7	28,0	
Ratios poissons/crevette		0,91	2,05	2,52	3,09	**2,14**
Composition capture	Crevette	38,7 %	26,4 %	24,4 %	22,5 %	**28,0 %**
	Bycatch	61,3 %	73,6 %	75,6 %	77,5 %	**72,0 %**
Composition *bycatch*	Poissons	64,4 %	73,5 %	81,4 %	90,0 %	**77,3 %**
	Autres espèces	35,6 %	26,5 %	18,6 %	10,0 %	**22,7 %**
Répartition poissons	Conservés	32,2 %	34,0 %	47,5 %	17,8 %	**32,9 %**
	Rejetés	67,8 %	66,0 %	52,6 %	82,2 %	**67,1 %**
Quantités crevettes capturées (t)		1 548	1 216	877	679	**4 320**
Quantités *bycatch* estimées (t)		2 446	3 394	2 716	2 332	**11 000**
Quantités poissons estimées (t)		1 576	2 494	2 211	2 100	**9 000**
	Conservés (t)	506	849	1 049	373	**3 000**
	Rejetés (t)	1 069	1 645	1 162	1 726	**6 000**
Quantités autres estimées (t)		870	900	504	232	**2 000**

Tableau 40
Composition des différents groupes d'espèces des bycatches *(en pourcentage de poids) dans la zone C en 2005.*

Groupe	Mars-Avr.	Mai-Juin	Juil.-Août	Sept.-Oct.	Année
Poissons	64,4	73,5	81,4	90,0	**77,3**
Calmars	1,6	2,1	1,0	0,9	**1,4**
Cigales de mer	1,7	2,0	0,9	0,9	**1,4**
Coquillages	1,5	4,0	0,9	0,9	**1,8**
Crabes	1,8	3,4	3,3	1,8	**2,6**
Étoiles de mer	–	–	0,9	0,9	**0,4**
Langoustes	1,5	3,6	0,9	–	**1,5**
Méduses	20,9	6,3	1,1	1,4	**7,4**
Oursins	2,5	4,8	7,3	1,3	**4,0**
Trépangs	2,2	0,3	1,1	1,1	**1,2**
Autres	1,8	–	1,3	0,9	**1,0**

cipales *Otolithes argenteus* et *Johnius dussumieri* (Courbine barbiche), Mullidae avec *Upeneus sulphureus* (Rouget-souris aurore), Leiognathidae représentée principalement par *Leiognathus equulus* (Sapsap commun), Synodontidae avec principalement *Saurida micropectoralis* (Anoli) et Teraponidae où l'espèce *Pelates quadrilineatus* (Violon crépuscule) domine.

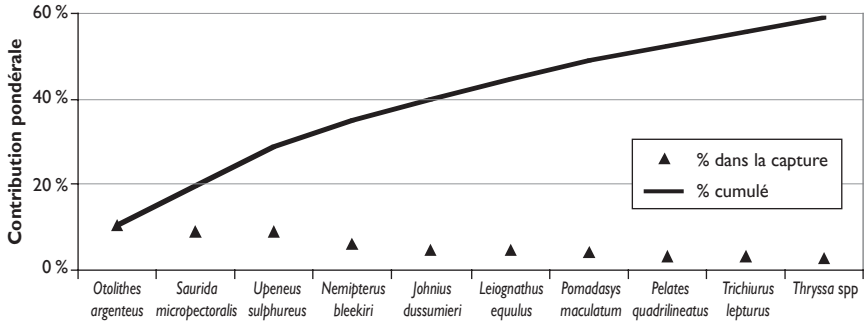


Fig. 131
Espèces représentatives des poissons dans la zone C en 2005.

Destination des poissons

Pendant toute l'année, 67 % de la quantité des poissons capturés sont rejetés dans la zone C. Les quatre espèces totalement conservées ne présentent que 0,09 % des poissons capturés (fig. 132), ce sont des espèces capturés occasionnellement et en très faibles quantités : *Cephalopholis aurantia, Lutjanus malabaricus* (Vivaneau malabar), *Plectorhinchus gaterinus* (Diagramme) et *Saurida gracilis* (Anoli grêle). Leur contribution dans la capture est inférieure à 0,05 %. Les espèces conservées en majorité (27,2 %) comprennent 24 espèces parmi lesquelles les espèces *Otolithes argenteus* (Troisdents) et *Nemipterus bleekiri* (Cohana delagea) représentent chacune plus de 5 % de la capture totale. Ce sont des espèces de taille moyenne et les petites tailles sont rejetées.

Étude des bycatches de la zone D

Estimation des captures accessoires

Les résultats concernant les ratios, les estimations des captures accessoires et leur répartition sont donnés au tableau 41.

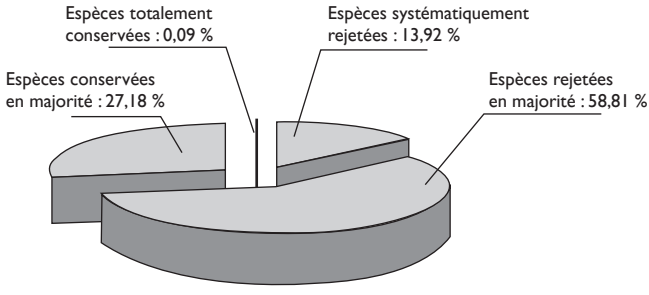


Fig. 132
Répartition de la destination des poissons dans la zone C en 2005.

Tableau 41
Estimation des bycatches *dans la zone D en 2005. Les ratios et moyennes pour l'année sont les moyennes des bimestres.*

	Mars-Avr.	Mai-Juin	Juil.-Août	Sept.-Oct.	Année
Ratios *bycatch*/crevette	1,8	2,3	3,5	5,9	**3,4**
Minimum	0,05	0,1	0,4	0,1	
Maximum	29,5	35,4	85,7	97,5	
Ratios poissons/crevette	1,7	2,2	3,5	5,8	**3,3**
Composition capture Crevette	35,6 %	30,5 %	22,0 %	14,5 %	**25,6 %**
Bycatch	64,4 %	69,5 %	78,0 %	85,5 %	
Composition *bycatch* Poissons	94,5 %	97,7 %	98,0 %	98,3 %	**97,1 %**
Autres espèces	5,5 %	2,3 %	2,0 %	1,7 %	**2,9 %**
Répartition poissons Conservés	80,0 %	76,1 %	81,8 %	81,3 %	**79,8 %**
Rejetés	20,0 %	23,9 %	18,2 %	18,7 %	**20,2 %**
Quantités crevettes capturées (t)	124	99	84	80	**390**
Quantités *bycatch* estimées (t)	226	227	297	473	**1 300**
Quantités poissons estimées (t)	214	221	292	465	**1 300**
Conservés (t)	171	168	238	378	**1 100**
Rejetés (t)	43	53	53	87	**200**
Quantités autres estimées (t)	12	5	6	8	**30**

Les *bycatches* dans cette zone varient de 64 à 85 % des captures totales, leurs pourcentages ne cessent d'augmenter du début jusqu'à la fin de la campagne crevettière. La part des poissons dans l'ensemble du *bycatch* est très élevée, toujours supérieure à 94,5 %. Le pourcentage des poissons rejetés est bien moindre qu'en zone B et C, il ne dépasse pas dans un bimestre les 24 % des poissons capturés, pour une moyenne annuelle de 20 %. La contribution dans la capture des autres espèces d'accompagnement est faible dans cette zone, elle ne cesse de diminuer de mars à octobre de 5,5 à 1,7 %.

Composition des prises accessoires

La composition des *bycatches* est indiquée par groupe d'espèces et bimestre au tableau 42.

Comme déjà indiqué, les poissons sont très importants dans l'ensemble des *bycatches* de cette zone (95 à 98 %), avec une petite augmentation des pourcentages entre le début et la fin de la campagne de pêche crevettière. Les pourcentages des autres espèces accessoires dans cette zone sont à contrario très faibles. Quinze tortues vertes (*Chelonia mydas)* ont été capturées dans cette zone, dont 5 en mars, 5 en mai, 2 en juin, 1 en juillet et 2 en octobre, ceci est dû à l'absence de système d'exclusion des tortues (TED) au niveau des chaluts des navires opérant dans cette zone. Ces tortues ont été toutes relâchées vivantes en mer. Parmi les captures accessoires autres que les poissons, l'en-

Tableau 42
Composition des différents groupes d'espèces des bycatches *(en pourcentage de poids) dans la zone D en 2005.*

Groupe	Mars-Avr.	Mai-Juin	Juil.-Août	Sept.-Oct.	Année
Poissons	94,5	97,7	98,0	98,3	**97,1**
Calmars	0,4	0,1	0,1	0,2	**0,2**
Cigales de mer	0,3	–	–	0,1	**0,1**
Coquillages	0,4	0,03	0,1	–	**0,1**
Crabes	0,9	0,8	0,9	0,8	**0,8**
Étoiles de mer	–	–	0,10	–	**0,0**
Langoustes	0,4	0,04	0,1	0,1	**0,2**
Méduses	1,3	0,2	0,2	0,1	**0,5**
Oursins	–	–	–	0,1	**0,0**
Tortues	1,1	1,1	0,2	0,2	**0,7**
Trépangs	0,3	0,02	0,1	–	**0,1**
Autres	0,4	0,1	0,1	–	**0,1**

semble des crabes (*Scylla serrata* en majorité et quelques *Portunus pelagicus*) représente le groupe le plus important en pourcentage du poids, près de 1 %, sans variation saisonnière. Les méduses sont relativement plus abondantes en mars-avril. Les oursins (*Echinotrix* sp.) ainsi que les trépangs (*Holothuria scarba* et *Holothuria atra*) sont rares dans cette zone. Les langoustes (du genre *Palinurellus*) ont été également observées, mais les captures sont faibles.

Composition des poissons capturés

Les captures sont plutôt diversifiées dans la zone D où 122 espèces ont été rencontrées, dont 6 d'entre elles représentent 60 % de la capture totale de poissons (fig. 133). La famille des Sciaenidae prédomine et comprend les deux premières espèces de poissons : *Johnius dussumieri* (Courbine barbiche) et *Otolithes argenteus* (Troisdents) ; avec les autres espèces de cette famille, elles représentent 32 % des captures de poissons. C'est typiquement dans cette zone que l'*Arius madagascariensis* (mâchoiron malgache) apparaît comme une des espèces principales dans les captures.

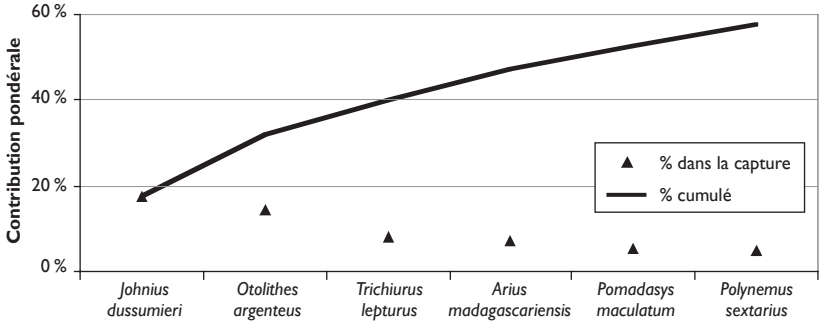


Fig. 133
Espèces représentatives des poissons dans la zone D en 2005.

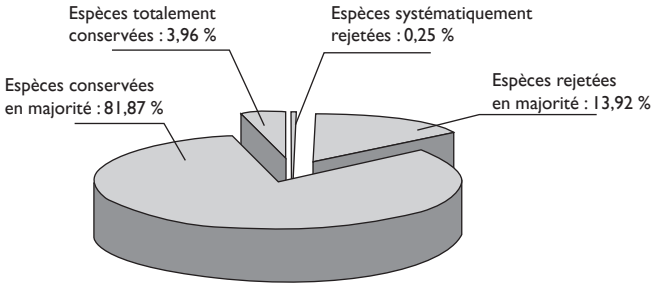


Fig. 134
Répartition de la destination des poissons dans la zone D en 2005.

Destination des poissons

Comme déjà indiqué, 20 % seulement, en moyenne annuelle, de la quantité des poissons capturés sont rejetés dans la zone D. Les poissons capturés et totalement conservés représentent 4 % du *bycatch* poisson (fig. 134). Seulement 0,25 % du *bycatch* poisson est totalement rejeté, ce sont des espèces capturées occasionnellement car la contribution de chaque espèce dans la capture est inférieure à 0,05 % de la capture totale. Les 39 espèces conservées en majorité (82 %) forment l'essentiel du *bycatch*, elles comprennent *Arius madagascariensis* (Mâchoiron malgache), *Otolithes argenteus* (Troisdents) et *Johnius dussumieri* (Courbine barbiche) qui représentent chacune plus de 5 % de la capture totale de poissons. Ce sont des espèces de taille moyenne et les petites tailles sont rejetées.

Caractéristiques de tailles et de poids des espèces capturées

Les espèces que nous allons présenter ici sont des espèces fréquemment capturées dans les trois zones échantillonnées en 2005. Le tableau 43 présente leurs caractéristiques de taille et de poids pour leur ensemble dans les trois zones et pour les parties conservées et rejetées.

Parmi ces trois espèces, seul *Otolithes argenteus* est conservé en majorité dans toutes les zones. Les petites tailles sont rejetées, même quand l'espèce est conservée en majorité.

Tableau 43
Caractéristiques de taille (cm de longueur totale) et de poids (g) de trois espèces fréquemment capturées.

Espèces	Quantités conservées	Taille la plus fréquente	Taille maximale	Taille minimale	Conservées		Rejetées		Seuil taille conservation
					Poids moyen	Taille moyenne	Poids moyen	Taille moyenne	
Otolithes argenteus	85,17 %	18 à 21	46	5,5	108	21	50	16	7
Leiognathus equulus	30,61 %	11 à 16	26,5	4,5	42	14	27	12	6
Upeneus sulphureus	49,88 %	11 à 14,5	19	5,5	31	13	24	12	7

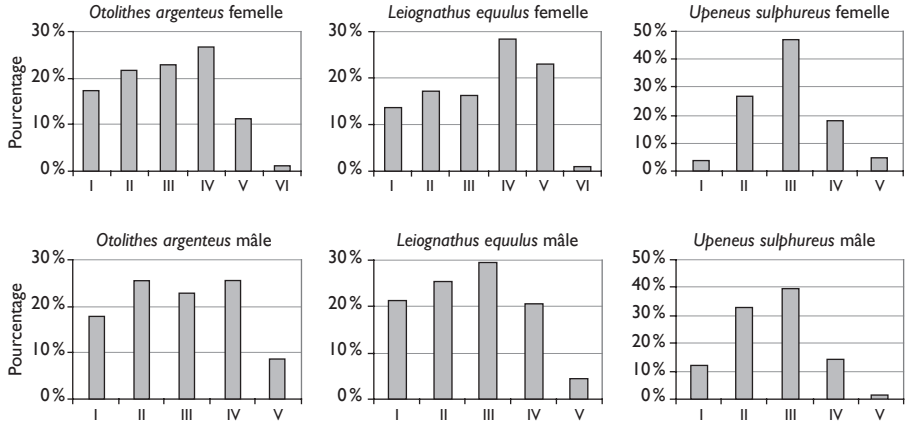


Fig. 135
Stades sexuels des mâles et des femelles des trois espèces échantillonnées.
Femelles : 500, 477 et 390 individus respectivement, mâles : 277, 373, 331 individus.

Stades de maturité des principales espèces de poissons du bycatch

Pour la détermination des sexes et stades de maturité des gonades, après dissection des échantillons nous avons utilisé une échelle classique dans laquelle les stades IV et V des mâles et des femelles correspondent à des individus qui sont sur le point d'émettre leurs produits sexuels (les œufs des femelles et la laitance des mâles sortent sous la pression des doigts sur la cavité abdominale) ou en sont très proches, ou même en état de post-ponte (stade VI des femelles). Sur la figure 135 sont représentés les pourcentages des différents stades sexuels pour trois espèces, il s'agit des deux premières et de la quatrième espèce les plus abondantes en poids dans les captures accessoires de poissons, toutes zones confondues. Ces espèces sont, dans l'ordre d'importance, *Otolithes argenteus* (Troisdents), conservée en majorité, *Leiognathus equulus* (Sapsap commun), *Upeneus sulphureus* (Rouget-souris aurore), ces deux dernières espèces étant rejetées en majorité. *Upeneus sulphureus* a été retenue à la place de la troisième espèce (*Trichiurus lepturus*, Poisson sabre), car cette dernière n'a pas été prise en compte dans le plan d'échantillonnage choisi, à l'issue des études préliminaires, pour la détermination des stades sexuels.

Les captures sur les trois espèces de poissons portent sur une proportion relativement importante d'individus qui ont pondu ou sont très proches de la ponte, il y aura donc beaucoup d'individus qui auront eu le temps de pondre avant d'être capturés. Cela est satisfaisant, en tout cas bien meilleur pour le potentiel de renouvellement des espèces, que si la pêche avait porté uniquement sur des individus immatures.

Comparaison des zones et résultats d'ensemble pour les poissons du bycatch

Comparaison des trois zones échantillonnées en 2005

Le tableau suivant présente les caractéristiques principales des différentes zones.

Tableau 44
Caractéristiques principales des différentes zones (surligné blanc : l'espèce commune aux trois zones ; en gras : espèces communes à deux zones). L'espèce surlignée de blanc fait partie des espèces dominantes dans les trois zones, les espèces en gras sont dominantes dans deux des trois zones.

Zones	B	C	D
Ratios *bycatch*/crevette	2,9	2,7	3,4
Ratios poisson/crevette	2,7	2,1	3,3
Pourcentages poisson dans le *bycatch*	93,1 %	77,3 %	97,1 %
Pourcentages poissons conservés	31,8 %	32,9 %	79,8 %
Autres espèces dominantes dans le *bycatch*		Méduses, oursins	
6 premières espèces de poissons dominantes dans la capture	***Leiognathus equulus*** ***Pomadasys maculatum*** *Pomadasys hasta* ***Trichiurus lepturus*** *Otholithes argenteus* ***Saurida micropectoralis***	*Otolithes argenteus* ***Saurida micropectoralis*** *Upeneus sulphureus* *Nemipterus bleekiri* ***Johnius dussumieri*** ***Leiognathus equulus***	***Johnius dussumieri*** *Otolithes argenteus* ***Trichiurus lepturus*** *A. madagascariensis* ***Pomadasys maculatum*** *Polynemus sextarius*

La côte est (zone D) est la zone où les ratios *bycatch*/crevette et poissons/crevette sont les plus élevés, car les crevettes y sont moins abondantes que dans les autres zones qui appartiennent, elles, à la côte ouest. La plus faible proportion de poissons est trouvée dans la zone C, à cause de la prolifération périodique d'autres espèces d'accompagnement : méduses importantes de mars-avril (20,9 % du *bycatch*) jusqu'en mai-juin (6,3 %) et oursins, dans une moindre mesure, de mai-juin (4,8 %) jusqu'en juillet-août (7,3 %). Le pourcentage des poissons conservés est pratiquement similaire pour les zones B et C (32 et 33 %), il est bien supérieur à ces valeurs pour la zone D (80 %).

La composition des six espèces de poissons dominantes entre les trois zones montre des concordances, ainsi *Otolithes argenteus* (Troisdents) fait partie de ces espèces dans les trois zones et plusieurs autres espèces font partie de la liste pour deux des trois zones. Il est à remarquer que trois des six espèces de la côte est sont aussi des espèces dominantes sur la côte ouest : *Johnius dussumieri* (Courbine barbiche), *Trichiurus lepturus* (Poisson-sabre), *Pomadasys maculatum* (Grondeur selle). Il y a cependant des espèces qui ne font partie que dans une zone de la liste des six premières espèces dominantes, en l'occurrence *Pomadasys hasta* (Grondeur javelot) en zone B, *Upeneus sulphureus* (Rouget-souris aurore) et *Nemipterus bleekiri* (Cohana delagoa) en zone C, *Arius madagascariensis* (Mâchoiron malgache) et *Polynemus sextarius* (Barbure tache noire) sur la côte est.

Comparaison avec les résultats préliminaires de 2006

En 2006, le suivi des *bycatches* n'a pu débuter qu'au mois de mai et concerne les zones A, B et C.

Pour le moment, nous ne disposons que des données traitées pour le bimestre mai-juin.

Les ratios *bycatch*/crevette ont déjà été représentés sur la figure 128, pour comparaison avec les résultats de 2006 pour la même période. Ils sont repris, avec d'autres éléments descriptifs utiles aux comparaisons dans le tableau 45.

Le ratio *bycatch*/crevette de 2006 est en augmentation par rapport à 2005 pour la zone B, passant de 2,2 à 2,9 ; ceci serait sans doute dû pour une grande partie à la diminution de l'abondance des crevettes sur les lieux de pêche des crevettiers industriels, l'augmentation de la capture de juvéniles par la pêche traditionnelle en estuaires ayant réduit l'abondance des adultes en mer. Pour la zone C, les ratios sont du même ordre pour les deux périodes (2,8). Pour la zone A, non étudiée en 2005, le ratio est beaucoup plus faible que ceux des autres zones, de l'ordre de l'unité, et ce qui est observé pour le bimestre mai-juin le serait sans doute pour les autres bimestres. Ceci proviendrait de ce que l'abondance en crevette par unité de surface est bien plus élevée en zone A que dans les autres zones de la côte ouest, de plus le chalutage intensif sur des surfaces réduites en zone A a pu réduire les abondances de poissons par une surpêche de ces derniers.

La proportion des poissons dans l'ensemble de la capture accessoire a diminué dans les deux zones B et C, passant respectivement de 97 à 71 % pour la zone B et de 74 à 63 % pour la zone C. Ceci est dû, au moins en partie, à une plus grande importance de certaines des autres espèces d'accompagnement en 2006 par rapport à 2005, pendant cette période de pêche. C'est le cas notamment des méduses dans la zone C qui représentent 8 % de la capture pendant cette période en 2006, contre 6 % en 2005 et des crabes dans la zone B qui représentent 3 % de la capture en 2006, contre 1% en 2005.

Tableau 45
Éléments descriptifs des échantillonnages effectués en mai-juin 2005 et 2006, utiles à la comparaison des différentes zones.

		Mai-Juin 2005			Mai-Juin 2006		
Zones		**B**	**C**	**D**	**A**	**B**	**C**
Composition capture	Crevette	31 %	26 %	31 %	48 %	25 %	26 %
	Bycatch	69 %	74 %	70 %	52 %	75 %	74 %
Ratio	*Bycatch*/crevette	2,2	2,8	2,3	1,0	2,9	2,8
	Poissons/crevette	2,2	2,1	2,2	0,9	2,8	2,3
% poissons conservés		33,8 %	34,7 %	79,8 %	55,3 %	29,8 %	41,4 %
Espèces dominantes en poids		*T. lepturus* *L. equulus* *L. ditchela* *P. maculatum* *G. punctatus* *U. sulphureus* *P. quadrilineatus* *P. hasta* *O. argenteus* *T. jarbua*	*N. bleekiri* *O. argenteus* *S. micropectora* *U. sulphureus* *P. maculatum* *L. equulus* *T. lepturus* *P. ditchela* *T. theraps* *G. minuta*	*J. dussumieri* *O. argenteus* *A. madagascariensis* *S. barracuda* *P. sextarius* *R. kanaguria* *T. lepturus* *G. minuta* *U. sulphureus* *P. erumei*	*S. micropectora* *P. quadrilineatus* *R. kanaguria* *G. punctatus* *P. erumei* *S. barracuda* *T. theraps* *U. sulphureus* *L. equulus* *C. melampigus*	*L. equulus* *P. maculatum* *O. argenteus* *T. lepturus* *U. sulphureus* *S. micropectora* *T. theraps* *P. hasta* *P. ditchela* *G. punctatus*	*O. argenteus* *T. lepturus* *A. madagascariensis* *J. dussumieri* *G. minuta* *S. micropectora* *S. albella* *P. ditchela* *P. erumei* *N. bleekiri*

Quelques espèces de captures accessoires de la pêche artisanale.

© A. de Rodellec/PNRC

Après le tri des crevettes et des poissons commercialisables sur un chalutier industriel, les captures non utilisables sont rejetées à la mer.

© A. de Rodellec/PNRC

Tableau 46
Estimations des quantités de bycatch *de la pêche crevettière pour les différentes zones et leur ensemble en 2005.*

	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D	Total
Bycatch total	460	1 300	11 000	1 300	**14 060**
Bycatch poisson	410	1 200	9 000	1 300	**11 910**
Poisson conservé	230	400	3 000	1 100	**4 730**
Poisson rejeté	190	800	6 000	200	**7 190**
autres *Bycatch*	50	100	2 000	30	**2 180**

La proportion des poissons conservés a diminué en zone B (34 à 30 %) entre 2005 et 2006, elle a augmenté dans la zone C (35 à 41 %).

Au niveau des espèces dominantes dans la capture, on ne trouve pas de grand changement entre les deux années, 7 espèces parmi les 10 les plus importantes sont prépondérantes en zone B pendant l'année 2005 et 2006, et 6 espèces le sont en zone C. Ces espèces peuvent être considérées comme des espèces indicatrices des fonds crevettiers.

***Résultats d'ensemble pour les poissons du* bycatch**

En regroupant les données relatives aux zones B, C, D en 2005 et en extrapolant à tous les bimestres 2005 les ratios et pourcentages concernant la zone A au bimestre mai-juin 2006, on obtient une estimation du *bycatch* total et poisson en 2005 (tabl. 46).

Le *bycatch* total poisson serait de 12 000 tonnes, dont moins de la moitié (38 %) serait conservée du fait des faibles pourcentages de poissons conservés en zone B et C (de 32 à 33 %), qui présentent de forts tonnages de crevettes et de captures accessoires. On est loin des 18 à 20 000 tonnes estimées par ROULLOT en 1989, la perte de captures accessoires en poisson provoquée par l'utilisation récente de TED et BRD ne suffisant vraisemblablement pas à compenser la différence.

Comparaison avec la pêche artisanale

La comparaison que nous présentons ici concerne un suivi plus ponctuel des captures accessoires de la pêche artisanale effectué en 2002-2003 (RODELLEC, 2003 b). Les captures de 39 traits, représentant 54 heures de chalutage, ont été étudiées dans trois baies appartenant à deux grandes zones : la zone B où se situe la baie de Narindra et la zone C (baie de Baly et d'Ampitsopitsoka). Les traits ont été réalisés en avril 2003 dans la première zone et en juillet 2002 dans la seconde, en des lieux très côtiers où la profondeur était très généralement inférieure à 5 m, donc le plus souvent en dehors de la zone de travail des chalutiers industriels.

Le tableau 47 résume les principales comparaisons qui peuvent être faites entre les résultats indiqués précédemment pour la pêche industrielle et ceux, moins précis du fait d'un nombre beaucoup plus réduit de traits de chalut étudiés, de la pêche artisanale en 2002-2003.

Tableau 47
Comparaison de la pêche industrielle avec la pêche artisanale.

	Pêche artisanale			Pêche industrielle	
	baie de Narindra	**baie de Baly**	**baie d'Ampitso-pitsoka**	**Zone B**	**Zone C**
Ratios	1,2	0,5	1,7	1,2	2,52
Le ratio « poissons/crevettes » est faible dans la pêche artisanale					
Part poissons dans la capture	34 à 63 %			67 %	62 %
5 premières espèces dominantes	*S. albella* *T. lepturus* *P. hasta* *L. equulus* *U. vittatus*	*H. draco* *J. dussumieri* *A. mossambica* *L. equulus* *T. vitrirostris*	*T. vitrirostris* *A. immaculatus* *S. undosquamis* *A. mossambica* *L. equulus*	*L. equulus* *P. maculatum* *S. micropectoralis* *T. lepturus* *P. hasta*	*U. sulphureus* *S. micropectoralis* *N. bleekiri* *O. argenteus* *P. maculatum*
Existence des espèces rencontrées dans les 2 types de pêche					
Espèces de poissons rencontrées uniquement dans la pêche artisanale	*Blennidae* sp. 1 *Blennidae* sp. 2 *Carcharhinus falciformis* *Paraplagusia bilineata*				

La pêche artisanale capture une part moindre de poissons par rapport aux crevettes dans la zone C que la pêche industrielle. Les espèces capturées par les deux types de pêche sont souvent les mêmes, avec des tailles généralement plus petites en pêche artisanale, où les captures de juvéniles sont plus importantes, les zones de faible profondeur servant de nurseries.

Conclusion

Les nombreuses observations réalisées en 2005-2006 à bord des chalutiers-crevettiers ont permis d'effectuer d'une part, l'estimation des captures accessoires (*bycatch*) ainsi que des rejets et, d'autre part, l'inventaire des espèces représentatives des poissons d'accompagnement par zones et périodes de pêche.

Deux facteurs principaux interviennent dans les variations des *bycatches* : la zone de pêche et la saison. Le ratio « *bycatch*/crevette » est compris entre 1 et 2 en tout début de saison de pêche, il est nettement plus élevé et variable selon les zones (pouvant atteindre une valeur proche de 6 sur la côte est) vers la fin de la campagne de pêche, du fait de la diminution d'abondance des crevettes. En 2005, ce ratio est de 2,9 – en moyenne annuelle – pour la zone d'aménagement B de la pêcherie (nord-ouest de la façade ouest de Madagascar), de 2,7

pour la zone C (partie centrale de la façade ouest) et de 3,4 pour les zones de pêche de la façade est (zone D). Il est de 1,0 (autant de captures accessoires que de poissons) en zone A (partie nord de la façade ouest) pour le deuxième bimestre de la saison de pêche (mai-juin) 2006, le seul disponible.

Les poissons dominent très largement dans les prises accessoires, avec des proportions variables selon les zones et supérieures à 77 % en 2005. Les espèces d'accompagnement, autres que les poissons, sont relativement abondantes dans les captures de la zone C, contrairement aux zones B et D, où ce groupe de captures accessoires est en moindre quantité.

La majorité des poissons capturés est rejetée en zone B et C (68 et 67 %). C'est largement l'inverse sur la côte est (zone D), avec 20 %, où la conservation des poissons est importante pour assurer la viabilité de l'industrie crevettière. En zone A, pour laquelle nous ne disposons que d'une estimation pour le bimestre mai-juin 2006, le pourcentage de poissons rejetés est de 45 %.

Une grande partie des poissons capturés est immature. Les individus de trop petite taille sont rejetés, même pour les espèces à haute valeur commerciale.

Les espèces dominantes dans la capture peuvent varier d'une saison à l'autre et d'une zone à l'autre, cependant il y a toujours des espèces dominantes dans la capture d'une zone quelle que soit la saison considérée, et ces espèces sont souvent les mêmes que celles dominant dans d'autres zones ; elles peuvent être considérées comme des espèces indicatrices des fonds à crevettes.

Une étude plus restreinte de la pêche artisanale indique qu'elle capture une plus grande part de crevettes et une proportion moindre de poissons que la pêche industrielle dans la zone C. Les espèces de poissons capturées par les deux types de pêche sont souvent les mêmes, avec des tailles généralement plus importantes en pêche industrielle. En effet, les captures de poissons juvéniles sont particulièrement élevées en pêche artisanale qui opère dans des zones de faible profondeur, qui sont des nurseries. L'ensemble des captures accessoires des crevettiers industriels à Madagascar a été évalué à 14 000 tonnes en 2005, dont 12 000 tonnes de poissons. Parmi ces poissons moins de la moitié (38 %) serait conservée, avec les plus faibles pourcentages en zones B et C (de 32 à 33 %), caractérisés par de forts tonnages de crevettes et de captures accessoires. Les importants rejets en poisson de la pêche crevettière sont un souci de longue date (cette question des rejets de poissons est récurrente dans tous les pays où se pratique la pêche crevettière au chalut) pour les autorités malgaches, dans un pays où l'alimentation de l'ensemble de la population pose problème. Des tentatives réglementaires de limiter les rejets en imposant que 3 kg de poissons soient débarqués pour 1 kg de crevettes se sont heurtées à des difficultés d'ordre technique et économique. En effet, les poissons sont petits sur les fonds de pêche à la crevette et souvent peu appréciés par rapport à d'autres espèces vivant sur d'autres fonds et le prix de vente que l'on peut en attendre est très faible par rapport à celui des crevettes. En début de saison de pêche, quand les crevettes sont abondantes sur la côte ouest, les cales des crevettiers en sont souvent remplies à la fin des marées.

On notera que sur la côte est où l'abondance en crevette est moindre, le poisson est nécessaire pour assurer une certaine rentabilité à l'exploitation industrielle et la part rejetée du poisson capturé y est, en conséquence, particulièrement faible (20 %). La proximité de marchés importants comme le port de Toamasina et la capitale Antananarivo est probablement un facteur favorable, ce qui n'empêche pas d'apprécier les efforts remarquables consentis par l'entreprise exploitant cette zone pour la commercialisation des captures accessoires.

Partie 3

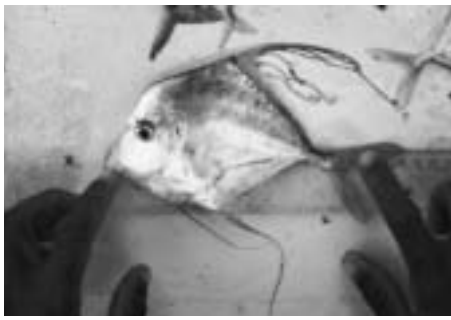
Gestion

Cette dernière partie introduit la dimension économique dans l'analyse et l'évaluation des pêcheries crevettières malgaches. Elle traite aussi des politiques publiques censées orienter et réguler l'activité de pêche. Les deux premières contributions (Chaboud) présentent la méthodologie et les principaux résultats du modèle de simulation bioéconomique construit durant la seconde phase du Programme national de recherche crevettière. Cet outil permet de mettre en avant la dimension économique (création et répartition de richesses) de l'activité de pêche et de l'aménagement, à la différence des modèles d'inspiration biologique jusque-là utilisés. Ce modèle représente la dynamique des composantes biologique et économique de la pêcherie, en interaction sous l'influence de facteurs exogènes (prix des crevettes, coûts des intrants) et de décisions de gestion de diverses natures (dates d'ouverture ou de fermeture, maillage, nombre de licences, redevances, etc.). Ce modèle est aussi un simulateur de scénarios censé aider à la prise de décision pour une gestion durable de la pêcherie crevettière malgache. Le deuxième chapitre présente la version pluriannuelle du modèle qui permet de simuler la dynamique de la pêcherie sur une durée de 10 ans. Cette extension du modèle bioéconomique permet de mieux représenter les conséquences pluriannuelles de certaines décisions et les irréversibilités qu'elles peuvent induire. Le dernier chapitre conclut logiquement cette partie sur l'évolution du système d'aménagement et les enjeux récents de la gestion. Initialement basé sur des diagnostics biologiques, le système d'aménagement a progressivement évolué en raison de la nécessité d'un meilleur contrôle de l'effort de pêche, d'une plus grande contribution de la pêcherie à l'économie nationale, d'un moindre coût écologique de l'exploitation crevettière. On verra cependant qu'en dépit de ces efforts la question d'une régulation générale plus efficace des capacités de pêche reste actuelle. Enfin, un contrôle plus effectif de l'effort de pêche traditionnelle, tant pour le nombre d'engins que pour leurs caractéristiques (maillage) reste indispensable.

< © C. Chaboud/IRD

Modélisation bioéconomique de la pêcherie crevettière malgache

Christian Chaboud



© A. de Rodellec/PNRC

Pourquoi un modèle bioéconomique de la pêche crevettière malgache ?

La construction d'un modèle ne reste jamais un objectif en soi, elle se justifie dans notre cas par des raisons d'ordre scientifique (compréhension et représentation de phénomènes) et contextuel (réponse à une demande de recherche appliquée à la gestion) qui seront explicitées dans les paragraphes suivants. Elle repose également sur la disponibilité d'informations de qualité ainsi que sur celle d'outils qui rendent cet exercice réaliste et utile dans la perspective d'une aide à la décision et d'un transfert auprès des instances en charge de la gestion des pêches.

Problématique de la gestion des pêcheries crevettières tropicales

Bien que ne contribuant qu'à une faible part des captures mondiales, soit 2,2 millions de tonnes sur 92 millions en 2003 (FAO Fishstat Plus), les pêcheries crevettières ont un poids économique important en raison de la part en valeur de leurs produits dans les échanges économiques internationaux de produits de la mer. Les exportations mondiales de crevettes se sont élevées à 11 milliards de dollars US en 2003, soit 17 % du commerce mondial en valeur des produits de la pêche (64 milliards de dollars US). L'envol de la consom-

mation de crevettes depuis les années 1960 au sein des principaux marchés (États-Unis, Japon, Europe) a entraîné, sur le long terme, une hausse des prix favorisant la rentabilité des exploitations crevettières et donc la croissance des flottilles et des capacités de pêche. Durant la même période, la diffusion mondiale de technologies de capture et de traitement industriels (gréement floridien, électronique embarquée, conditionnement et traitement à bord) plus efficaces ont permis une augmentation remarquable de la puissance de pêche des flottes crevettières. Cependant, au cours des années récentes, l'envol de la crevetticulture en Asie et Amérique latine a eu un impact important sur le marché en pesant sur le prix international des crevettes[29], ce qui a réduit la rentabilité de la pêche. Depuis quelques années, la hausse du coût de l'énergie a accentué la dégradation des résultats économiques de la pêche. L'efficacité des systèmes de gestion n'ayant hélas pas évolué au même rythme que celui des capacités de capture dans la majorité des grandes pêcheries crevettières, des mesures correctives efficaces ont rarement été prises pour inverser la tendance généralisée à la surcapacité et donc à de piètres résultats économiques au regard de la valeur des ressources. Ces difficultés économiques ont des conséquences sociales non négligeables puisqu'elles conduisent à terme à la destruction d'emploi dans le secteur des pêches (Mc Guire, 1991), mais aussi dans l'ensemble de la filière (transformation et distribution des produits). Il convient cependant de signaler que si les mesures correctives conduisent souvent à une réduction des emplois en mer, elles contribuent au maintien de l'activité dans le reste de la filière. L'appréciation de cet effet négatif sur l'emploi en mer doit être tempérée dans la mesure où, en l'absence de mesures correctives, l'emploi sera inévitablement menacé à long terme par la baisse de rentabilité de la pêche.

Face à ces difficultés, le recours à la modélisation bioéconomique s'avère l'un des outils de réponse. Peuvent ainsi être cités les modèles des pêcheries du golfe du Mexique (Grant et Griffin, 1979 ; Nance *et al.,* 1994 ; Blomo *et al.,* 1982), de Guyane (Gilly et Cochet, 1988 ; Béné, 1997), du Surinam (Willman et Garcia, 1985), du Koweit (Matheus et Samuel, 1991), du Mozambique (Coss *et al.,* 1993) et d'Australie (Clark et Kirkwood, 1979 ; Kirkwood, 1984). Une première tentative d'application eut lieu à Madagascar en 1989 (OISO/CNRO, 1989), mais ne fut pas poursuivie à l'époque.

Reconnus d'intérêt général dans la représentation et l'appui à la gestion de toutes les pêcheries (Clark, 1985, 1990 ; Anderson, 1977 ; Hannesson, 1993 ; Charles, 2001), les modèles bioéconomiques semblent particulièrement adaptés aux pêcheries crevettières tout d'abord en raison des caractéristiques des ressources. Leur haute valeur commerciale et donc la rente économique espérée d'une gestion efficace permettent de balancer le coût de la modélisation, qui n'est pas négligeable tant pour son développement (recherche) que pour l'actualisation de la structure du modèle et de ses paramètres (données

29. Cet effet serait surtout sensible sur les petits calibres commerciaux en raison de l'importance croissante de l'espèce *P. vannamei* dans la crevetticulture tropicale.

biologiques et économiques). Les crevettes côtières tropicales ont un cycle de vie très court (Garcia et Le Reste, 1981) et on peut espérer que les conséquences de décisions d'aménagement plus adaptées, inspirées des scénarios de modélisation seront rapidement perçues par les exploitants en raison de la réponse rapide de la ressource biologique aux mesures de gestion, ce qui renforce d'autant l'intérêt d'outils scientifiques permettant d'appuyer ces décisions. Des modèles bioéconomiques ont aussi été employés pour tester des mesures visant à réduire l'impact des pêcheries crevettières sur la biodiversité marine, comme l'adoption de dispositif de rejets de tortues[30] ou de réduction des captures accessoires de poissons[31] (Ward, 1994), en réponse au discours environnementaliste souvent critique à l'égard des pêcheries crevettières (Environmental Justice Foundation, 2003).

Une pêcherie malgache complexe

La pêcherie malgache peut être considérée comme un système complexe dont la dynamique doit être perçue comme la résultante de l'interaction d'éléments de diverses natures (environnementaux, biologiques, économiques, sociaux et politiques) opérant à différentes échelles de temps et d'espace. Certains sont exogènes à ce système pêche, ils n'en constituent pas moins des facteurs forçants dont le rôle est considérable dans la dynamique de l'exploitation. Il s'agit des variables environnementales qui conditionnement en grande partie le renouvellement de la ressource, mais aussi des facteurs économiques qui contribuent à la formation des profits : prix mondial ou domestique de la crevette, coûts des inputs importés ou locaux. Enfin, les facteurs sociaux et politiques conditionnent le mode de gestion de la pêcherie et donc les décisions qui cherchent à orienter sa trajectoire. Les éléments internes au système concernent les différents types de capitaux[32] en interaction dans la pêcherie. Il s'agit essentiellement du capital naturel constitué de la ressource crevettière et poissonnière et de son écosystème[33], et du capital économique (bateaux et engins de pêche de différents types, unités de gestion, unités de traitement et de stockage à terre, moyens de collecte).

Une démarche scientifique analytique visant à produire, de façon séparée ou parallèle, une connaissance fine par domaine disciplinaire (environnemental, biologique, économique, socio-anthropologique) ne peut pas, à elle seule, permettre de comprendre la résultante de leurs interactions. L'approche de la dynamique globale s'avère également insuffisante car elle se concentre sur les variables synthétiques de résultats et ignore les phénomènes à différentes échelles, dont l'interaction contribue à l'émergence de la trajectoire observée.

30. *Turtle extruder devices* en anglais.

31. *Bycatch reducing devices* en anglais.

32. Nous n'aborderons pas ici les questions relatives au capital humain et au capital social, importantes dans la compréhension de l'exploitation et de la gouvernance des ressources marines, mais qui ne sont pas prises en compte dans le type de modèle développé dans cette contribution.

33. Si on ne peut ignorer l'écosystème dans lequel se situe la ressource crevettière, les contraintes (connaissances limitées, disponibilité des données) et les hypothèses propres à la modélisation impliqueront de réduire le capital naturel aux éléments centraux que sont la ressource en crevettes et en second la ressource en poisson.

La modélisation systémique dynamique apparaît comme une approche susceptible d'intégrer cette complexité, tout en permettant de rendre compte de sa dynamique globale (CHABOUD et FONTANA, 1992). Le second grand intérêt de la modélisation face à la complexité de la pêche figure dans l'effort de mise en cohérence de données d'origines et de natures différentes, même si cela peut être considéré comme réducteur dans la mesure où certains phénomènes seront ignorés ou notoirement simplifiés par cette démarche[34].

La nécessité d'outils pour la gestion durable de la pêcherie

Le développement durable des pêches est désormais officiellement à l'ordre du jour à Madagascar. Les diverses parties prenantes déclarent désormais faire leurs les principes internationaux relatifs au principe de précaution (FAO, 1995 a) et à la pêche responsable (FAO, 1995 b). L'adhésion aux principes de cette nouvelle rhétorique halieutique est, en soi, une très bonne chose, mais leur application suppose aussi de disposer de moyens et d'outils permettant la prise en compte simultanée des différentes dimensions présentes dans ces principes, l'intégration synthétique de l'information existante, la production de scénarios exposant les conséquences probables de choix décisionnels publics et/ou privés. La modélisation bioéconomique figure parmi les outils qui peuvent contribuer à la mise en œuvre des principes récents de l'aménagement des pêches.

Les étapes de la modélisation

La mise au point du modèle actuel et son application au cas de la pêcherie crevettière malgache ont été réalisées sur une période de cinq ans (2001 à 2005). Il s'agit d'un modèle annuel de la pêche, une version pluriannuelle a été récemment développée (CHABOUD, 2005 b) et sera discutée plus loin.

Conception du modèle initial

Une première version du modèle a été présentée aux partenaires du PNRC lors de l'atelier de décembre 2000 (CHABOUD, 2001). Cette présentation avait pour objet de sensibiliser les acteurs scientifiques et les décideurs publics et privés à l'intérêt de la simulation et de susciter des réactions et propositions quant aux orientations à donner à ce projet. Les réactions à ce stade ont montré de l'intérêt mais aussi des interrogations. Les principales questions soulevées par cette proposition étaient relatives au temps nécessaire pour

34. La modélisation bioéconomique ignore ainsi la dimension sociale de l'exploitation et de la gestion des ressources, ce qui lui vaut nombre de critiques de la part de sociologues ou d'anthropologues qui y voient une démarche réductionniste.

disposer d'un modèle finalisé d'aide à la gestion, à la quantité d'information nécessaire et à sa disponibilité, à la confidentialité des informations individuelles issues du secteur privé industriel, enfin au transfert du produit aux utilisateurs à l'issue du programme de recherche.

Premiers résultats et améliorations

La seconde étape a été la calibration de ce premier modèle, tant pour les paramètres biologiques qu'économiques. Pour pallier les inquiétudes des opérateurs quant à la diffusion d'informations considérées confidentielles, ainsi qu'au risque de duplication des tâches, nous nous sommes appuyés sur l'observatoire économique de la filière crevettière pour obtenir des données agrégées par type de pêche et zone, ainsi que sur les coûts à terre, pour la pêche industrielle, la pêche artisanale et les activités de collecte de crevettes auprès de la pêche traditionnelle. Les paramètres économiques de la pêche traditionnelle ont été obtenus à partir des résultats actualisés de recherche du PNRC (Courtois et Chaboud, 2001). Pour les paramètres biologiques on a utilisé les paramètres de croissance et de mortalité naturelle utilisés dans les évaluations de ressource alors disponibles (Moguedet *et al.,* 2001 ; Rafalimanana, 2003). La mortalité par pêche n'est pas introduite de façon exogène mais calculée à partir de l'effort de pêche nominal (nombre de bateaux par pêche et par zone) et des paramètres de capturabilité estimés par type d'unité de pêche. Il a fallu, lors des premières calibrations, pour retrouver les niveaux de capture observés, estimer le recrutement en jeunes crevettes par ajustement statistique (minimisation de la somme du carré des écarts entre prises industrielles observées et estimées par le modèle) ; ces estimations étant conditionnelles aux valeurs prises par les autres paramètres du modèle.

Les premières simulations basées sur des « données réelles » ont ainsi pu être présentées à l'atelier national sur l'aménagement de 2003 (Chaboud, 2003). Elles ont permis de comparer des scénarios d'aménagement relatifs à la modification des dates d'ouverture et de fermeture, aux caractéristiques des engins de pêche industriels (corde de dos et maillage des chaluts industriels), à la réduction du taux d'activité de la flottille industrielle et à la diminution du nombre d'unités de pêche. La robustesse des résultats, c'est-à-dire leur sensibilité à l'incertitude sur quelques paramètres (recrutement, croissance) a été évaluée au moyen de la méthode de Monte Carlo.

Parallèlement, une interface utilisateur a été développée pour permettre un usage convivial du modèle par des usagers non modélisateurs, mais compétents en gestion et aménagement des pêcheries. Elle permet de redéfinir les paramètres initiaux des simulations, de modifier les variables de contrôle (instruments de politiques des pêches) et d'explorer en profondeur les résultats des simulations. Des composants complémentaires au modèle principal permettent de compléter les analyses avec la possibilité de réaliser des analyses de sensibilité (méthode de Monte Carlo), des optimisations et des aides à la décision selon des objectifs multicritères. Enfin, il est possible d'ac-

céder à une synthèse des données de la pêche industrielle (base Banacrem depuis 1995 et données plus anciennes), ainsi qu'à une photothèque présentant les principaux types de pêche dans leur environnement.

Le transfert du modèle et son évaluation

L'étape suivante concernant le modèle bioéconomique annuel a été son transfert et son évaluation lors d'un atelier tenu en octobre 2004 qui regroupait des scientifiques, des membres de l'administration publique en charge du secteur de la pêche et des cadres du secteur privé crevettier. Il a été consacré à l'exposé des bases économiques et biologiques de la modélisation, à la démonstration des principaux éléments de l'application composée du modèle et de son interface utilisateur, ainsi qu'à des simulations par les participants dont les résultats ont été analysés en groupe de travail. À son issue, un certain nombre de propositions d'améliorations ont été avancées sur l'ergonomie et la clarté de l'interface, ainsi que sur les choix initiaux de modélisation (avec une recommandation de passage à un modèle pluriannuel).

Récents développements

En 2005, à la suite des recommandations de l'atelier de transfert-évaluation, une version pluriannuelle du modèle a été développée. Elle permet de simuler 10 années d'exploitation soumises à des chocs exogènes répétés d'ordre biologique ou économique, ainsi qu'à des décisions de gestion simultanées ou successives. On n'envisage pas, pour le moment, de développer une interface de ce modèle qui est nettement plus complexe que la version annuelle. Ces principaux résultats seront présentés au chapitre 12 de cet ouvrage. Enfin, la plupart des améliorations attendues du modèle annuel et de son interface ont été prises en compte dans les dernières versions.

Le modèle annuel

Présentation générale, principales hypothèses

Le modèle représente la dynamique d'un « système pêche » simplifié. Il convient en premier lieu d'en préciser la frontière, les échelles de représentation, ainsi que les périodes et pas de temps.

Les unités de pêche (UP) sont réparties dans des segments de pêche composés d'UP ayant des caractéristiques économiques et techniques communes et exploitant une même zone. Les UP ne peuvent pas passer d'un segment à un autre au cours d'une simulation. Les caractéristiques communes entre UP d'un même segment sont relatives à l'impact sur la ressource (fonction de paramètres d'effort et de capturabilité), au mode de conditionnement

des produits (crevettes entières, étêtées, décortiquées), à la destination de leurs prises de crevettes (export direct, collecte pour l'export, collecte pour le marché intérieur, consommation finale locale) et enfin à leur fonction de coût. Les UP ayant les mêmes caractéristiques techniques (en termes de taille, d'engin ou de mode de conservation) relèvent d'un même type d'exploitation et constituent, dans la terminologie du modèle, une flottille, qui peut être répartie sur une ou plusieurs zones de pêche et, parmi elles, celles exploitant aussi une même zone, constituent un segment de pêche. La version actuelle du modèle comprend 12 types d'exploitation (deux industriels, neuf traditionnels et un artisanal) et 4 zones. L'effectif total des UP au sein d'un même segment est défini en début de simulation et restera constant. À un instant donné, les UP d'un même segment se répartissent entre UP actives (si elles exercent une mortalité par pêche non nulle) et inactives. Les UP inactives ne pêchent pas mais supportent néanmoins certains éléments de coût. Des UP peuvent devenir inactives en cours de simulation si l'on choisit les options d'une fermeture en cours de saison de pêche ou une régulation endogène intra-annuelle de l'effectif des segments de pêche.

Les unités de gestion privées, de stockage et de transformation sont considérées pour partie comme le prolongement à terre des segments de pêche. Leurs coûts seront alors partiellement imputés aux segments qui les approvisionnent. L'autre partie de ces activités à terre est cependant considérée comme indépendante des segments de pêche (cas des unités de transformation et de stockage lorsqu'elles sont approvisionnées à partir de la collecte auprès de la pêche traditionnelle ou par des achats entre firmes). Tout comme l'est également l'activité de collecte des produits de la pêche traditionnelle dont les coûts et revenus seront alors comptabilisés au titre des activités à terre « non imputées ».

Les ressources biologiques exploitées sont constituées de huit stocks de crevettes, composés des mâles et femelles[35] de deux espèces (*F. indicus* et *M. monoceros*[36]) présentes dans quatre zones. On fait l'hypothèse qu'il n'y a pas d'échanges de ressource biologique entre zones[37]. La ressource en poisson, qui fait l'objet de captures accessoires et de rejets, est représentée par un stock homogène par zone.

Les dimensions et les principaux indices utilisés dans le modèle sont présentés à l'annexe 2. La version initiale du modèle simule la pêcherie sur une année avec un pas de temps journalier. Le choix initial d'une période annuelle est fondé sur l'espérance de vie très courte des espèces cibles, ainsi que sur le cadre annuel de la gestion de la pêcherie et de l'appréciation biologique et économique de ses résultats[38]. Il est possible de modifier le pas de temps

35. Mâles et femelles sont modélisés séparément en raison de différences importantes dans les paramètres biologiques.

36. Ces deux espèces représentent 80 % des captures totales de crevettes et l'essentiel des recherches biologiques sur les crevettes à Madagascar leur a été consacré. Les autres espèces présentes sont *P. monodon*, *P. semisulcatus* et *P. japonicus*.

37. Hypothèse conforme aux résultats des expériences de marquage qui n'ont pas mis en évidence des migrations significatives entre zones (Rafalimanana, 2003).

38. L'observatoire économique de la filière crevettière produit ainsi des comptes économiques annuels de la filière censés aider à l'ajustement annuel de la gestion de la pêcherie.

(de 5 à 15 jours). Il faut cependant savoir que des écarts de pas de temps peuvent conduire à des résultats différents, la comparaison de scénarios de gestion différents devra se faire à partir de simulations utilisant le même pas de temps.

Le modèle est constitué d'un ensemble de modules interconnectés présenté à l'annexe 1. Il convient ici d'opérer une distinction entre modules de variable de contrôle, modules de variables endogènes et modules d'importation de données exogènes.

Parallèlement à la présentation des modules du modèle, ceux-ci seront illustrés ensuite par les résultats d'une simulation de référence. Cette dernière est basée sur les estimations les plus récentes des paramètres biologiques pour la croissance. D'autres paramètres comme le recrutement seront estimés pour permettre d'atteindre les niveaux de débarquement moyen observés sur l'année 2003. Les données économiques relatives au marché et aux prix sont également celles de 2003, estimées en collaboration avec l'observatoire économique de la filière crevettière, dont les données sources ont fait l'objet d'une certification comptable[39].

Le module de politique des pêches

Cette composante du modèle permet de déterminer les valeurs initiales des variables de contrôle associées aux principaux outils de gestion :

– effectifs des flottilles par segments en début de saison. Pour les segments industriels et artisanaux, il s'agit du nombre de licences délivrées dans chaque segment par l'administration. Pour la pêche traditionnelle, il s'agit des unités présentes en début de saison ;

– dates d'ouverture et de fermeture de la pêcherie, par zone, par segment, avec la possibilité de fermetures intermédiaires en cours de campagne de pêche ;

– le montant des droits de pêche acquittés par les segments de pêche assujettis ;

– les caractéristiques techniques des engins de pêche (maillage, dimension).

Les modules de variables exogènes

Les modules exogènes concernent les variables dont l'évolution n'est pas conditionnée par la dynamique du système représenté, donc à l'extérieur de sa frontière. Ce sont :

– Les marchés intérieur et mondial de la crevette. On considère que le secteur crevettier malgache est preneur de prix (price-taker), il n'a donc pas la capacité d'influer sur le prix du marché. Ce dernier est introduit, en début de simulation, par espèce et calibre commercial[40], pour chacune des grandes zones d'exportation ainsi que pour le marché local. Ceci n'est pas contradictoire

39. Le modèle n'utilise pas les données sources certifiées pour des raisons de confidentialité. Il incorpore des données consolidées par zone et type d'exploitation, calculées à partie des données sources, et où n'apparaissent plus les spécificités propres aux différentes entreprises de pêche.

40. Les prix de la crevette sont toujours définis par calibres, qui correspondent à un nombre d'individus par unité de volume : kg (pour les crevettes entières), livre anglaise (pour les crevettes étêtées).

avec le fait que les firmes puissent, à travers leurs choix d'exploitation, influer sur le prix moyen, *ex post*, de leur production, en recherchant par exemple à augmenter la taille moyenne des captures. Pour le marché intérieur de la crevette, qui reste étroit[41], on peut considérer que les conditions de la demande (revenus des consommateurs) constituent ici le facteur déterminant pour les prix de la pêche traditionnelle, alors que les segments industriels et artisanal alignent leurs prix sur ceux du marché mondial.

– L'évolution du cours des principales devises (euro, yen, dollar) dans lesquelles sont exprimés les prix à l'export de la crevette ou ceux des principaux intrants importés (carburant, navires industriels, pièces de rechanges, etc.).

– Les variables économiques locales qui influent sur les coûts ou bien encore sur la distribution de la richesse créée par la pêche (taux d'imposition des firmes, des ménages, taxation des intrants importés, cotisations sociales), mais qui ne sont pas considérées comme des outils spécifiques de la gestion des pêches.

– Les paramètres biologiques liés aux conditions environnementales ou aux caractéristiques des espèces exploitées : recrutement, croissance individuelle et mortalité naturelle des crevettes ; taux de croissance intrinsèque des populations et capacité de charge de la ressource en poisson. Ces paramètres sont considérés comme indépendants de l'exploitation.

Les modules de variables exogènes

Leurs éléments, au cours des simulations, sont en interaction avec ceux d'autres modules. On commencera par exposer les modules sur la dynamique du capital naturel (crevettes et poissons), puis ceux consacrés à la dynamique du capital économique et à leurs résultats économiques.

Le module biologique crevettes

■ Modélisation de la dynamique des cohortes

La dynamique de la ressource crevettière est représentée au moyen d'un modèle analytique inspiré des travaux pionniers de Thompson et Bell (1934) et de Beverton et Holt (1957). On s'est également inspiré des manuels de dynamique de population de Laurec et Le Guen (1981), de biologie de King (1995), ainsi que de la synthèse sur la biologie des crevettes pénéides de Garcia et Le Reste (1981).

Les stocks de crevettes exploitées sont modélisés sous la forme de cohortes mensuelles par zone (douze cohortes pour l'année courante simulée et six survivantes de l'année précédente) distinctes pour les mâles et les femelles. Nous présenterons ici les équations de base du modèle pour une cohorte (c'est-à-dire les individus de mêmes espèce et sexe, dans une même zone, recrutés au cours d'un même mois). Pour ne pas alourdir les notations, on ne mentionnera pas ici les indices relatifs aux sexe (s), espèce (i), et rang mensuel (c) de la cohorte.

41. Environ 2 000 tonnes par an (Chaboud *et al.*, 2002).

La variable t est le temps de la simulation, soit t = 1, 2…, 365 dans la version du modèle à pas de temps quotidien.

L'effectif **N** d'une cohorte décroît de façon exponentielle en fonction de la mortalité totale **Z** :

$\mathbf{N}_t = \mathbf{N}_{t-1} \cdot \mathbf{e}^{-Zt}$ (1)

Le nombre d'individus morts dans l'intervalle [t-1, t] se déduit de l'équation précédente :

$\mathbf{N}_{t-1} - \mathbf{N}_t = \mathbf{N}_{t-1}[1-\mathbf{e}^{-Zt}]$ (2)

La mortalité totale a deux composantes, la mortalité naturelle **M**[42] et celle exercée par la pêche **F** :

$\mathbf{Z}_t = \mathbf{F}_t + \mathbf{M}$ (3)

Cette dernière est la somme des mortalités par pêche $\mathbf{F}_x$ exercée par chaque segment de pêche *x*, soit $\mathbf{F}_t = \sum_x \mathbf{F}_{xt}$[43].

Dans l'application de référence, la mortalité mensuelle des crevettes est fixée à 0,2 (soit 0,0065 par jour), valeur souvent retenue dans la littérature scientifique récente (MOGUEDET *et al.,* 2001).

Une cohorte de rang mensuel *c* de l'année courante est recrutée au jour de simulation t_r[44]. Son effectif initial $\mathbf{N}_{t_r}$ est égal au recrutement $\mathbf{R}_c$. Ces derniers seront obtenus à partir des estimations par analyse virtuelle des populations réalisées par les biologistes du PNRC. On considère qu'il n'y pas de différence entre âge à la première capture et au recrutement. L'effectif des cohortes survivantes de l'année précédente est estimé au premier jour de la période de simulation courante, donc en tenant compte des mortalités naturelle et par pêche fournies pour l'année précédente[45].

La croissance individuelle des crevettes, en longueur céphalothoracique, **LC**, est calculée au moyen de l'équation de croissance de von Bertalanffy. Le poids individuel W_t est obtenu en utilisant la relation poids-longueur. Les crevettes sont recrutées à l'âge $\mathbf{a}_r$ au temps $\mathbf{t} = \mathbf{t}_r$ On ignore ici le paramètre t_o figurant dans la formulation originale de l'équation de croissance de von Bertalanffy, ainsi qu'il est d'usage dans les travaux sur les crevettes.

$\mathbf{LC}_t = \mathbf{L}_\infty [1-\mathbf{e}^{-K(t-t_r+a_r)}]$ (4)

$\mathbf{W}_t = \alpha \cdot \mathbf{LC}_t^{\beta}$ (5)

où L_∞ est la longueur asymptotique, **K** le paramètre de croissance, α et β ceux de la relation poids-longueur.

42. Dans la version courante du modèle, la mortalité naturelle M est supposée constante. Il serait cependant possible de prendre en compte l'effet de l'âge sur la mortalité naturelle.

43. On rappelle qu'un segment de pêche est constitué par l'ensemble des UP d'un même type x au sein d'une zone z.

44. Les crevettes d'une même cohorte mensuelle sont supposées être recrutées le premier jour du mois.

45. La prise en compte des cohortes survivantes de l'année précédente n'est pas contradictoire avec le choix d'un modèle annuel, les ignorer impliquerait par contre une sous-estimation de la ressource exploitable initiale à l'ouverture de la saison de pêche.

L'importance du bon choix des paramètres de croissance pour la simulation de référence

Dans un modèle bioéconomique d'une pêcherie crevettière, le choix des paramètres de la fonction de croissance des crevettes est déterminant dans la mesure où il aura des conséquences fortes sur les résultats économiques de la simulation de référence, ainsi que sur les scénarios de gestion concernant différents paramètres tels que dates de la campagne de pêche, maillage, fermeture de zones, etc. Le choix des paramètres de croissance doit être compatible, entre autres, avec celui fait pour la mortalité naturelle M. Ainsi, si on retient une valeur mensuelle de M égale à 0,2, cela signifie que le taux de survie à 1 an n'est que de 9 %. Il faut que les paramètres de croissance permettent, au cours de la période de simulation (un an dans la version de base du modèle), d'obtenir des structures de capture par calibre ou par taille compatibles avec celles observées dans la pêcherie, en dépit de ce faible taux de survie.

Supposant connu le prix $\mathbf{pcal}_{cal}$ par calibre commercial entier *cal*[46], il est possible de calculer la croissance individuelle en valeur. Si $\mathbf{W}_t$, le poids d'une crevette au temps t, est exprimé en g, un individu appartiendra à un calibre commercial *cal* de bornes $\mathbf{min}_{cal}$ et $\mathbf{Max}_{cal}$ si $\mathbf{1000/W}_t$ $]\mathbf{min}_{cal}, \mathbf{Max}_{cal}]$, et son prix au kg $\mathbf{p}_t$ sera égal à celui du calibre correspondant $\mathbf{pcal}_{cal}$. On peut alors calculer la valeur individuelle :

$$\mathbf{V}_t = \mathbf{p}_t \cdot \mathbf{W}_t \quad (6)$$

La biomasse instantanée $\mathbf{B}_t$ est le produit des effectifs $\mathbf{N}_t$ par le poids individuel $\mathbf{W}_t$:

$$\mathbf{B}_t = \mathbf{N}_t \cdot \mathbf{W}_t \quad (7)$$

La biomasse féconde est le produit de la biomasse $\mathbf{B}_t$ des cohortes femelles par le taux d'individus féconds, représenté par une fonction **Fec** de la longueur $\mathbf{LC}_t$.

$$\mathbf{BF}_t = \mathbf{B}_t \cdot \mathbf{Fec}(\mathbf{LC}_t) \quad (8)$$

Tableau 48
Gains espérés d'un report de capture de l'âge 100 à 200 pour F. indicus *en zone A, valorisée aux prix export FOB 2003.*

T	70	170	Espérance de gain absolu	Espérance de gain relatif	Survie M = 0,2/mois	Espérance de gain relatif corrigée de la mortalité
Âge (jour)	100	200				
W_t (g)	11,33	31,71	20,3	180 %	0,52	94 %
V_t (ariary)	66	396	330	493 %	0,52	256 %
Cal	80-100	30-40				
Pt (ariary/kg)	5 905	12 506				

46. Un calibre commercial pour les crevettes entières est déterminé à partir du nombre d'individus par kg de crevettes entières. Il est plus précisément défini par des bornes qui indiquent les nombres maximal et minimal de crevettes par kg pour ce calibre. Par exemple, pour le calibre 20-30, il y aura entre 20 et 30 crevettes par kg. Enfin, les calibres les plus gros (U10) et les plus petits (150 Up) n'ont qu'une borne et regroupent l'ensemble d'un effectif au kg inférieur à 10 ou supérieur à 150.

La croissance en valeur et son importance pour la gestion de la ressource crevettière

Pour la simulation de référence, la figure 136 montre, pour la cohorte de janvier de *F. indicus* femelle de la zone A (recrutée en t = 1 à l'âge de 30 jours), la croissance individuelle en poids et en valeur. Les paramètres de croissance sont les estimations les plus récentes (Rafalimanana et Caverivière, chap. 3) et la valeur a été calculée à partir des prix FOB à l'export exprimés en monnaie nationale (ariary[47]). L'examen de cette figure renvoie à la problématique centrale de l'exploitation crevettière, à savoir permettre aux crevettes d'atteindre une taille suffisante pour tirer profit des gains en poids et en valeur consentis par leur croissance biologique rapide et l'augmentation de prix associé à cette croissance. Ceci est illustré plus précisément au tableau 48 où l'on compare le poids et la valeur d'une même crevette qui ne serait plus capturée à l'âge de 100 jours mais de 200. L'espérance de gain absolu dans l'intervalle est de 20,3 g en volume et de 330 ariary en valeur, soit des croissances respectives de 180 et 493 %. Il faut cependant aussi prendre en compte la mortalité naturelle entre les deux âges (estimée à 0,2 par mois, soit 0,00655 par jour), ce qui donne une probabilité de survie de 0,52[48] pour une période de 100 jours. L'espérance de gain relatif corrigée de la mortalité est alors de 94 % en volume et de 256 % en valeur.

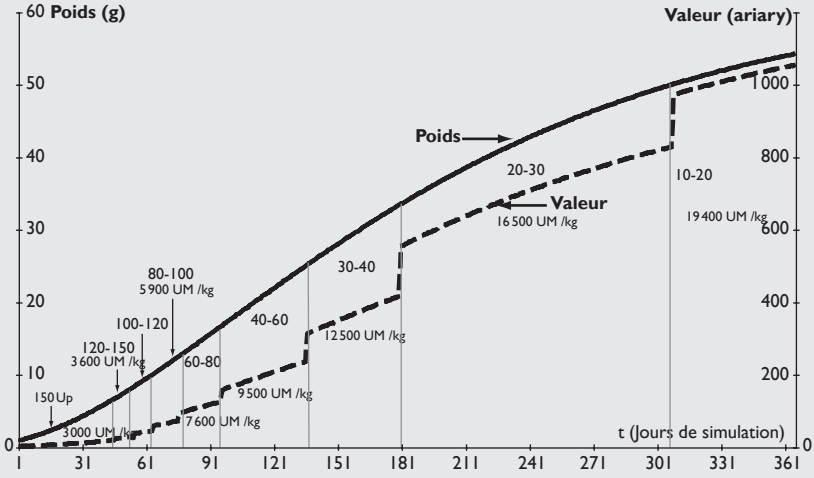


Fig. 136
Croissance individuelle en poids et en valeur.
Changements de calibres commerciaux et prix (unité monétaire UM en ariary)
(F. indicus, *femelle, zone A ; valorisation au prix FOB à l'export 2003).*

La capture instantanée en poids $\mathbf{y}_t$ ou en valeur $\mathbf{yv}_t$ est égale à la part de la mortalité par pêche dans la mortalité totale, soit $\mathbf{F}_t/\mathbf{Z}_t$, multipliée par le nombre total d'individus morts entre t-1 et t et leur poids individuel moyen $\mathbf{W}_t$ ou leur valeur $\mathbf{V}_t$.

47. En septembre 2006, un ariary valait 0,000370479 euro, soit 2 699 ariary pour un euro.
48. On a $N_{200} = N_{100}.e^{-(0.00655 * 100)}$. Si $N_{100} = 1$, on obtient $N_{200} = 0,52$.

$\mathbf{y}_t = [\mathbf{F}_t / \mathbf{Z}_t] \cdot \mathbf{N}_{t-1} \cdot [1 - e^{-Z_t}] \cdot \mathbf{W}_t$ **(volume)** (9)

$\mathbf{yv}_t = [\mathbf{F}_t / \mathbf{Z}_t] \cdot \mathbf{N}_{t-1} \cdot [1 - e^{-Z_t}] \cdot \mathbf{V}_t$ **(valeur)**

Pour un segment de pêche x la capture instantanée sera calculée de la même façon :

$\mathbf{y}_{x_t} = [\mathbf{F}_t / \mathbf{Z}_t] \cdot \mathbf{N}_{t-1} \cdot [1 - e^{-Z_t}] \cdot \mathbf{W}_t$ **(volume)** (10)

$\mathbf{yv}_{x_t} = [\mathbf{F}_{x_t} / \mathbf{Z}_t] \cdot \mathbf{N}_{t-1} \cdot [1 - e^{-Z_t}] \cdot \mathbf{V}_t$ **(valeur)**

La capture instantanée par unité de pêche est alors égale à :

$\mathbf{ybat}_{x_t} = \mathbf{y}_{x_t} / \mathbf{Batact}_{x_t}$ *(volume)* $\quad \mathbf{yvbat}_{x_t} = \mathbf{yv}_{x_t} / \mathbf{Batact}_{x_t}$ *(valeur)* (11)

où $\mathbf{Batact}_{x_t}$ est le nombre d'UP actives du type x au temps t.

La capture cumulée **Y** pour une cohorte et par type d'exploitation, pour la période de simulation s'obtient par intégration de la capture instantanée **y** :

$$\mathbf{Y} = \int_{t_o}^{t_{max}} \mathbf{y}_t \mathbf{dt} \text{ } \textit{(volume)} \qquad \mathbf{YV} = \int_{t_o}^{t_{max}} \mathbf{yv}_t \mathbf{dt} \text{ } \textit{(valeur)} \quad (12)$$

où t_o et t_{max} sont les bornes minimales et maximales de la période de simulation.

La capture cumulée pour l'ensemble des UP du segment *x* est également obtenue par intégration à partir de l'équation 10 :

$$\mathbf{Y}_x = \int_{t_o}^{t_{max}} \mathbf{y}_{x_t} \mathbf{dt} \text{ } \textit{(volume)} \qquad \mathbf{YV}_x = \int_{t_o}^{t_{max}} \mathbf{yv}_{x_t} \mathbf{dt} \text{ } \textit{(valeur)} \quad (13)$$

La capture cumulée de la pêcherie, par espèce, par zone ou type d'exploitation s'obtient par sommation de l'expression précédente sur les indices sexes, espèces, zones et rang mensuel des cohortes.

Le rendement par recrue d'une espèce, qui est un indicateur de l'efficience de l'exploitation, est égal à **Y/R,** il peut être également obtenu en valeur **YV/R**. Il peut être estimé par cohorte, pour l'ensemble des cohortes de même sexe et espèce, et pour l'ensemble des cohortes d'une même espèce. Il ne peut par contre pas être estimé pour plusieurs espèces prises ensemble.

■ Calcul de la mortalité par pêche

Le choix de la méthode de calcul de la mortalité par pêche $\mathbf{F}_t$ est particulièrement crucial pour bien rendre compte de l'impact des mesures de gestion et des externalités entre types de pêche.

$\mathbf{F}_t$ est égal au produit de l'effort de pêche nominal $\mathbf{f}_t$ (une mesure des moyens matériels consacrés à la capture) par la capturabilité $\mathbf{q}_t$. Cette dernière est définie comme la probabilité qu'un individu soit capturé lorsque l'on exerce une unité d'effort nominal. Dans ce modèle, l'effort nominal par segment est égal au nombre d'UP actives dans un segment $\mathbf{Batact}_{x_t}$.

La capturabilité $\mathbf{q}_t$ se décompose en trois éléments :

– la part de la surface de répartition totale des crevettes affectée par une unité d'effort nominal ;

Captures par cohorte pour une espèce *(F. indicus)* et captures totales

La dynamique de la cohorte de *F. indicus* femelle du mois de janvier en zone A est présentée à la figure 137. Le recrutement initial $\mathbf{R_1}$ est fixé à $15{,}9.10^6$ individus. Les crevettes sont recrutées à un âge a_r = 30 jours. On observe que, pour cette exploitation relativement intense, l'effectif de la cohorte chute très rapidement et que la cohorte est quasi éteinte au bout de 6 mois. La biomasse connaît une croissance rapide jusqu'à l'ouverture de la pêche au jour 55, puis décroît rapidement durant la campagne de pêche. La capture cumulée augmente rapidement durant les premiers mois pour tendre ensuite asymptotiquement vers le total annuel (125 tonnes).

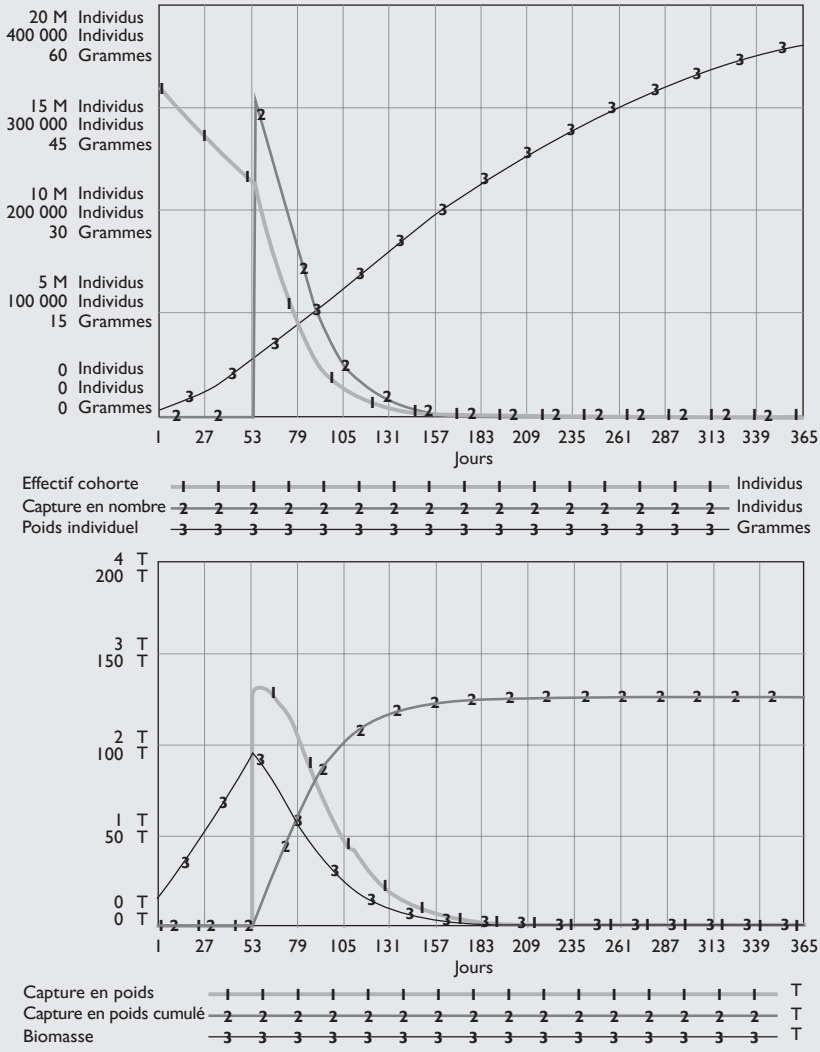


Fig. 137
Représentation de la dynamique d'une cohorte exploitée : effectifs et croissance de F. indicus *femelle, zone A, cohorte de janvier.*

Les résultats précédents sont généralisés sur la figure 138 à l'ensemble des espèces, sexes, cohortes et zones par sommation des résultats sur les cohortes élémentaires. Les discontinuités observées pour la biomasse et la capture instantanée s'expliquent en raison du caractère discret du recrutement mensuel (les jeunes crevettes sont recrutées le premier jour de chaque mois et à l'âge a_r de 30 jours). Cette figure met en évidence un phénomène très caractéristique de l'exploitation intensive des espèces à cycle vital court : la capture totale sur une année (11 900 t dans cette simulation de référence) est égale au double du pic d'abondance des individus recrutés observé à l'ouverture de la pêcherie (5 060 t). Ceci peut inciter à discuter la pertinence du concept de stock annuel moyen comme indicateur de suivi de la pêcherie. Le stock de crevettes (ou mieux encore, de crevettes fécondes), en période de ponte maximale[49] serait peut-être plus pertinent. L'augmentation des prises observées en milieu d'année s'explique par le report de l'activité des unités industrielles sur l'espèce *M. monoceros* qui permet de compenser, et au-delà, la baisse d'abondance de *F. indicus*.

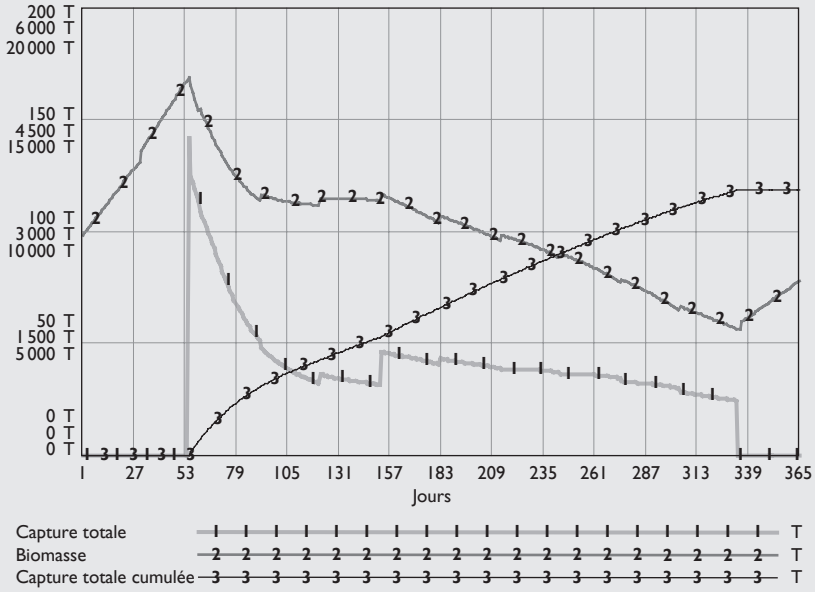


Fig. 138
Biomasse, capture instantanée et capture cumulée sur l'ensemble des espèces, sexes et cohortes de crevettes.

– la sélectivité : c'est-à-dire la probabilité qu'une crevette « rencontrant » un engin de pêche soit capturée. Pour une espèce, cette probabilité est fonction de la taille **LC**. La capturabilité, à un instant t, sera donc différente selon les cohortes, il conviendra donc de la noter $\mathbf{q}_{c_t}$ (c indiquant le rang mensuel de la cohorte) ;

49. Par exemple, août et septembre pour la côte nord-ouest de Madagascar.

Tableau 49
Surfaces chalutées par zone (km²).

Zone A	Zone B	Zone C	Zone D
650	517	5 364	275

– l'accessibilité : c'est-à-dire la probabilité de présence d'une crevette dans la zone parcourue par un engin de pêche.

Calcul de la surface de répartition affectée par une unité d'effort

Pour les chaluts industriels, les surfaces de chalutage effectives $\mathbf{Sce}_z$ par zone ont été mesurées[50] par cartographie des positions des bateaux en vitesse de chalutage[51] indiquées par les balises satellites embarquées par l'ensemble de la flotte industrielle[52]. Cette surface peut être considérée comme une première estimation de la surface de répartition des crevettes. On fait ici l'hypothèse que la répartition des deux espèces prises en considération est identique[53].

La surface chalutée par les navires industriels ne couvre cependant qu'une partie de la surface de répartition en raison de limites de tirant d'eau ou de présence de fonds non chalutables[54]. La surface de répartition des crevettes $\mathbf{Sp}_z$ sera calculée en utilisant un coefficient de correction $\mathbf{cs}_z$ par zone indiquant la part de la surface de répartition supposée non chalutable par des unités industrielles.

$$\mathbf{Sp}_z = \mathbf{Sce}_z / (1 - \mathbf{cs}_z) \quad (14)$$

Pour l'ensemble des filets traînants[55], la surface balayée ($\mathbf{Sb}_x$) en km² par unité d'effort nominal est donnée par la formule :

$$\mathbf{Sb}_x = \mathbf{Hc}_x \cdot (\mathbf{Lb}_x / 1000) \cdot \mathbf{Vc}_x \cdot \mathbf{1,852} \quad (15)$$

où **Hc** est le nombre d'heures de chalutage par jour de mer, **Lb** la largeur balayée par l'engin (en m), **Vc** la vitesse de chalutage (en nœuds). La part de la surface de répartition affectée par une unité d'effort de type x, $\mathbf{P}_x$, est obtenue à partir du rapport des deux expressions précédentes :

$$\mathbf{PS}_x = \mathbf{Sb}_x / \mathbf{Sp}_z \quad (16)$$

Les paramètres retenus pour les différents types d'exploitation dans le modèle sont précisés dans le tableau 50.

50. Nous n'entrerons pas ici dans le détail de la méthodologie appliquée.

51. Entre 2 et 3 nœuds.

52. Les informations brutes utilisées pour ces cartographies ont été obtenues auprès du Centre de surveillance des pêches.

53. On ne dispose pas d'informations suffisantes pour traiter séparément les deux espèces présentes dans le modèle, cette hypothèse peut cependant être considérée comme forte.

54. Il y a aussi bien sûr des surfaces où les crevettes sont présentes, mais en trop faible abondance pour être intéressantes à pêcher.

55. Chaluts industriel et artisanal, petit chalut à bras *kopiko*, petite senne de plage (*harato taritariky*).

Tableau 50
Paramètres des engins traînants.

Zone	Congélateur 24 28 m	Semi-congélateur	Glacier	*Kopiko*	Petite senne	Chalut artisanal
			Type de pêche			
			Largeur chalutée (m)			
A	50	45	20	2	10	4
B	50	45	35	2	10	13
C	50	45	35	4	15	23
D	50	45	–	–	–	–
			Vitesse de chalutage (nœuds)			
	2,5	2,5	2,5	0,3	0,3	2,5
			Heures de chalutage par jour de pêche			
A	15,3	–	12,24	5	5	7,9
B	17,03	16,61	–	5	5	10
C	17	16	8	10	15	17
D	17	–	–	5	–	–

Sélectivité

La probabilité qu'une crevette d'une espèce donnée soit retenue par un engin de pêche d'un maillage donné est fonction de sa longueur céphalothoracique $\mathbf{LC}$. Cette probabilité est représentée par deux courbes sur la figure 139 pour des maillages différents d'un même engin (chalut industriel dans l'exemple). Une valeur remarquable est la longueur $\mathbf{LC}_{50}$ pour laquelle 50 % des crevettes entrant dans l'engin sont retenues. Une augmentation de maillage induit celle de $\mathbf{LC}_{50}$ (qui passe de 21 à 23 mm dans l'exemple présenté).

Les crevettes des différentes cohortes n'ayant pas les mêmes longueurs, la sélectivité par type d'exploitation x pour l'espèce i et le sexe s est définie pour chaque cohorte et représentée par l'équation suivante :

$$\mathbf{Sélect}_{xics_t} = \mathbf{S}_x \cdot (\mathbf{LC}_{ics_t}) \quad \text{avec } \mathbf{0} \leq \mathbf{Sélect}_{xics_t} \leq 1 \quad (17)$$

où $\mathbf{S}_x$ est la fonction de sélectivité de l'engin utilisé par le type d'exploitation *x*. En l'état de nos connaissances, on fait l'hypothèse que la courbe de sélectivité par engin est identique pour les deux espèces de crevettes et par sexe[56].

Pour les engins de pêche industriels, la courbe de sélectivité retenue dans la version actuelle du modèle est la courbe de gauche de la figure 139. Pour la pêche traditionnelle, les courbes de sélectivité sont celles proposées par Rodellec et Caverivière (chapitre 6).

Accessibilité

L'accessibilité des crevettes, selon leur âge, aux différents engins de pêche est fonction de deux phénomènes distincts :

56. Il s'agit là d'une hypothèse forte qu'il conviendrait rapidement d'étudier en raison des différences de morphologie entre les deux espèces, mais aussi entre les sexes d'une même espèce.

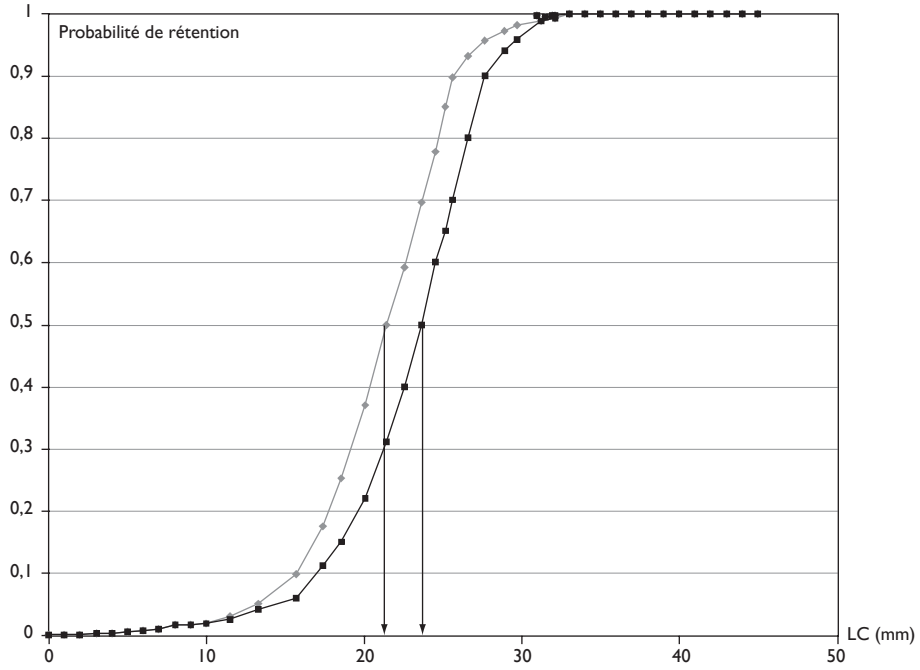


Fig. 139
Courbe de sélectivité pour deux maillages d'un même engin.

– premièrement, la variation de la répartition spatiale des crevettes durant la période « capturable » de leur cycle vital. Ainsi, les crevettes aux stages juvéniles et pré-adultes seront considérées comme plutôt présentes dans la zone intertidale, alors qu'elles se déplacent vers le « large » en devenant adultes, la ponte s'opérant en mer.

– ensuite les zones de répartition différentes des types d'exploitation :

• embouchures, deltas et chenaux de mangroves : filet traînant à bras *kopiko,* barrage *valakira,* chalut à l'étalage *pôtô* ;

• zone intertidale : barrage *valakira*, filet traînant à bras *kopiko*, chalut à l'étalage *pôtô*, petite senne de plage *taritariky*, filet maillant *periky*, chalut artisanal ;

• zones plus profondes : filet maillant *periky*, senne encerclante *kaokobe*, chaluts industriel et artisanal.

La figure 140 présente un exemple « virtuel » d'interaction spatiale entre la ressource et les engins de pêche sous forme cartographique, qui est représentatif de la situation existant sur la côte nord-ouest de Madagascar. Le milieu naturel est divisé en trois sous-ensembles : embouchures et chenaux de mangroves, zone intertidale et « haute mer », où se répartissent les crevettes selon les stages juvéniles (J), sub-adultes (Sa) et adultes (A). On a retenu dans cet exemple trois type d'exploitation : chalutiers-congélateurs (PI), chalutiers artisans (PA) et filets maillants *periky* (PT).

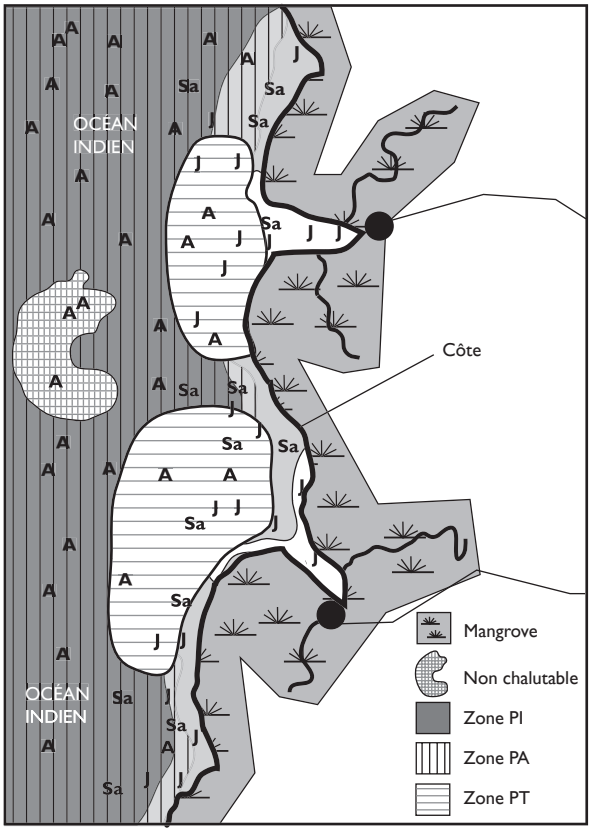


Fig. 140
Interaction des distributions spatiales de la ressource et de différents types d'exploitation. (J : juvéniles, Sa : sub-adultes, A : adultes, PI : chalutiers-congélateurs, PA : chalutiers artisans, PT : filets maillants periky).

Cette figure montre les zones de superposition spatiale entre types d'exploitation, ainsi que les contraintes limitant les zones respectives de ces derniers. La pêche traditionnelle est limitée par la distance aux points de débarquement : elle ne peut donc accéder à la totalité de la surface de répartition de la ressource[57].

L'accessibilité des UP industrielles est limitée, quant à elle, par la nature des fonds et le tirant d'eau des navires. Plus les crevettes sont âgées, plus elles tendent à séjourner dans la zone accessible à la pêche industrielle. Cependant, le gradient de répartition en fonction de l'âge des crevettes n'est pas régulier et des crevettes d'âges différents peuvent être présentes dans la même zone.

57. Les UP traditionnelles ne sont pas motorisées à Madagascar. Leur motorisation (cas de pêcheries ouest-africaines à partir des années 1970) conduirait à une toute autre répartition spatiale des différents types d'exploitation dans la pêcherie crevettière malgache. Le désenclavement côtier conduirait à des conséquences similaires.

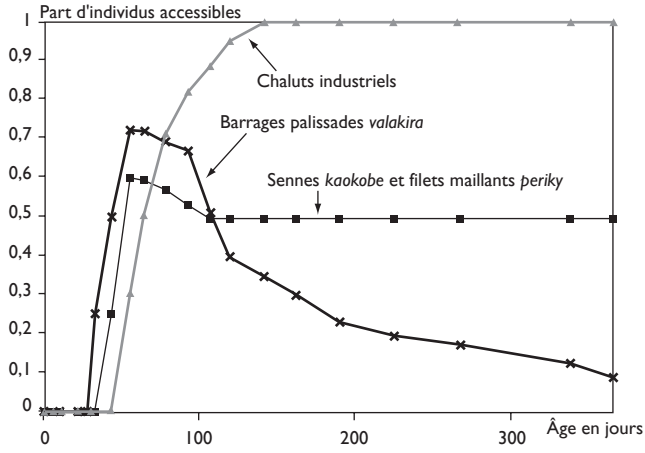


Fig. 141
Courbes d'accessibilité pour F. indicus *pour trois engins de pêche.*

Ce phénomène peut être représenté sous la forme d'une fonction d'accessibilité qui, pour chaque espèce, donne le pourcentage de crevettes accessibles, en fonction de leur âge[58], aux différents types d'exploitation.

Dans la figure 141, on considère que les jeunes crevettes sont particulièrement vulnérables aux barrages palissades *valakira* à leurs stages juvénile et subadulte. Les crevettes adultes quittent rapidement les zones d'estuaires et de mangroves où opèrent ces engins (phénomène de réforme). Les filets *periky* et les sennes *kaokobe* visent plutôt les sub-adultes et adultes et ne connaissent pas un phénomène de réforme aussi accentué. Par contre, la part de la ressource accessible est toujours limitée par la contrainte de distance aux points de débarquement de la pêche traditionnelle. Les chalutiers-congélateurs visent des crevettes plus âgées et on considère dans cet exemple que 100 % des crevettes d'un certain âge finissent par être accessibles à ce type d'exploitation.

L'accessibilité des crevettes est obtenue au moyen de l'équation :

$$\mathbf{Access}_{xi\,c_t} = \mathbf{Acc}_{xi}(\mathbf{age}_{c_t}) \cdot \mathbf{Cmaccess\ i}_{x\,i\,mois} \quad (18)$$

où $\mathbf{age}_{c_t} = \mathbf{t}\text{-}\mathbf{t}_r + \mathbf{a}_r$ et $\mathbf{Acc}_{xi}$ est la fonction d'accessibilité de l'espèce i pour l'engin du type d'exploitation x pour une zone donnée. On peut prendre en compte la variation saisonnière de l'accessibilité en multipliant sa valeur moyenne par un coefficient mensuel $\mathbf{Cmaccess\ i}_{x\,i\,mois}$ de moyenne annuelle égale à 1. La crevette *F. indicus* est considérée comme plus accessible durant les 4 à 5 premier mois de pêche en raison de son comportement grégaire. L'accessibilité de *M. monoceros* augmente par contre dans la seconde moitié de la campagne de pêche.

Dans le modèle on a introduit une autre différence significative dans l'accessibilité des deux espèces de crevettes. *F. indicus* est accessible à l'ensemble des

58. On aurait pu aussi introduire une fonction d'accessibilité en fonction de la taille.

types de pêches tandis que *M. monoceros* n'est accessible qu'aux types d'exploitation industriels[59].

Prise en compte de la contrainte de capacité instantanée de capture dans le calcul de la capturabilité

Les UP industrielles ont une capacité immédiate de capture limitée par la nécessité de trier et de conditionner le produit à bord. Pour chaque type de pêche est définie une capacité maximale de capture par jour $\mathbf{CapMax}_x$ qui rend compte de cette contrainte. Cette contrainte joue essentiellement pour les unités industrielles, notamment celles qui pratiquent le conditionnement à bord des prises.

La capturabilité potentielle **qpot** est celle qui serait obtenue en l'absence de saturation de cette contrainte :

$$\mathbf{qpot}_{xc_t} = \mathbf{PS}_x \cdot \sum_{is} (\mathbf{Sélect}_{xics_t} \cdot \mathbf{Access}_{xic_t}) \quad (19)$$

La prise potentielle instantanée $\mathbf{ypotbat}_{x_t}$ par bateau est obtenue à partir de l'équation de capture (9) où **F** est calculé à partir de la capturabilité potentielle **qpot**.

Le taux d'utilisation de la capacité de capture d'un navire est défini comme le rapport entre sa prise potentielle **ypotbat** et sa capacité maximale **CapMax** :

$$\mathbf{TxUtil}_{x_t} = \mathbf{ypotbat}_{x_t} / \mathbf{CapMax}_x \quad (20)$$

Si $\mathbf{TxUtilz}_{x_t} > 1$, on corrige la capturabilité q en t + 1 en divisant la capturabilité potentielle par le taux d'utilisation en t. Ce décalage temporel est nécessaire pour éviter les difficultés dues à des équations simultanées. On obtient ainsi l'expression finale de la capturabilité.

Si $\mathbf{TxUtilz}_{x_t} <= 1$, alors la capturabilité effective est égale à la capturabilité potentielle.

$$\mathbf{q}_{zxisc_t} = \mathbf{qpot}_{zxisc_t} / \mathbf{txUtil}_{zx_{t-1}} \ \mathbf{si\ txUtil}_{zx_{t-1}} > 1 \quad (21)$$
$$= \mathbf{qpot}_{zxisc} \ \mathbf{autrement}$$

Ressources et captures accessoires en poissons

Les captures de poissons peuvent contribuer significativement aux revenus de certains types de pêche et doivent donc être prises en compte. Il faut aussi représenter l'impact de la pêche crevettière sur la ressource en poisson et donc sur la biodiversité et sur les types de pêche qui ciblent les poissons. Il n'est cependant pas envisageable de représenter dans un tel modèle la diversité d'espèces de poissons capturés. Elles seront regroupées au sein d'une espèce générique « poisson » dont la dynamique sera représentée au moyen du modèle synthétique de SCHAEFER (1954). Cette modélisation est présentée ici pour une zone, les stocks de poisson par zone étant supposés, comme ceux de crevettes, indépendants.

59. Les statistiques de captures traditionnelles n'indiquent pas de présence significative de *M. monoceros*. Ceci peut être dû au comportement nycthéméral de l'espèce qui la rend vulnérable la nuit, alors que la pêche traditionnelle se pratique essentiellement de jour au large.

La variation instantanée de la biomasse de poisson dBP/dt par zone est obtenue au moyen de l'équation logistique (on ignore l'indice zone pour ne pas alourdir les notations) :

$$dBP/dt = rp \cdot BP_t \cdot (1 - BP_t / KP) - [(\sum_x qp_{x_t} \cdot E_{x_t} \cdot BP_t) + (qpp \cdot EP_t \cdot BP_t)] \quad (22)$$

Le premier terme de l'équation représente la croissance naturelle nette du stock de poissons ; le second, entre crochets, la capture exercée par la pêche. rp est le taux de croissance intrinsèque du stock, KP la capacité de charge, qpp la capturabilité et EP l'effort des UP poissonnières[60], qp_x la capturabilité des poissons et E_{x_t} l'effort nominal par le segment crevettier *x*.

La capture de poisson par le segment crevettier est égale à :

$$cP_t = qp_{x_t} \cdot E_{x_t} \cdot BP_t \quad (23)$$

La capture cumulée de poisson par les UP crevettières par segment est obtenue par intégration :

$$CP_x = \int_{t_o}^{t_{max}} cP_{x_t}\, dt \quad (24)$$

Il reste maintenant à déterminer la part de poisson conservé à bord par segment $ConsPois_x$. On a fait l'hypothèse que l'objectif des pêcheurs est de remplir leur cale en priorité de crevettes. Ils rejettent donc tous les poissons quand les rendements immédiats observés en crevettes permettent de remplir la cale au cours d'une marée. Quand ces rendements sont insuffisants pour remplir la cale au cours d'une marée, la capacité inutilisée en crevette sert à conserver le poisson capturé[61].

Les prises accessoires dans la simulation de référence

La représentation des captures accessoires constitue l'un des « points faibles » du modèle et on est ici loin d'atteindre dans la simulation de référence le « réalisme » retenu pour la crevette. On ne dispose pas en effet d'informations précises sur le potentiel et les caractéristiques biologiques des espèces accessoires. La modélisation de ces ressources est donc introduite *a minima* pour représenter le rôle des ressources en poissons comme complément de revenu, ainsi que le comportement de rejet de poissons. Par contre, elle ne prétend pas représenter de façon réaliste la dynamique des ressources en poisson ni même les captures.

On retiendra ici l'exemple de la zone C. On considère que la ressource en poisson a une capacité de charge (KP) de 40 000 tonnes. Les captures par les différents types de pêche crevettière s'élèvent à 23 700 tonnes se répartissant entre pêche industrielle (17 000 tonnes), artisanale (4 000 tonnes) et traditionnelle (2 700 tonnes). Pour les segments industriels, les rejets s'élèvent à 7 000 tonnes.

60. On désigne ici les UP dont l'espèce cible principale est le poisson, et qui n'appartiennent donc pas aux segments de pêche crevettiers.

61. Afin de ne pas alourdir plus ce texte, les équations décrivant le comportement de rejet en poisson ne seront pas explicitées ici.

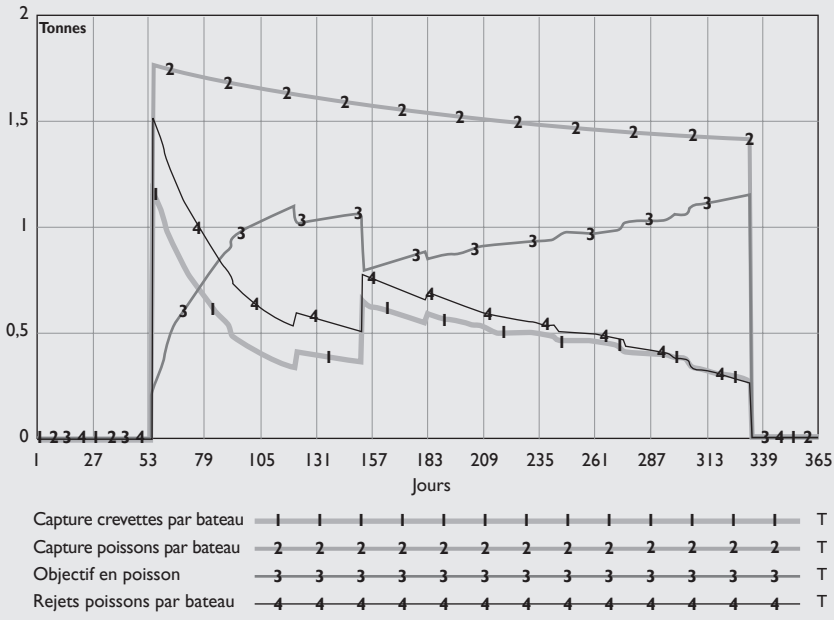


Fig. 142
Comportement de rejets de poissons : exemple des chalutiers-congélateurs en zone C.

La figure 142 illustre le comportement de captures et de rejets de poissons d'un chalutier. Les prises quotidiennes de crevettes (courbe 1) et poissons (courbe 2) sont déterminées par l'abondance de la ressource et l'effort de pêche global au sein de la zone. En fonction de sa capacité de cale (43 t), de la durée maximale de marée (30 jours) et de sa prise quotidienne en crevette, l'UP a un objectif de captures en poisson (courbe 3) qui lui permet de remplir sa cale, en complément de la crevette, au cours de la marée. Dans cet exemple la capture effective de poisson est toujours supérieure à l'objectif en poisson ; et la différence est rejetée (courbe 4) ; dans le cas contraire la capture effective en poisson aurait été intégralement conservée.

Dynamique de l'activité de pêche

La pêcherie est ouverte durant la période comprise entre les dates d'ouverture et de fermeture annuelles (**Dateouv** et **Dateferm**) spécifiées par segment et en dehors de deux périodes de fermeture intermédiaire possibles[62].

L'état d'ouverture ou de fermeture par segment de pêche est représenté par une variable binaire **Pêcherie_Ouverte**.

$\mathbf{Pêcherie_Ouverte}_{x_t}$ = 1 si t ∈ [$\mathbf{Dateouv}_x$, $\mathbf{Dateferm}_x$[(25)
et t ∉ [**fpériod1, opériod1**] et t ∉ [**fpériod2, opériod2**]
= 0 autrement

62. On a retenu la possibilité de deux fermetures intermédiaires possibles, ce qui semble raisonnable dans le contexte de gestion actuel de la pêche ; rien ne s'oppose techniquement à augmenter le nombre de fermetures.

où **fpériod1**, **fpériod2**, **opériod1** et **opériod2** sont les dates de fermeture et de réouverture intermédiaires possibles, c'est-à-dire en cours de campagne de pêche.

Dans ce modèle, le seul changement possible de l'activité de pêche concerne les effectifs d'UP actives $\mathbf{Batact}_{xt}$, égal au nombre initial d'UP $\mathbf{Batautor}_x$, multiplié par le taux d'activité $\mathbf{txAct}_x$ également spécifié en début de simulation. Lorsque la pêche est fermée pour un segment, ses UP sont inactives et elles ne peuvent pas être transférées dans un autre segment. Cette hypothèse est vérifiée pour la pêche industrielle où les UP ne sont pas autorisées à changer de zone et ne peuvent modifier leurs techniques de pêche. Pour la pêche traditionnelle on n'observe pas de migrations entre zones, par contre il est possible que des reconversions d'un type d'exploitation à un autre puissent s'opérer à court terme, on ne dispose cependant pas d'informations suffisante pour modéliser ce phénomène[63].

$$\mathbf{Batact}_{x_t} = \mathbf{Batautor}_x \cdot \mathbf{txAct}_x \;\; \textbf{si Pêcherie_ouverte}_{x_t} = 1 \quad (26)$$
$$= \mathbf{0\ autrement}$$

On a introduit la possibilité de régulation endogène de l'effort de pêche au sein d'une simulation[64]. On a défini deux mécanismes de régulation pouvant induire une variation du nombre d'UP actives au sein d'un segment. Après variation, ce nombre reste compris entre le nombre initial d'UP autorisées et 1.

La première régulation se déclenche en cas de variation du résultat net d'exploitation (**RNE**) par UP moyenne au sein d'un segment. Elle s'opère après un délai **délaiRne** fonction du temps d'appréciation des décideurs. Une baisse (hausse) du RNE entre les temps t-**délaiRne** et t induit une diminution (augmentation) des UP actives au sein du segment en t + 1.

La seconde vise à réduire l'effort de pêche lorsque la proportion de petites crevettes dans les captures est trop importante. Le nombre d'unités actives diminue (augmente) lorsque la part des crevettes *F. indicus* d'un calibre entier supérieur ou égal à 60 ou celles des *M. monoceros* d'un calibre supérieur ou égal à 80 est inférieure (supérieure) à un seuil prédéterminé. Cette régulation se déclenche aussi avec un délai représentant le temps nécessaire à l'appréciation de la structure des prises.

Le premier type de régulation n'est pas irréaliste puisqu'au cours des années récentes, les armements industriels opérant au sein d'une zone donnée se sont coordonnés pour réduire leur activité lorsque les résultats de la pêche étaient mauvais. Le second type de régulation proposé n'est pas observé dans la réalité, il s'agit pourtant, nous semble-t-il, d'un mode de gestion à court terme qui pourrait être proposé dans les pêcheries crevettières, où la structure des prises par taille est l'un des facteurs importants de la rentabilité des UP.

63. Pour un exemple de modélisation des reconversions entre types de pêche au sein de pêcheries traditionnelles, on peut consulter le travail de PECH *et al.* (2001).

64. Ces mécanismes de régulation ne sont activés que si cette option est choisie au départ de la simulation.

Simulation d'une régulation endogène du nombre d'unités de pêche

Dans l'exemple suivant on simule les conséquences d'une régulation endogène de l'effort de pêche industriel et artisanal basé sur la composition par taille des captures de crevettes. La régulation consiste en une variation quotidienne de - ou + 10 % du nombre d'UP actives lorsque la part, dans les captures instantanées, de petites crevettes (*F. indicus* de calibre entier supérieure à 60 ou de *M. monoceros* de calibre supérieur à 80) est supérieure (ou inférieure) à 60 et 70 % respectivement. Les effectifs des segments restent bornés par le nombre initial d'UP autorisées et un nombre minimal égal à 1. Enfin, la régulation se déclenche cinq jours après le dépassement de ces seuils. La figure 143 présente l'évolution de la flottille industrielle et artisanale en zone C avec et sans régulation. Dans cet exemple, l'effectif de chalutiers-congélateurs ne revient pas à son maximum car une augmentation de 10 % à partir du jour 160 conduirait à dépasser le maximum autorisé.

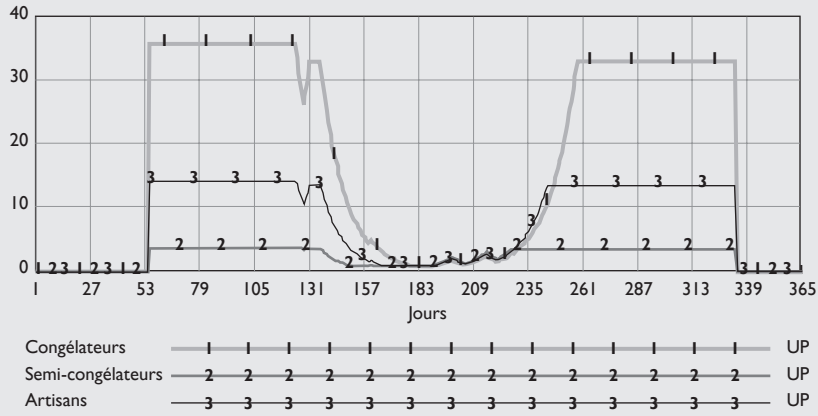


Fig. 143
Dynamique de l'effectif de la flottille avec une régulation endogène.

La régulation conduit à une réduction très importante du nombre d'UP en milieu de campagne. On peut voir sur la figure 144 l'impact de la régulation sur la biomasse en crevettes toutes espèces, ainsi que sur les captures cumulées de la zone C. Il y a une forte augmentation de biomasse en milieu de campagne, ainsi qu'un effet positif en fermeture. La capture cumulée totale de la zone est sensiblement identique dans les deux cas. Par contre, on observe que la répartition de la capture dans le temps est nettement différente à partir du milieu de la saison de pêche, où la régulation conduit à une réduction de la capture puis à son augmentation dans la dernière période. Nous n'abordons pas ici les conséquences économiques de la régulation, dont on peut attendre qu'elles seront non négligeables en raison de la réduction des coûts pour la pêche industrielle et de la modification de la structure des prises.

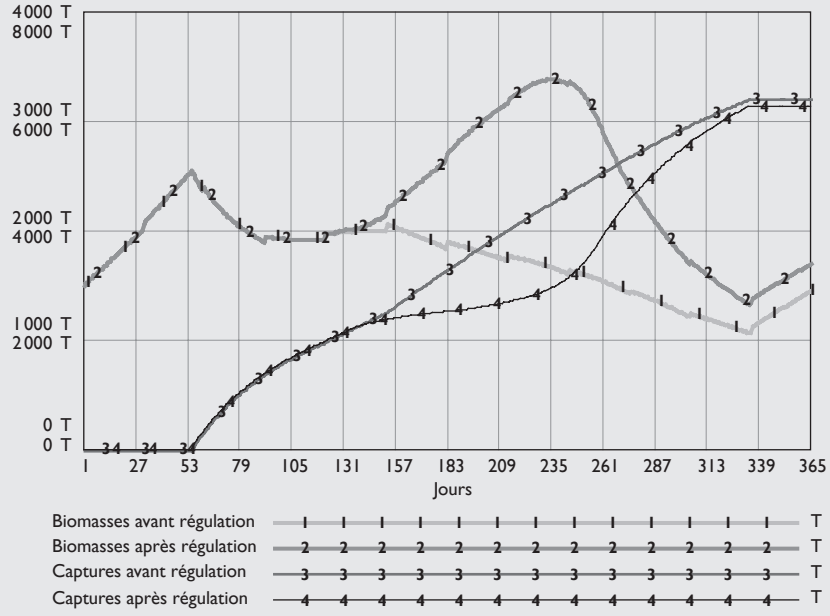


Fig. 144
Impact de la régulation endogène du nombre d'UP sur la biomasse et les prises en zone C.

Les modules économiques

Les variables en valeur sont exprimées en unités monétaires (UM) courantes ou actualisées. Dans le second cas, à chaque pas de temps les variables exprimées en unités monétaires courantes seront multipliées par un facteur d'actualisation **fact** calculé au moyen de la formule suivante où **r** est le taux annuel d'actualisation continu, soit, dans le cas d'une modélisation avec un pas de temps quotidien :

$$\mathbf{fact} = \mathbf{e}^{-[(r/365)\cdot t]} \quad (27)$$

Les activités prises en compte comprennent celles à terre : transformation, stockage sous froid, collecte auprès de la pêche traditionnelle. La transformation consiste essentiellement à trier, étêter, décortiquer et mettre en emballage les crevettes. Le stockage consiste à conserver les crevettes avant la transformation sous chambre froide et avant expédition, en chambre froide et/ou en container frigorifique. Une partie des activités de stockage et de transformation sont considérées comme la simple continuation à terre de l'activité des segments de pêche : leurs coûts seront alors imputés à ces segments et le chiffre d'affaires des segments sera estimé en intégrant la « plus-value » apportée par la transformation et le stockage. On considérera donc que les activités à terre imputées aux segments n'ont pas de chiffre d'affaires propre.

■ Revenus

Pour estimer les revenus des segments de pêche on additionne la valeur des captures de crevettes et celle des prises de poissons conservées à bord. La valeur des prises est calculée à chaque pas de temps. On présentera dans un premier temps le mode de calcul des revenus en crevettes.

Introduction des prix des crevettes

Chaque type d'exploitation x est caractérisé par des paramètres de mise en marché de la crevette : répartition annuelle prédéfinie de ses captures de crevettes par marché de destination (export direct, collecte export, collecte marché intérieur, consommation locale), par zone d'exportation (euro, dollar US et yen) et par mode de conditionnement (HO, HL, décortiqué). Les choix d'exploitation et de valorisation des segments de pêche influent cependant sur le prix *ex post* auquel ils écouleront leurs prises, bien qu'ils soient « price-taker ».

Les prix à l'export FOB, à la collecte export, à la collecte pour le marché intérieur et à la consommation sur le marché intérieur sont spécifiés en début de simulation par espèces *i*, calibre commercial *cal* et mode de conditionnement *cond*. Les prix locaux sont exprimés en UM nationale[65]. Les prix à l'export FOB le sont au départ dans les devises des zones d'exportation, puis convertis en monnaie locale en utilisant les taux de change, ces derniers pouvant rester constants durant la simulation ou au contraire suivre une évolution tendancielle prédéfinie.

Dans la suite des calculs, le prix instantané au kg $\mathbf{P}$ en monnaie locale sera indicé par type d'exploitation *x*, espèce de crevette *i*, sexe *s* et indice de cohorte mensuelle *c*.

Connaissant les paramètres initiaux de mise en marché par segment, exposés précédemment, il est possible de calculer, pour chacun d'entre eux et chaque espèce, un prix moyen pondéré[66] par calibre commercial entier $\mathbf{pcal}_{xical}$.

Connaissant le poids individuel des crevettes par cohorte $\mathbf{W}_{isc_t}$ (en ignorant ici l'indice zone pour ne pas trop alourdir les notations), il est possible de calculer l'évolution du prix au kg, qui accompagne la croissance des individus constituant chacune des cohortes :

$$\mathbf{P}_{xisc_t} = \mathbf{pcal}_{xical} \ \ \mathbf{si} \ \ (1000/\mathbf{W}_{isc_t}) \in]\mathbf{min}_{cal}, \mathbf{Max}_{cal}] \quad (28)$$

où $\mathbf{min}_{cal}$ et $\mathbf{Max}_{cal}$ sont les bornes des calibres commerciaux en crevette entière, exprimés en nombre d'individus.

Enfin, le prix du poisson **PrixPois** est un paramètre exogène défini en UM nationale par zone et type d'exploitation.

65. En ariary depuis 2003.

66. La pondération tient compte de l'importance relative des destinations (export, collecte export, collecte pour le marché local, consommation locale), des zones devises au sein de la destination export (euro, yen, dollar) et des modes de conditionnement (entier, étêté, décortiqué).

Estimation du chiffre d'affaires dans la simulation de base et comparaison avec les résultats de l'Observatoire économique de la pêche crevettière pour 2003

Le modèle estime le chiffre d'affaires total de la pêcherie à 70 milliards d'ariary pour l'année de référence 2003, dont 67 milliards pour les crevettes (50 milliards pour la pêche industrielle). Pour la même année, l'observatoire économique de la filière crevettière, à partir d'enquêtes directes auprès des armements industriels, a estimé leur CA en crevettes à 65 milliards d'ariary. Pour la pêche industrielle, l'estimation du modèle est ainsi inférieure de 23 % à celle de l'observatoire. L'essentiel de la différence provient d'un écart du prix moyen des crevettes, estimé par le modèle à 5 900 ariary/kg contre 7 740 ariary/kg par l'observatoire. Cette différence semble s'expliquer par le recours à des fonctions de croissance des crevettes qui ne permettent pas de simuler ou sous-estiment les captures de gros individus qui sont aussi les plus chers. Cela peut provenir de l'estimation de ces fonctions de croissance qui semble particulièrement délicate pour les crevettes (Rafalimanana et Caverivière, chapitre 3, Caverivière et Razafindrakoto, chapitre 8).

Pour essayer de contourner cette difficulté, on a procédé au test d'une seconde méthode d'introduction des prix des crevettes pour les segments industriels et artisanaux. On a dans un premier temps procédé à une estimation statistique de la relation entre poids individuel W (en utilisant une progression discrète par pas de 5 g) et prix moyen. Ce dernier est la moyenne des prix par calibres en monnaie locale pondérée par destination et mode de conditionnement.

Les résultats de la régression linéaire pour les deux espèces sont les suivants (tests t de Student, sous hypothèse de nullité du paramètre, entre parenthèses) :

F. indicus	$P = 3\,631 + 258 \cdot W$	$R^2 = 0{,}92$	$N = 27$
	(7,24) (17,90)		
M. monoceros	$P = 3\,698 + 181 \cdot W$	$R^2 = 0{,}86$	$N = 27$
	(7,36) (12,49)		

L'usage de cette nouvelle méthode d'introduction des prix, à partir de la relation statistique entre poids individuel et prix, permet d'obtenir un chiffre d'affaires « crevettes » pour le secteur industriel de 59 milliards d'ariary et la sous-estimation par rapport au chiffre d'affaires de l'Observatoire n'est plus que de 9,2 %.

Bien qu'apparemment plus satisfaisant, le recours à cette nouvelle méthode s'avère moins adapté pour la simulation de l'impact de changements sur le marché de la crevette ou du cours des devises, car il suppose de réestimer, à chaque changement des paramètres de mise en marché, la relation statistique entre prix et poids individuel.

Cependant pour la présentation des résultats de la simulation de référence, on retiendra la méthode donnant les résultats les plus proches de ceux de l'observatoire.

Chiffre d'affaires

Le chiffre d'affaires $\mathbf{caC}_x$ instantané en crevettes des deux espèces par segment de pêche est calculé à partir des équations 10 et 28, en gardant ici les indices pour les espèces, sexe et indice mensuel de cohorte (en ignorant l'indice zone) :

$$\mathbf{caC}_{x_t} = \sum_i \sum_s \sum_c (\mathbf{P}_{xisc_t} \cdot \mathbf{y}_{xisc_t}) \quad (29)$$

Le chiffre d'affaires instantané $\mathbf{caP}_x$ en poisson par segment de pêche est égal à :

$$\mathbf{caP}_{x_t} = \mathbf{ConsPois}_{x_t} \cdot \mathbf{PrixPois}_x \quad (30)$$

Le chiffre d'affaires total par segment ($\mathbf{ca}_x$) ou par UP ($\mathbf{cabat}_x$) instantané peut alors être calculé :

$$\mathbf{ca}_{x_t} = \mathbf{caC}_{x_t} + \mathbf{caP}_{x_t} \qquad \mathbf{cabat}_{x_t} = \mathbf{ca}_{x_t} / \mathbf{batact}_{x_t} \quad (31)$$

Le chiffre d'affaires cumulé par segment est alors obtenu par intégration :

$$\mathbf{CA}_x = \int_{t_o}^{t_{max}} \mathbf{ca}_{x_t}\, \mathbf{dt} \quad (32)$$

Le chiffre d'affaires cumulé pour l'ensemble d'une zone est égal à la somme de ceux des segments présents dans cette zone (en introduisant l'indice zone), soit :

$$\mathbf{CA}_z = \sum_x \mathbf{CA}_{zx}$$

Le chiffre d'affaires cumulé de la pêcherie **CAP** est la somme de ceux des segments de pêche et des activités à terre non imputées.

Le chiffre d'affaires des activités à terre non imputées aux segments de pêche est égal à la valeur à l'export des quantités achetées à la pêche traditionnelle par la collecte export, diminuée d'éventuels déstockages sur le marché local. Ceux-ci se produisent lorsque les capacités locales de stockage sont insuffisantes pour accueillir le volume de crevettes en attente d'expédition.

$$\mathbf{CAP} = \sum_z \sum_x \mathbf{CA}_{zx} + \mathbf{CA_activités\ à\ terre\ non\ imputées} \quad (33)$$

■ Les coûts

Spécification des fonctions de coût

Un grand soin a été accordé à la spécification de la fonction de coût de la pêche crevettière et des autres activités au sein de la pêcherie (conservation à terre, stockage à terre, gestion, collecte des produits de la pêche traditionnelle). La réduction des coûts de la pêche apparaît en effet l'une des voies privilégiées pour en améliorer les résultats.

Chaque élément de coût peut avoir une composante variable (dépendant du nombre de jours de mer et/ou des quantités capturées, traitées ou stockées) et/ou fixe (indépendant des facteurs précédents).

Les éléments retenus dans les fonctions de coût comprennent :

– les consommations intermédiaires[67] (**CI**), fixes et variables, avec une nomenclature comprenant 10 postes de « consommables » et 9 postes de « prestations de services ». La répartition entre composantes fixe et variable a été estimée en collaboration avec l'observatoire économique de la filière crevettière, pour chaque élément de la nomenclature ;

– les droits de pêche, fixes, **Redev** ;

– les frais financiers, fixes, **FraisFin** ;

67. Les consommations intermédiaires sont constituées des biens et services détruits ou « consommés » dans le processus de production.

– l'amortissement, fixe, **Amt** ;

– la rémunération du travail et les charges sociales (fixes et variables) ;

– la fiscalité directe (**ImpBénef**, sur les bénéfices des entreprises) et indirecte (**TaxM** sur les importations de consommations intermédiaires directes), variable.

Estimation des coûts par segment de pêche

On considère qu'une part des activités de transformation et de stockage à terre est la continuation directe des activités en mer, les produits restant dans ce cas au sein des mêmes entités économiques. On impute donc leurs coûts aux segments de pêche qui les approvisionnent. Pour ce faire, on calcule (par zone) la part des quantités transformées ou stockées à terre provenant des approvisionnements directs par segment. Les charges variables correspondantes sont alors imputées aux segments de pêche à chaque pas de temps, les charges fixes le sont en fin d'année. À l'inverse, les coûts de stockage et de transformation de produits échangés entre firmes ou collectés auprès de la pêche traditionnelle (PT) ne sont pas imputés à des segments de pêche et seront comptabilisés dans les calculs agrégés pour l'ensemble de la pêcherie. Afin de ne pas allonger l'exposé du modèle, on ne présentera pas ici en détail le calcul des coûts de transformation et de stockage à terre.

Les consommations intermédiaires (CI) par segment

Pour les UP, les paramètres des CI variables (**civarbat**) sont spécifiés par jour de mer, segment et poste de nomenclature (indice nom), à l'exception des postes « carburant lubrifiant » et emballage. Pour ces derniers, les coûts par pas de temps sont le produit des consommations instantanées de carburant (**conscarb**) et de lubrifiant (c**onslub**), et de leurs prix respectifs (**prcarb**, **prlub**)[68]. Leurs prix peuvent varier en cours de simulation car ce sont des intrants en partie importés, donc soumis aux variations du cours des devises dans lesquelles ils sont payés. Le coût de l'emballage est égal au produit du volume de crevettes capturées (**ybat**) par le coût moyen au kg de crevettes des emballages (c**kgemball**). Les CI variables par segment de pêche $\mathbf{civar}_x$ sont alors le produit des CI variables par UP par l'effectif d'UP actives $\mathbf{Batact}_x$ auquel s'ajoutent les CI variables imputées des activités de transformation $\mathbf{civartrans}_x$, stockage, $\mathbf{civarstock}_x$ et gestion $\mathbf{civargest}_x$.

$$\mathbf{civar}_{x_t} = [((\mathbf{prcarb}_{x_t} \cdot \mathbf{conscarb}_x) + (\mathbf{prlub}_{x_t} \cdot \mathbf{conslub}_{zx}) + (\mathbf{ckgemball} \cdot \mathbf{ybat}_{x_t}) + \sum_{\text{nom} \neq \{\text{carb lub,emballage}\}} \mathbf{civarbat}_{x\,\text{nom}}) \cdot \mathbf{Batact}_{x_t}] + \mathbf{civartrans}_{x_t} + \mathbf{civarstock}_{x_t} + \mathbf{civargest}_{x_t} \quad (34)$$

Les CI fixes par segment **CIfix** sont le produit des consommations intermédiaires fixes par bateau **CIfixbat** et du nombre d'unités autorisées **Batautor**, auquel s'ajoutent en fin d'année les charges fixes de transformation, stockage et gestion imputées. On fait l'hypothèse que l'intégralité des charges fixes des UP autorisées est supportée en début de saison de pêche, même si certaines d'entre elles seront inactives en cours de campagne de pêche.

68. Pour alléger les notations on ne mentionne pas ici l'indice z des zones.

$$\mathbf{CIfix}_x = (\mathbf{CIfixbat}x \cdot \mathbf{Batautor}_x) + \mathbf{CIfixtrans}_x + \mathbf{CIfixstock}_x + \mathbf{CIfixgest}_x \quad (35)$$

Les CI cumulées par segment sont la somme des CI fixes et de l'intégrale des CI variables :

$$\mathbf{CI}_x = \mathbf{CIfix}_x + \int_{t_o}^{t_{max}} \mathbf{civar}_{x_t}\, \mathbf{dt} \quad (36)$$

Les $\mathbf{CI}_x$ cumulées par segment peuvent être éclatées par poste de nomenclature de coût (indice *nom*). Il suffit pour cela, dans les calculs précédents, de ne pas les sommer sur l'indice nom ; elles seront alors notées $\mathbf{CI}_{x\ nom}$.

Coût du travail et charges sociales par segment

La rémunération du travail, pour la pêche industrielle (PI), a deux composantes, fixe et variable, qui prennent chacune en compte la qualification du travail utilisé (indice *qualif*) :

• un élément de salaire fixe par pas de temps, perçu à terre comme en mer. Il est fonction du salaire fixe individuel $\mathbf{wfixe}_{x\ qualif}$, de la taille des équipages $\mathbf{équip}_{x\ qualif}$ et du nombre d'UP autorisées $\mathbf{Batautor}_x$[69] ;

• une part de pêche est perçue en supplément du salaire fixe, déterminée par une prime par tonne de crevette ou de poisson ($\mathbf{primecrev}_{x\ qualif}$, $\mathbf{primpois}_{x\ qualif}$).

Enfin, les charges sociales, considérées comme uniquement patronales, sont calculées au moyen d'un taux de charges sociales spécifié par type d'exploitation.

Le coût total du travail des équipages $\mathbf{wéquip}_x$, pour un segment de pêche, sera donc calculé comme suit :

$$\mathbf{Si\ x} \in \{\mathbf{PI}\}$$

$$\begin{aligned}\mathbf{wéquip}_{x_t} = &[\sum_{qualif} (\mathbf{wfixe}_{xqualif} \cdot \mathbf{équip}_{xqualif} \cdot \mathbf{Batautor}_x) \quad (37)\\ &+ [\sum_{qualif} (\mathbf{primcrev}_{xqualif} \cdot \mathbf{ybat}_{x_t} \cdot \mathbf{Batact}_{xt})\\ &+ [\sum_{qualif} (\mathbf{primpois}_{xqualif} \cdot \mathbf{conspois_bat}_{x_t} \cdot \mathbf{Batact}_{x_t})] \cdot (1 + \mathbf{txchargsoc}_x)\end{aligned}$$

Pour la PT ou la PA (pêche artisanale), le système de rémunération est plus simple puisqu'il attribue une part fixe quotidienne individuelle $\mathbf{wfixe}$[70] toute l'année et une part prédéterminée $\mathbf{partca}$ du chiffre d'affaires quotidien à l'équipage en période d'activité.

$$\mathbf{Si\ x} \in \{\mathbf{PA} \cup \mathbf{PT}\} \quad (38)$$

$$\begin{aligned}\mathbf{wéquip}_{x_t} = &[(\sum_{qualif} \mathbf{wfixe}_x \cdot \mathbf{équip}_x \cdot \mathbf{Batautor}_{x_t})\\ &+ (\mathbf{partca}_x \cdot \mathbf{cabat}_{x_t} \cdot \mathbf{Batact}_{x_t})] \cdot (1 + \mathbf{txchargsoc}_x)\end{aligned}$$

69. Il serait aussi envisageable d'introduire une prime basée sur la valeur des prises quotidiennes, et non sur leur volume.

70. Pour la pêche traditionnelle, la composante fixe est nulle, on a cependant préféré garder une formulation commune pour la PA et la PT.

Les coûts d'un segment de pêche (chalutiers-congélateurs de la zone C)

La figure 145 présente la formation sur la période annuelle du coût total d'un segment. Le coût total annuel s'élève à 47 milliards d'ariary. Au jour 1, les coûts fixes liés aux bateaux (y compris les redevances de pêche) sont imputés, soit 23 milliards (49 % du coût total annuel). En fin d'année, sont ajoutés les coûts des activités à terre imputés et la fiscalité sur les bénéfices ou les importations d'intrants, soit 4,4 milliards d'ariary. Les coûts variables sont, pour l'essentiel, fonction du nombre de jours de pêche (partie croissante de la courbe).

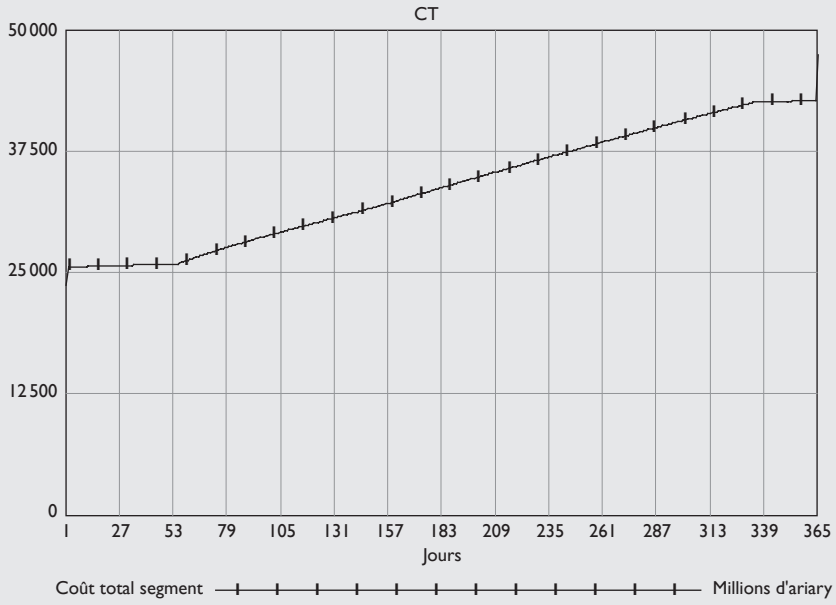


Fig. 145
Formation du coût d'un segment de pêche.

Tableau 51
Exemple de structure de coût d'un segment, le cas des congélateurs en zone C (valeurs exprimées en millions d'ariary).

	Fixes	**%**	**Variables**	**%**	**Total**	**%**
Consommables	2 893	19 %	12 485	81 %	15 383	32 %
dont carburant	267	*3 %*	7 886	97 %	8 154	*17 %*
Prestations de service	13 227	95 %	702	5 %	13 929	29 %
Total CI	**16 120**	**55 %**	**13 187**	**45 %**	**29 312**	**62 %**
Rémunération du travail					6 370	13 %
Frais financiers					483	1 %
Redevances de pêche					3 667	8 %
Taxes à l'importation					209	0 %
Amortissement					7 371	16 %
Impôt sur le bénéfice					0	0 %
Coût total					**47 412**	**100 %**

Les principaux postes de coût sont précisés dans le tableau 51. Les consommations intermédiaires représentent 62 % du coût total, elles se répartissent à peu prêt à égalité entre éléments fixes (55 %) et variables (45 %). Le carburant représente plus de 50 % des CI en consommables et 17 % du coût total. Le coût du travail ne représente que 13 % du coût total, ce qui peut s'expliquer par le niveau salarial faible observé à Madagascar. Par contre, le poste amortissement est relativement élevé (16 %), en raison du coût de renouvellement des embarcations et équipements de pêche.

Le coût total cumulé du travail par segment est égal à l'intégrale du coût instantané du travail pour les unités de pêche plus le coût total du travail des activités de transformation et de stockage imputées (dont on ne présente pas ici le mode de calcul).

$$\mathbf{Wtot}_x = \mathbf{Wtrans}_x + \mathbf{Wstock}_x + \int_{t_o}^{t_{max}} \mathbf{wéquip}_{x_t}\,\mathbf{dt} \quad (39)$$

$\mathbf{Wtot}_x$ est assimilable au revenu brut des ménages[71], issu de la pêche crevettière, pour le segment *x*, en faisant l'hypothèse d'un équilibre des charges et prestations sociales au sein de chaque segment, ce qui implique que les charges sociales sont redistribuées aux ménages durant l'année considérée.

À partir des calculs par segment *x*, la synthèse des coûts s'opère à différentes échelles :

• des UP « moyennes » au sein d'un segment : on divise les résultats par segment par le nombre d'unités de pêche autorisées ou présentes en début d'année ;

• des flottilles, ensemble des unités de pêches relevant d'un même type de pêche pour toutes les zones. Les coûts des flottilles intègrent les coûts de la transformation et du stockage à terre imputés ;

• des zones de pêche : il s'agit des coûts de l'ensemble des segments de pêche opérant au sein d'une même zone ;

• de l'ensemble de la pêcherie : il s'agit alors de la somme des coûts par zones mais aussi des activités de transformation et de stockage non imputées à des segments de pêche et des activités de collecte auprès de la pêche traditionnelle.

■ Résultats économiques

On distinguera les résultats financiers (point de vue des opérateurs économiques privés) des résultats méso ou macro-économiques qui seront estimés au moyen de la méthode des effets (Chervel et Le Gall, 1976 ; Bridier et Michaïlof, 1995).

Résultats financiers

Ils sont présentés sous la forme des soldes intermédiaires et finaux des comptes d'exploitation et seront, dans un premier temps, développés en détail pour les segments de pêche (cf. annexe 3).

71. Les ménages peuvent bien sûr avoir d'autres sources de revenus liés à l'emploi dans d'autres secteurs d'activité, mais qui ne peuvent être pris en compte dans ce modèle.

Résultats financiers : le cas du segment chalutiers-congélateurs de la zone A et de l'ensemble de la pêcherie

La figure 146 montre la formation des résultats financiers pour le segment particulier des chalutiers-congélateurs en zone A dans la simulation de référence. Le point mort (égalité entre CA et coût total) est atteint au jour 130, soit deux mois et demi après l'ouverture. Il faut cependant tenir compte des charges fixes imputées en fin de simulation qui représentent 1,1 milliard d'ariary, soit 12,5 % des charges totales. En fin d'année, la structure des résultats financiers du segment se présente comme suit (en millions d'ariary) :

Chiffre d'affaires :	**11 465**	**100 %**
Coût total (hors amortissement et fiscalité sur les bénéfices)	8412	74 %
RBE	3052	26 %
RNE	1863	16 %
RNE après impôt sur les bénéfices	1305	11 %

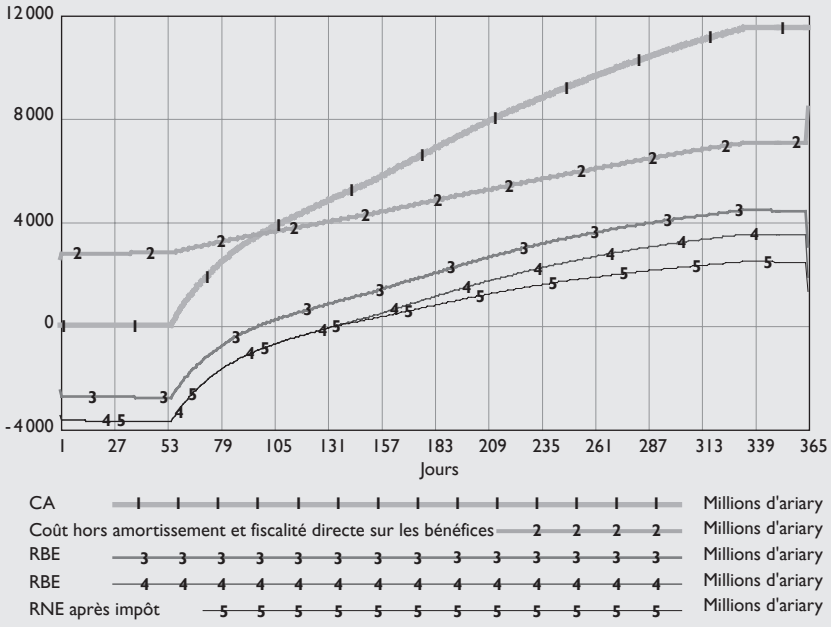


Fig. 146
Formation des résultats financiers pour un segment de pêche.

Les résultats pour l'ensemble de la pêcherie sont présentés sous la forme d'un compte d'exploitation à l'annexe 3. Cette présentation très synthétique fournie par l'« interface utilisateur » du modèle montre que l'ensemble de la pêcherie, du point de vue des opérateurs privés, est proche de l'équilibre puisque le RNE après impôt s'élève à - 1,8 milliard d'ariary, soit - 2 % du chiffre d'affaires total de la pêcherie. Cependant, ce résultat négatif ne s'observe que pour la composante industrielle de la pêcherie. Enfin le résultat brut,

quelle que soit la composante (PI, PA, PT, ou autres activités à terre), s'avère toujours positif et s'élève à 14 milliards d'ariary pour l'ensemble de la pêcherie. La justesse du diagnostic de déficit de la pêcherie repose donc sur la pertinence de la méthode d'estimation de l'amortissement économique qui a été retenue (valeur de remplacement divisée par une durée de vie). Un autre point soulevé à l'examen de ce tableau est celui de l'impôt sur le bénéfice : on observe en effet que des composantes sont redevables de l'impôt en dépit d'un RNE négatif (cas par exemple de la PI). Ce résultat un peu déconcertant a priori s'explique par le fait que la fiscalité sur les bénéfices, dans le modèle, est perçue au niveau des segments de pêche, il suffit donc qu'un seul segment ait un RNE positif pour que la pêcherie apparaisse imposable en dépit d'une situation globale déficitaire.

Le revenu brut d'exploitation **Rbe** par segment est la différence entre le chiffre d'affaires cumulé et la somme des coûts cumulés, autres que l'amortissement et la fiscalité directe sur les bénéfices, soit (en ignorant l'indice zone z) :

$$\mathbf{Rbe}_x = \mathbf{CA}_x - (\mathbf{CI}_x + \mathbf{Wtot}_x + \mathbf{FraisFin}_x + \mathbf{Redev}_x + \mathbf{TaxM}_x) \quad (40)$$

Le revenu net d'exploitation **Rne** est égal à la différence entre revenu brut et amortissement :

$$\mathbf{Rne}_x = \mathbf{Rbe}_x - \mathbf{Amt}_x \quad (41)$$

L'impôt sur les bénéfices est proportionnel au **Rne** si ce dernier est positif en fin d'exercice :

$$\mathbf{Impbénef}_x = \mathbf{Rne}_x \cdot \mathbf{tximpbénef} \quad \text{si } \mathbf{Rne}_x > 0) \quad (42)$$
$$\mathbf{Impbénef}_x = 0 \quad \text{si } \mathbf{Rne}_x \leq 0)$$

Le résultat net d'exploitation après impôt peut alors être calculé à partir des deux équations précédentes :

$$\mathbf{Rne_ap_imp}_x = \mathbf{Rne}_x - \mathbf{Impbénef}_x \quad (43)$$

La rente économique **Rente** est la somme de la rémunération du capital avant impôt et du loyer de la ressource perçu par l'État sous forme de redevances de pêche (**Redev**). On considère que le prélèvement réalisé par l'État au titre de la propriété de la ressource comprend uniquement les redevances, auquel vient s'ajouter la fiscalité sur le bénéfice des firmes exploitantes quand le **Rne** est positif.

$$\mathbf{Rente}_x = \mathbf{Rne}_x + \mathbf{Redev}_x \quad (44)$$

Les mêmes indicateurs de résultats par zone et par flottille sont obtenus par sommation sur les indices z et x. Pour l'ensemble de la pêcherie, les mêmes indicateurs se calculent par sommation des résultats par zone et des résultats des activités à terre non imputées dont nous ne développons pas les calculs dans cette contribution.

Application de la méthode des effets

Principes généraux

La méthode des effets (Chervel et Le Gall, 1976 ; Bridier et Michaïlof, 1995) est un outil d'évaluation de projets ou de décisions économiques qui

Les résultats de la méthode des effets pour la simulation de référence

Le tableau 52 donne une appréciation différente de l'impact économique de la pêche (toujours pour la simulation de référence), si l'on compare avec les résultats financiers exposés précédemment (point de vue des opérateurs privés).

En effet, la contribution à l'économie en termes de valeur ajoutée primaire brute, consistant à prendre en compte la création de valeur ajoutée dans les branches fournisseuses d'intrants, s'élève à 61 milliards d'ariary, soit 22 millions d'euros. Toutes les composantes de la filière contribuent à ce résultat et c'est la pêche industrielle qui a le poids le plus important (72 %) dans la création de la valeur ajoutée primaire. La contribution nette à la balance commerciale (18,4 milliards d'ariary, soit 6,6 millions d'euros) ne représente que 31 % de la valeur des exportations de la filière, en raison de l'importance des intrants importés. Il convient de noter que la contre-performance apparente de la pêche traditionnelle, pour la contribution au commerce extérieur est artificielle. En effet, sa contribution en tant que fournisseuse de matière première au secteur d'exportation est non négligeable mais n'apparaît pas dans la colonne PT, mais au titre des activités à terre non imputées, dont l'activité d'exportation (3,7 milliards d'ariary) provient de la collecte auprès de la PT.

Cependant, si le recours à la méthode des effets permet de mieux apprécier la contribution du secteur crevettier à l'économie nationale, elle peut, si l'on n'y prend garde, conduire à des interprétations, voire à des recommandations peu pertinentes pour la durabilité économique et biologique de la pêcherie. La recherche de la maximisation de la valeur ajoutée primaire peut conduire en effet à proposer un niveau d'effort de pêche bien supérieur à celui qui équilibre les comptes des entreprises, ce qui peut aussi fragiliser la ressource biologique. En effet, toute augmentation d'activité de pêche en situation de surexploitation économique, peut induire, *via* la demande d'intrants locaux, une augmentation de valeur ajoutée indirecte qui compense la dégradation des résultats économiques directs et donc cache la dégradation des résultats des entreprises.

Tableau 52
Résultats de la méthode des effets dans la simulation de référence.

	PI	PA	PT	Sous-total	Activités à terre non imputées	Total Pêcherie
VAN directe	11 345	5 307	3 527	20 180	3 978	24 159
VAB directe	22 678	6 499	3 993	33 170	4 515	37 686
VAB indirecte	21 304	947	83	22 335	1 447	23 782
VAB primaire	43 982	7 446	4 077	55 506	5 962	61 468
Importations incluses	34 799	1 579	351	36 731	1 965	38 697
Exportations	49 130	4 208	0	53 339	3 762	57 101
Contribution nette à la balance commerciale	14 331	2 629	- 351	16 608	1 796	18 404

Unités : millions d'ariary

mesure principalement leur impact en termes de fluctuation directe et indirecte de valeur ajoutée, en déterminant les effets intra-branches par la variation de demande d'intrants locaux. Il s'agit donc d'un outil adapté à l'évaluation des conséquences macro-économiques de décisions d'aménagement de la pêcherie.

Toute décision de gestion ou d'aménagement induit un changement de l'activité de pêche. Ce dernier aura ou non des effets sur la production et sur les exportations de crevettes. Par contre, il implique toujours une variation de demande d'intrants (CI) qui se répartiront en CI locales et CI importées. La différence entre variation de production et des CI totales du secteur est égale à la variation de valeur ajoutée (VA) directe (premier effet direct). La variation de CI locales se décompose en importations incluses et VA indirecte créée par les branches locales fournisseuses d'intrants (effets indirects). La variation de VA primaire sera la somme des changements de VA directe et indirecte. Enfin, l'effet net sur la balance commerciale est le solde des variations d'exportation et d'importations incluses, ces dernières étant la somme des importations de CI par le secteur pêche et de celles des branches locales fournisseuses d'intrants (importations indirectes).

Méthode de calcul des indicateurs de la méthode des effets

La valeur ajoutée directe brute $\mathbf{VABD}_x$ par segment est la différence entre le **CA** (équ. 32) et les **CI** (équ. 36) cumulés (en ignorant l'indice zone z) :

$$\mathbf{VABD}_x = \mathbf{CA}_x - \mathbf{CI}_x \quad (45)$$

La valeur ajoutée nette directe s'obtient en retirant la valeur des amortissements :

$$\mathbf{VAND}_x = \mathbf{VABD}_x - \mathbf{Amt}_x \quad (46)$$

Les consommations intermédiaires locales $\mathbf{CIL}_x$ sont le produit des consommations intermédiaires $\mathbf{CI}_{x\,nom}$ et du taux de contenu en consommations intermédiaires locales $\mathbf{T_xCil}_{x\,nom}$, spécifiés par segment x et poste de nomenclature *nom*.

$$\mathbf{CIL}_x = \sum_{nom} (\mathbf{CI}_{x\,nom} \cdot \mathbf{T_xCil}_{x\,nom}) \quad (47)$$

Les importations directes **IMPdir** sont égales à la différence entre les **CI** et les **CIL** :

$$\mathbf{IMPdir}_x = \mathbf{CI}_x - \mathbf{CIL}_x \quad (48)$$

Les importations indirectes $\mathbf{IMPindir}_x$ sont calculées à partir des **CIL** et de leur taux d'importation par poste de nomenclature ($\mathbf{TxImpIncl}_{x\,nom}$).

$$\mathbf{IMPindir}_x = \sum_{nom} (\mathbf{CI}_{x\,nom} \cdot \mathbf{TxImpIncl}_{x\,nom}) \quad (49)$$

Les importations incluses sont enfin la somme des importations directes et indirectes :

$$\mathbf{IMPincl}_x = \mathbf{IMPdir}_x + \mathbf{IMPindir}_x \quad (50)$$

La valeur ajoutée brute indirecte ($\mathbf{VABI}_x$) est égale à la différence entre les **CIL** et les importations incluses :

$$\mathbf{VABI}_x = \mathbf{CIL}_x - \mathbf{IMPincl}_x \quad (51)$$

On peut désormais calculer la valeur ajoutée brute primaire qui est la somme des valeurs ajoutées brutes directes et indirectes :

$$\mathbf{VABP}_x = \mathbf{VABD}_x + \mathbf{VABI}_x \quad (52)$$

La contribution nette à la balance commerciale $\mathbf{BC}_x$ est la différence entre exportations $\mathbf{EXP}_x$ et importations incluses $\mathbf{IMPincl}_x$

$$\mathbf{BC}_x = \mathbf{EXP}_x - \mathbf{IMPincl}_x \quad (53)$$

Le calcul de ces variables par flottille, zone et pour l'ensemble de la pêcherie s'opère selon les mêmes principes que précédemment.

Revenus disponibles des ménages

Le revenu disponible des ménages par segment est la différence entre les revenus bruts cumulés des ménages issus du segment x et celle de la fiscalité directe prélevée sur ces derniers. On suppose que le taux d'imposition des ménages n'est pas progressif.

$$\mathbf{Revdispmen}_x = \mathbf{Wtot}_x \cdot (1 - \mathbf{txImpmén}) \quad (54)$$

où **txImpmén** est le taux d'imposition des revenus des ménages.

Le revenu disponible des ménages pour l'ensemble de la pêcherie est la somme des précédents et des revenus disponibles retirés des activités à terre non imputées, dont le calcul ne sera pas précisé ici.

Revenus de l'État

Les revenus de l'État **RevEtat** comprennent la fiscalité directe sur les bénéfices des firmes **Impbénéf**, les droits de pêche **Redev**, la fiscalité directe sur les ménages **Impmén** et les taxes sur les intrants importés **TaxM**.

$$\mathbf{RevEtat} = \mathbf{Impbénéf} + \mathbf{Redev} + \mathbf{Impmén} + \mathbf{TaxM} \quad (55)$$

Emploi

L'emploi total est comptabilisé en hommes-jours standard. Il comprend :

- l'emploi des équipages en mer, dénommé « emploi bord » ;
- l'emploi dans les activités de stockage, transformation et gestion à terre (l'effectif de cette dernière étant donné au départ de la simulation).

Une question délicate est celle de la prise en compte ou non des membres d'équipage quand les bateaux sont considérés comme inactifs. Pour la PI et la PA, dans la mesure où les pêcheurs continuent de percevoir la composante fixe de leur rémunération et sont employés à des tâches d'entretien des navires ou de préparation des marées, il semble logique de les prendre en compte. Par contre, pour la PT, seuls les jours de travail en mer effectifs sont retenus.

$$\begin{aligned}
\mathbf{EmploiBord}_x &= \int_{t_0}^{t_{max}} \left(\sum_{qualif} \mathbf{équip}_{x\ qualif} \cdot \mathbf{Batautor}_x\right) dt \quad \text{si } x \in \{\mathbf{PI}\} \quad (56)\\
&= \int_{t_0}^{t_{max}} (\mathbf{équip}_x \cdot \mathbf{Batautor}_x) dt \quad \text{si } x \in \{\mathbf{PA}\}\\
&= \int_{t_0}^{t_{max}} (\mathbf{équip}_x \cdot \mathbf{Batact}_x) dt \quad \text{si } x \in \{\mathbf{PT}\}
\end{aligned}$$

Formation des revenus de l'État dans la simulation de référence

Les redevances de pêche constituent la majeure partie des revenus (54 %) apportés à l'État par l'exploitation crevettière, ils proviennent essentiellement de la PI. Les impôts sur les bénéfices des sociétés sont la deuxième contribution sectorielle au budget de l'État (27 %), suivis de la fiscalité sur le revenu des ménages (15 %) et les taxes à l'importation (4 %). Les redevances de pêche sont insensibles au résultat de l'activité, tandis que la fiscalité sur les entreprises, et, mais dans une moindre mesure, celle sur les ménages, dépendent des bons résultats du secteur. La recherche d'une sécurisation immédiate des revenus publics incite donc l'administration à privilégier les recettes au titre des redevances, et donc à ne pas réduire le niveau d'activité de la pêcherie par une réduction de flottille. Du point de vue de l'État, si celui-ci vise la garantie de ses ressources budgétaires, une mesure de réduction du niveau d'activité ne serait possible, à court terme, qu'accompagnée par une hausse compensatoire des redevances de pêche. Enfin, il est intéressant de constater que, dans la situation de référence, les revenus bruts de l'État représentent 12 % du CA de la pêcherie, qui peuvent être comparés au RBE du secteur privé qui représente 15 % du CA de la pêcherie. Une comparaison plus pertinente supposerait de simuler les revenus nets de l'État, en intégrant les dépenses publiques supportées au titre de la gestion et du soutien du secteur, information dont nous ne disposons pas.

Tableau 53
Revenus de l'État.

	PI	PA	PT	Activités non imputées	Total
Redevances de pêche	5 858	65	0	0	5 923
Impôt sur les bénéfices	1 189	973	0	884	3 046
Impôts sur les revenus des ménages	1 248	277	0	143	1 668
Taxes à l'importation sur les CI directes	362	10	5	31	408
Recettes publiques totales	8 657	1 325	5	1 058	11 045

Unités : millions d'ariary

L'emploi dans les activités de stockage (**Emploistock**) et de transformation à terre (**Emploitrans**), estimé par zone z, est la somme des emplois temporaires (fonction des flux de produits traités et stockés), et des emplois permanents. L'emploi des unités de gestion (**Emploigest**) est spécifié comme paramètre exogène.

L'emploi total de la pêcherie (**Emploi**) est obtenu par sommation des éléments précédents :

$$\mathbf{Emploi} = \sum_{x} \mathbf{EmploiBord}_{x} + \sum_{z} [\mathbf{Emploitrans}_{z} + \mathbf{Emploistock}_{z} + \mathbf{Emploigest}_{z}] \quad (57)$$

Indicateurs de durabilité de la pêcherie

Pour effectuer des comparaisons de scénarios d'exploitation et de gestion, on a procédé à un choix raisonné d'indicateurs regroupés par grands domaines de la problématique du développement durable : économique, social et écolo-

gique. Des points importants sont le respect du principe de parcimonie et la non-redondance des indicateurs[72]. Les indicateurs retenus figurent dans le tableau 54, ainsi que leur valeur dans la simulation de référence.

Cinq indicateurs concernent la dimension économique. La création de richesse totale est représentée par la rente économique. Trois indicateurs macro-économiques complémentaires sont relatifs aux effets directs et indirects sur l'économie nationale (taux de valeur ajoutée primaire), à la contribution nette aux revenus publics (recettes de l'État obtenues à travers les redevances, la fiscalité directe et indirecte) et enfin à la contribution nette à la balance commerciale (exportations moins les importations directes et indirectes). Enfin, deux indicateurs traitent de la création de richesse en faveur de catégories particulières d'acteurs. Tout d'abord, les entrepreneurs des sous-secteurs industriels et artisanal, qui constituent un ensemble relativement homogène (représenté par le GAPCM), pour lesquels l'indicateur le plus adapté est le résultat net d'exploitation après impôt, qui peut aussi être interprété comme la rémunération nette de la propriété du capital.

La dimension sociale est représentée au moyen de quatre indicateurs. Le premier est relatif au revenu des ménages du sous-secteur de la pêche traditionnelle, dont la promotion répond aux objectifs de réduction de la pauvreté et d'une meilleure équité dans la répartition de la richesse créée par l'exploitation de la ressource crevettière. L'équité dans la répartition des revenus est abordée de façon plus explicite par le deuxième indicateur relatif à la justice économique mesurée par la part des revenus nets des ménages (des trois sous-secteurs) dans la valeur ajoutée nette directe. L'emploi constitue l'un des principaux objectifs sociaux de la gestion des pêches : il est pris en compte par l'indicateur emploi total, exprimé en homme-jours et non pas en nombre de personnes employées dans la mesure où le taux d'activité peut varier dans le temps et/ou selon les sous-secteurs. Un dernier indicateur social est relatif à la répartition des revenus des ménages entre zones urbaines (où se concentrent les activités de pêche industrielle et artisanale) et rurale (où se pratique l'essentiel de la pêche traditionnelle), on considère ici qu'une répartition plus favorable aux régions rurales fait partie des objectifs poursuivis dans le domaine social.

La dimension écologique est représentée par un ensemble plus restreint de trois indicateurs. Tout d'abord, un indicateur d'impact général de la pêche industrielle sur l'environnement marin, mesuré par le nombre de jours de chalutage. On considère ici que cet indicateur est représentatif des impacts sur les composantes abiotiques (habitats) et biotiques (espèces cibles et accessoires, autres espèces présentes sur les lieux de pêche), des écosystèmes concernés par la pêche industrielle crevettière. La durabilité de la ressource en poisson est représentée par un indicateur égal au rapport entre la biomasse de poisson en fin d'année et celle correspondant à la production maximale soutenue (KP/2) ; une valeur inférieure à 1 indiquera une surexploitation biologique.

72. Le danger de redondance des indicateurs est lié au risque de biais d'analyse en utilisant des indicateurs corrélés et en augmentant donc de façon cachée le poids accordé à l'axe de signification auquel ils se réfèrent.

Tableau 54
Synthèse des résultats de la simulation de référence au moyen d'indicateurs de durabilité.

Dimensions	Indicateurs	Variable du modèle	Valeur dans la simulation de référence
Économique	La rente économique totale de la pêcherie	**Rente**	7 milliards ariary
	Les recettes publiques totales nettes obtenues de la pêcherie	**RevEtat**	11 milliards ariary
	Le taux de VAB primaire	**VABP/CA**	0,67
	La contribution nette de la pêcherie à la balance commerciale	**BC**	18,4 milliards ariary
	La rémunération des entrepreneurs pour l'ensemble des segments de pêche industriel et artisanal	**RNE_ap_imp**	- 2,2 milliards ariary
	La rémunération brute des ménages pour l'ensemble des segments de pêche industriels et artisanal	$\sum_x \mathbf{Wtot}_x$ $x \in \{\mathbf{PA} \cup \mathbf{PI}\}$	11,1 milliards ariary
Sociale	La rémunération des ménages du secteur traditionnel	$\sum_x \mathbf{Wtot}_x\ x \in \{\mathbf{PT}\}$	3 milliards ariary
	L'emploi total dans la pêcherie	**Emploi**	2 millions d'hommes-jour
	La justice économique redistributive estimée par la part du revenu disponible des ménages dans la valeur ajoutée nette directe		0,56
	Équilibre entre activités urbaines et rurales « traditionnelles », représenté par le rapport du secteur traditionnel/revenus des ménages des secteurs PI et PA		0,27
Écologique	Le rapport entre biomasse de poisson en fin de simulation et la biomasse correspondant à la production maximale équilibrée	**BP/(KP/2)**	1,039
	L'impact de la pêche industrielle sur l'environnement marin mesuré par le nombre de jours de chalutage industriel	$\int \mathbf{Batact}_{x_t} \cdot \mathbf{Hc}_x \mathbf{dt}$	15 600 jours
	La biomasse féconde de crevettes en fin de simulation (sur l'ensemble des cohortes)	**BF**	286 tonnes

Quelques exemples de simulations de politiques de pêche

Ce modèle a déjà été utilisé pour produire des scénarios de gestion (Chaboud, 2001, 2003, 2005 a). Nous présenterons ici quelques exemples de scénarios mettant en œuvre des mesures de gestion de l'effort de pêche, le contrôle de cette dernière variable restant l'un des moyens les plus couramment utilisés dans la régulation des pêcheries crevettières. Nous avons choisi les quatre scénarios suivants :

– report d'un mois de la date d'ouverture de la pêcherie, soit une réduction générale de l'effort de la flottille industrielle (scénario 1), les autres flottilles restant inchangées ;

– réduction du taux d'activité des UP industrielles (scénario 2) à 0,71, ce qui équivaudrait à un jour d'arrêt par semaine ; le taux d'activité initial étant de 0,8 ;

– augmentation du maillage des chaluts industriels (scénario 3), L_{50} passant de 21,4 à 23 mm ;

– réduction de 20 % de l'effort de pêche industriel (scénario 4) par retrait de 20 % des unités de pêche, toutes choses égales par ailleurs.

Les résultats des différents scénarios, exprimés avec les indicateurs présentés au paragraphe précédent, figurent dans le tableau 55.

L'examen des résultats montre qu'au sein des trois scénarios à flotte industrielle inchangée (scénarios 1 à 3), c'est la réduction de la saison de pêche (scénario 1) qui est la plus efficace en termes de résultats économiques, tant financiers (revenus nets des entrepreneurs) que macro-économiques (rente, taux de valeur ajoutée, recettes publiques, impact sur la balance commerciale). Elle paraît par contre moins performante pour l'emploi ou la justice économique, ce dernier point s'expliquant par l'inégale redistribution des gains supplémentaires. Elle n'apporte pas de changements notables pour la biomasse féconde de crevettes en fin de saison, ou pour la ressource en poisson. Les bons résultats économiques s'expliquent par les gains permis par la réduction de 6,5 % de coûts variables proportionnels à la réduction du nombre de jours de mer, par la croissance du chiffre d'affaires en crevettes (+ 6 %) provenant d'une légère amélioration des captures totales (+ 1,6 %), mais surtout d'une croissance du prix moyen (+ 4,6 %) suite au changement de la structure par taille des crevettes.

Tableau 55
Résultats de simulations de différentes mesures de réduction de l'effort de pêche.

	Scénarios				
	Base	1	2	3	4
Rente (10^9 ariary)	7	12	6,4	7,4	13,6
Taux VAB primaire	0,68	0,70	0,68	0,68	0,71
Recettes publiques (10^9 ariary)	11	11,9	11	11,1	10,3
Balance commerciale (10^9 ariary)	18,4	23,6	19,7	19,3	24
Revenus entrepreneurs PI et PA (10^9 ariary)	- 2,3	1,6	- 3,1	- 2,1	4,6
Revenus ménages secteurs PI et PA (10^9 ariary)	11 121	11 153	11 182	11 202	10 623
Revenus ménages secteur traditionnel	3 017	3 068	3 205	3 119	3 289
Emploi – (10^3 hommes-jours)	2 031	1 924	2 029	2 030	1 912
Justice économique	0,52	0,43	0,54	0,51	0,41
Équilibre urbain rural	0,27	0,28	0,29	0,28	0,31
Biomasse féconde crevette (t)	286	288	325	326	360
Biomasse poisson / Biomasse au MSY	1,04	1,06	1,07	1,04	1,08
Impact environnement – (10^3 j. de chalutage)	- 15,6	- 13,9	- 13,8	- 15,6	- 12,5

La simple réduction du taux d'activité des UP industrielles (scénario 2) conduit à une baisse des résultats économiques de ce secteur : les pertes en capture (- 0,8 %) ne sont pas compensées par une amélioration suffisante du prix pour maintenir le niveau du chiffre d'affaires. La réduction des profits n'est pas accompagnée d'une baisse similaire des revenus des ménages, ce qui conduit à une amélioration de l'indicateur de justice économique. Enfin, la pêche traditionnelle tire profit des moindres résultats des autres secteurs, ce qui conduit à améliorer l'équilibre entre activités rurales et urbaines. Les gains les plus significatifs concernent la dimension environnementale.

Le simple changement de maillage (scénario 3) apparaît plus performant économiquement que la mesure précédente, mais n'apporte pas de gain significatif par rapport à la simulation de référence. Seul l'indicateur relatif à la ressource crevettière connaît une amélioration.

Le scénario (4) de réduction de 20 % des effectifs de la flottille industrielle est, de loin, celui qui obtient les meilleurs résultats. L'ensemble des indicateurs économiques, à l'exception des recettes publiques, connaît une amélioration en raison de la réduction des coûts (- 9,7 %), alors que le chiffre d'affaires n'est réduit que de 2 %. À la différence du scénario 1. Les coûts sont désormais également réduits dans leur composante fixe. La réduction des coûts, et donc des importations d'intrants, a un impact positif sur la contribution à la balance commerciale. Le seul indicateur économique en recul concerne les recettes publiques en raison de la baisse des redevances qui sont proportionnelles à la taille de la flottille assujettie, ce qui n'est pas négligeable du point de vue de l'État. De plus, ce scénario a des résultats plus mitigés pour la dimension sociale : les revenus des ménages des secteurs modernes ou traditionnels augmentant, mais moins que ceux des entrepreneurs, ce qui induit une diminution de l'indicateur de justice économique. De même, l'emploi connaît une réduction liée de façon mécanique à celle de la flottille. La réduction de la flottille a un impact positif sur l'ensemble des indicateurs de soutenabilité écologique.

Cet exemple montre la capacité du modèle à contribuer à la discussion de politiques de pêche. Il permet ainsi de mettre en relief la diversité des impacts des décisions possibles, qui renvoie à celle des objectifs poursuivis et des points de vue. Ceci peut cependant aussi être considéré comme une limite du modèle dans sa capacité à clarifier la vision des décideurs. L'aide multicritères à la décision (Roy, 1995 ; Ben Mena, 2000 ; Mardle et Pascoe, 1999) peut alors être d'un apport considérable dans une telle situation où, un ou des décideurs prennent en compte plusieurs critères (parfois conflictuels) pour juger de l'intérêt des différentes alternatives possibles. Un module d'analyse multi-critères a ainsi été développé et intégré en complément du modèle au sein de son interface utilisateur, pour des raisons de concision nous ne l'exposerons pas ici (Chaboud, 2004).

Analyse de sensibilité

Les paramètres économiques ou biologiques du modèle sont soumis à deux grands types d'incertitude. Le premier tient à la connaissance imparfaite des

phénomènes représentés et donc de la valeur des paramètres les décrivant. Il s'agit, par exemple, de la croissance et de la mortalité des crevettes, ou bien encore de la sélectivité des engins de pêche. Le second est relatif à la variabilité environnementale et économique du contexte de la pêcherie : les prix internationaux des crevettes et des intrants sont soumis aux fluctuations des marchés et des taux de change ; le recrutement des crevettes subit l'influence des conditions de pluviométrie de salinité et/ou d'autres facteurs environnementaux.

Aspects méthodologiques

La méthode de Monte Carlo permet de tester la robustesse des résultats des simulations par rapport aux principales sources de variabilité. Elle consiste à réaliser n simulations, à chacune d'entre elles un paramètre $\mathbf{P}_{stoch}$ incertain est obtenu à partir du produit du paramètre déterministe $\mathbf{P}_{det}$ par un terme stochastique $\mathbf{S}_p$ d'espérance mathématique $\mathbf{E}(\mathbf{Sp})$ égale à 1.

$$\mathbf{P}_{stoch} = \mathbf{P}_{det} \cdot \mathbf{S}_p \quad \textbf{avec } \mathbf{E}(\mathbf{S}_p) = 1$$

Nous avons choisi pour $\mathbf{S}_p$ une distribution dissymétrique Log-normale, $\mathrm{Log}(\mathbf{S}_p)$ suit une loi de distribution $N(\mathbf{m}_p, \boldsymbol{\sigma}_p)$, il est démontré (voir par exemple LAUREC *et al.,* 1980) que $\mathbf{E}(\mathbf{S}_p) = \mathbf{e}^{[m_p + (\sigma^2/2)]}$. Et $\mathbf{E}(\mathbf{S}_p) = 1 \Rightarrow \mathbf{m}_p = -\boldsymbol{\sigma}_p^2/2$. Le seul paramètre caractérisant le phénomène stochastique reste donc $\boldsymbol{\sigma}_p$. L'analyse de sensibilité peut être réalisée pour une ou plusieurs sources d'incertitude simultanées. Les résultats permettent d'obtenir pour les principales variables $V_1, V_2, ..V_n$ de sortie du modèle les distributions statistiques simples et cumulées ; et donc de calculer la probabilité, pour ces variables, d'être inférieures (supérieures) à des seuils $Z_1, Z_2 ... Z_n$ qui peuvent être des valeurs d'objectif ou de référence. Ce type d'analyse est adapté pour évaluer la robustesse de scénarios de gestion dans des contextes d'incertitude significative. Son usage n'est cependant pas toujours facile à faire accepter aux gestionnaires, car il peut complexifier la forme et le contenu du message d'aide à la décision.

Une application de l'analyse de sensibilité

Le tableau suivant montre un exemple d'analyse stochastique sur 200 simulations où deux sources d'incertitude sont introduites dans la simulation de référence : le recrutement annuel total des deux espèces de crevettes et le prix de l'énergie. Pour chaque variable stochastique le paramètre $\boldsymbol{\sigma}_p$ est égal à 0,2. Les variables de sortie retenues ici sont la rente économique, le RNE après impôts, et les captures totales de crevettes. Enfin on cherche à voir, dans quelle mesure deux décisions A) de report d'un mois de l'ouverture de la pêche, B) de réduction de 10 % de l'effort de pêche industriel, auront ou non des conséquences positives étant donnée l'incertitude introduite dans la simulation. Les résultats des deux simulations stochastiques seront discutés par rapport à des valeurs de référence Z (en l'absence de décision), pour les trois variables retenues, issues de la simulation de référence, qui est par définition déterministe.

Tableau 56
Exemple de résultats d'analyse stochastique.

Variable (V)	Valeur de référence (Z)		Résultats de l'analyse stochastique								P(V>Z)
			Minimum	Maximum	Moyenne	Quantiles					
						10 %	25 %	50 %	75 %	90 %	
Rente (10^9 ariary)	7	A	- 11,5	44,8	11,7	0,2	4	10	18	26	0,62
		B	- 10,9	40,3	10,35	- 0,3	3,5	8,9	16	24	0,60
RNE après impôt pêcherie (10^9 ariary)	- 2,3	A	- 18	27	1,7	- 8	- 4,6	0,7	7,7	14,4	0,62
		B	- 17	24,7	1,5	- 7.7	- 4,2	0,3	7	13	0,65
Captures totales (1 000 t)	11,8	A	8	18	11,9	9,7	10,5	11,6	13	14,6	0,45
		B	7,8	17,8	11,6	9,5	10,2	11,3	12,7	14,2	0,40

A = ouverture de la pêche retardée d'un mois.
B = réduction de 10 % de l'ensemble de la flottille industrielle.

Le tableau montre que pour les deux variables économiques, la rente et le RNE, la probabilité de dépasser les valeurs de référence, obtenues en simulation déterministe, est supérieure ou égale à 60 %, quelle que soit la décision prise. Par contre, la probabilité que les débarquements totaux de crevettes soient supérieurs à la valeur de référence est toujours inférieure à 45 %. On remarque aussi que la réduction de flottille conduit à des résultats plus robustes pour le RNE. Par contre, pour la rente économique, c'est l'ouverture retardée qui permet d'obtenir la plus grande probabilité de dépassement de la valeur de référence, mais avec un très faible avantage par rapport à l'autre scénario.

Discussion

L'actualisation du modèle et le coût des données

Dans une perspective d'appui à la gestion, un modèle ne sera utile que si ses paramètres sont régulièrement actualisés, si possible sur une base annuelle. À Madagascar, c'est l'observatoire économique de la filière crevettière qui a fourni jusqu'ici les données nécessaires à l'actualisation des paramètres économiques et techniques pour les segments de pêche industriels et artisan ; c'est une tâche lourde et donc coûteuse. Une utilisation du modèle pour des prévisions à court terme nécessite aussi une actualisation des paramètres biologiques (recrutement) qui s'est faite jusqu'ici avec un délai minimal de deux ans. Il semble possible de déterminer le recrutement dans des délais beaucoup plus courts (par exemple, par le suivi de la ressource à différents stades de développement en mangrove et en mer). Disposer de ce suivi rendrait ce modèle beaucoup plus opérationnel pour l'aide à l'aménagement annuel de la pêcherie.

Le risque d'instrumentalisation du modèle

En dépit des efforts de formation et de transfert, notamment avec l'atelier d'octobre 2004, seules quelques institutions du pays sont susceptibles de pleinement maîtriser l'usage de ce modèle et d'en appréhender les limites. La répartition de ces capacités n'est pas non plus équilibrée entre les différents types d'acteurs : seuls l'administration des pêches et le GAPCM disposent des ressources humaines indispensables. Le risque n'est ainsi pas négligeable d'un usage « partisan » du modèle. Du côté de l'administration des pêches, les compétences en matière économique restent cependant plus limitées que dans les autres domaines : les responsables de l'aménagement restent essentiellement des halieutes biologistes ou des statisticiens. Le secteur privé industriel dispose d'une plus large palette de compétences gestionnaires et de la capacité de faire appel à l'expertise externe la plus performante. Pour le moment, l'usage du modèle n'est pas envisageable par les instances représentant les intérêts de la pêche traditionnelle.

Le coût et l'effectivité des instruments de pilotage

Dans le modèle, la mise en œuvre des variables de contrôle se fait à coût nul, et l'on suppose qu'une décision, une fois prise, sera appliquée et que la chaîne de causalités induites fonctionnera. Il s'agit d'une hypothèse très forte. Tout d'abord, le système de gestion de la pêcherie repose sur un ensemble d'éléments (services administratifs, recherche, suivi, contrôle et surveillance, système de répression des infractions) dont le coût est élevé et tend à croître lorsque les politiques publiques cherchent à prendre en compte la complexité des modes d'exploitation des ressources. Il semble clair aussi que la productivité marginale d'un tel système est rapidement décroissante : quand on part d'une situation très sub-optimale, les premières améliorations sont peu coûteuses, par contre tendre vers l'optimum « bioéconomique » risque d'être un leurre si l'on n'intègre pas le coût des politiques publiques supportant cet objectif. La solution est peut-être, en partie ou totalement, celle de l'internalisation des coûts de gestion. Une telle solution semble cependant encore très théorique à Madagascar où des éléments importants du système dépendent en partie de financements extérieurs (surveillance des pêches, recherche). Une autre limite à garder à l'esprit est que toute évolution des politiques publiques induit des réponses stratégiques de la part des exploitants privés, qui tendent à réduire à terme l'efficacité des outils de gestion[73] et impliquent un constant effort d'adaptation.

La pertinence de la frontière du système

Le système représenté par le modèle prend-t-il en compte tous les éléments pertinents qui déterminent la dynamique de l'exploitation crevettière ? On a considéré jusqu'ici que les acteurs économiques représentés, dont les résultats économiques

73. Un exemple bien connu dans la pêche a été l'adaptation des unités de pêches aux diverses mesures de réduction des capacités de pêche décidées par l'Union européenne.

sont calculés à partir de leurs captures, des prix export FOB et des éléments de coûts locaux, sont des entités autonomes. Cette hypothèse peut être discutée si l'on considère que les plus importantes firmes crevettières sont souvent le premier élément, fournisseur de matières premières, de groupes verticalement intégrés (de la production à la distribution dans les pays consommateurs), dont la rentabilité réelle se détermine sur l'ensemble d'une filière globale internationalisée. Cela soulève plusieurs questions que nous aborderons brièvement ici.

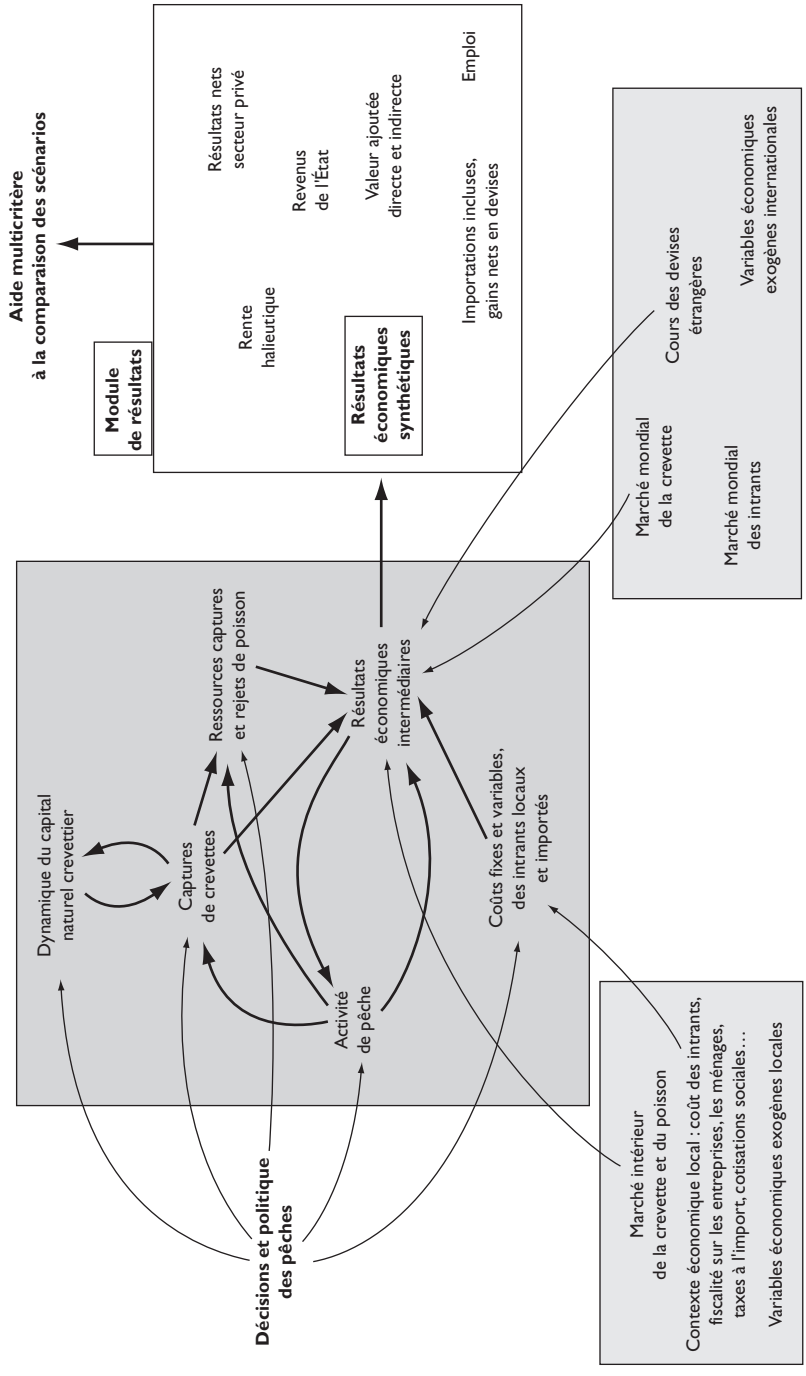
Certains groupes verticalement intégrés disposent de diverses sources d'approvisionnement dont les rentabilités respectives diffèrent selon les conditions locales de production et de dotation en facteurs de production (travail, capital économique et capital naturel). Si l'objectif d'une firme transnationale verticalement intégrée est de réaliser un profit sur l'ensemble consolidé de ses activités, cela peut l'inciter à maximiser, même à perte sur certains sites, la production de matière première pour se rattraper ensuite, en bénéficiant d'économies d'échelle par exemple, sur les niveaux aval de la filière (transformation et distribution). Le succès de cette stratégie dépend donc de la répartition verticale du coût du produit final entre les différents niveaux de la filière et de la localisation de ces niveaux dans des espaces économiques hétérogènes (coûts des facteurs de production, fiscalité,…). Enfin, le prix à l'export qui détermine la valorisation dans le pays producteur peut être un prix de transfert intra-firme moindre que le prix effectif du marché. La segmentation du marché par produits et places de négoce ne rend pas les vérifications aisées.

Conclusion

Les pêcheries crevettières sont de bons exemples de la problématique bioéconomique de gestion des ressources renouvelables. L'expérience de modélisation de la pêcherie malgache, présentée ici, a permis de mettre en évidence les hypothèses, la structure et les principaux résultats d'un modèle bioéconomique appliqué à une pêcherie qui connaît des enjeux de gestion de plus en plus aigus. L'intérêt principal est de rendre compte de la dimension économique de la gestion, et à un degré moindre, la dimension sociale, en complément de la dimension « écologique » réduite pour l'essentiel ici à la dynamique de la ressource exploitée. Dans ce sens, la modélisation bioéconomique peut être considérée comme un outil pour le développement durable des pêcheries. Elle permet aussi de prendre en compte l'incertitude propre à toutes les activités dépendant d'un processus de production biologique naturel, et de facteurs économiques exogènes. La modélisation bioéconomique appliquée présentée ici n'est cependant pas exempte de limites : c'est un outil très coûteux en information et dont l'usage dans un contexte de prise de décision réel nécessite des compétences techniques souvent peu disponibles et le plus souvent mal réparties entre les différentes parties prenantes dans la gestion de la pêcherie.

Annexe I

Structure du modèle



Annexe 2

Les dimensions ou indices du modèle

Dimensions	Symbole	Modalités	Signification
Calibre	cal	**HOU10, HO10 20, HO20 30, HO30 40, HO40 60, HO60 80, HO80 100, HO100 120, HO120 150, HO150 UP,** *HLU15, HL16 20, HL21 30, HL31 40, HL41 50, HL51 60, HL61 70, HL71 90, HL91UP,* DEC21 40, DEC41 60, DEC61 90, DEC91 UP	Calibres commerciaux crevettes Sous-ensembles : **calibreHO** *calibre HL* calibre DEC
Cohorte	C	cohortemoins6, cohortemoins5, cohortemoins4, cohortemoins3, cohortemoins2, cohortemoins1, ohorte1, cohorte2, cohorte3, cohorte4, cohorte5, cohorte6, cohorte7, cohorte8, cohorte9, cohorte10, cohorte11, cohorte12	Cohortes prises en compte dans le modèle annuel (6 cohortes survivantes de l'année précédente, 12 de l'année courante). Cet indice est parfois désigné comme le rang mensuel des cohortes
Conditionnement	cond	HO, HL, DECORT	Mode de conditionnement des crevettes (entières, étêtées, décortiquées)
Destination crevette	dest	Export direct, collecte export, collecte marché local, consommation locale	Destination des captures de crevettes des différents segments de la pêcherie
Devises	dev	EUR, USD, JPY	Principales devises dans lesquelles sont exprimés les prix des exportations de crevettes et des importations d'intrants
Espèces	i	*F. indicus, M. monoceros*	Espèces de crevettes retenues dans le modèle
Mois	mois	mois1, mois2…mois12	
Nomenclature coût	nom	*carb lub, eau élec, pièces rech, petit outil fournt, prdts entre, prdts chim, emballage, matériel pêche, vivres avitail, autres cons,* entre répar, assurances, serv banc, voya déplac, frais transp march, prest serv ext, locations, frais div gestion, autres prest	Nomenclature des coûts d'exploitation des activités de pêche Sous-ensembles : *consommables* *prestations de service*
Qualification marin pêche industielle	qualif	Q supérieure, Q moyenne, simple exécutant	Type de qualification pris en compte dans le système de partage de la pêche industrielle
Sexe	s	mâle, femelle	Sexe crevette pris en compte dans le modèle
Type coût		Fixe, variable	Distinction entre coûts fonction des captures et/ou de l'effort de pêche (variables) et ceux indépendants de ces variables (fixes)
Types exploitation	x	**congélateur 24 28 m, semi-congélateur, glacier,** *valakira, poteau, kaokobe12, kaokobe15, periky20, periky25, kopiko, petite senne,* chalut artisanal	Sous-ensembles : **Type industriel** *Type traditionnel* Type artisanal
Zone	z	**zone a, zone b, zone c,** *zone d.*	Sous-ensembles : **Côte ouest** *Côte est*

Annexe 3

Compte d'exploitation général de la pêcherie issu de la simulation de référence

Chiffre d'affaires	**PI**	**PA**	**PT**	**Sous-total**	**Activités à terre non imputées**	**Pêcherie**
Crevettes	59 398,00	5 390,00	2 709,00	67 498,00	10 057,00	***77 555,00***
Poisson	8 763,00	2 917,00	1 608,00	13 289,00	0,00	***13 289,00***
CA Total	**68 161,00**	**8 308,00**	**4 317,00**	**80 787,00**	**10 057,00**	***90 844,00***

Charges	**PI**	**PA**	**PT**	**Sous-total**	**Activités à terre non imputées**	**Pêcherie**
Consommables	26 415,00	1 159,00	291,85	27 867,00	2 408,00	***30 276,00***
Prestations de services	19 066,00	649,20	32,69	19 748,00	1 416,00	***21 165,00***
Achats de crevettes	0,00	0,00	0,00	0,00	1 717,00	***1 717,00***
Total CI	***45 481,00***	***1 809,00***	***324,55***	***47 616,00***	***5 542,00***	***55 158,00***
Rémunérations	8 319,00	1 848,00	3 017,00	13 185,00	953,70	***14 138,00***
Charges sociales	1 051,00	333,75	0,00	1 385,00	123,18	***1 508,00***
Coût travail	***9 371,00***	***2 181,00***	***3 017,00***	***14 570,00***	***1 076,00***	***15 467,00***
Frais financiers	915,12	74,07	0,00	989,19	21,86	***1 011,00***
Redevances	5 858,00	64,88	0,00	898,19	0,00	***5 922,00***
Taxes sur imprtations directes	361,68	9,70	5,16	376,55	31,57	***408,13***
RBE	***6 172,00***	***4 168,00***	***970,96***	***11 311,00***	***3 384,00***	***14 696,00***
Amortissement	11 332,00	1 191,00	465,47	12 989,00	536,67	***13 526,00***
RNE	***-5 160,00***	***2 976,00***	***504,48***	***-1 678,00***	***2 848,00***	***1 170,00***
Impôts sur le bénéfice	1 189,00	973,30	0,00	2 162,00	884,23	***3 046,00***
RBE après impôts	***-6 349,00***	***2 003,00***	***505,48***	***-3 840,00***	***1 964,00***	***-1 876,00***

Une extension pluriannuelle du modèle bioéconomique de la pêcherie crevettière malgache

Christian Chaboud

© A. de Rodellec/PNRC

Introduction

La version annuelle du modèle bioéconomique de la pêcherie crevettière malgache, présentée précédemment dans cet ouvrage, a été développée sur une base annuelle. Ce choix était justifié par un certain nombre d'arguments et d'hypothèses :

– courte durée de vie de l'espèce ;

– absence d'une relation entre la biomasse féconde de l'année t et le recrutement des crevettes à l'année t+1 ;

– caractère annuel des décisions de gestion ;

– évaluation annuelle des résultats de l'exploitation au moyen des comptes économiques des entreprises et de la filière ;

– gain en temps de calcul.

D'un point de vue scientifique, le passage à un modèle pluriannuel présente des avantages par rapport à la version annuelle. Il permet tout d'abord de ne plus reposer sur certaines hypothèses fortes du modèle annuel, notamment celle d'indépendance entre années successives, tant du point de vue de la ressource que des décisions de gestion. Il permet également de représenter, en

une seule simulation, les impacts de plusieurs décisions de gestion et de diverses hypothèses sur les paramètres exogènes. Une des recommandations de l'atelier de modélisation bioéconomique organisé en octobre 2004 par le PNRC était aussi, entre autres, de passer à une version pluriannuelle. Les résultats de ce travail sont présentés dans cette contribution.

Sur la base du modèle bioéconomique annuel, on a développé un modèle pluriannuel permettant de représenter la dynamique de la pêcherie crevettière sur une période pouvant aller jusqu'à dix ans. Ses principales caractéristiques sont présentées et les perspectives nouvelles offertes par cet outil sont discutées. Il est désormais possible d'introduire des « chocs » exogènes en cours de simulation sur les principaux paramètres économiques et sur le recrutement. Les principaux outils de gestion peuvent être également redéfinis chaque année. Quelques résultats de simulation sont présentés et discutés par rapport à ceux obtenus à partir du modèle annuel. Pour l'essentiel, ils confirment ou renforcent l'intérêt de propositions d'aménagement inspirées des résultats du modèle annuel. Enfin, on discutera en termes scientifiques et d'aide à la décision de l'intérêt de cette expérience de modélisation.

Les arguments en faveur d'un modèle pluriannuel

L'hypothèse d'indépendance entre années initialement retenue peut être remise en cause par divers arguments.

Ceux-ci sont d'abord biologiques. Il y a évidemment un continuum biologique interannuel du fait de l'existence de cohortes « à cheval » sur deux années. Les conditions initiales d'exploitation d'une cohorte à l'année t vont conditionner ses effectifs et donc les résultats de son exploitation en t+1. L'hypothèse de l'absence d'une relation stock-recrutement peut également être discutée. Par exemple, on peut considérer qu'il existe un niveau de biomasse féconde critique en dessous duquel le recrutement de l'année suivante peut être remis en cause. La baisse d'abondance observée dans les zones A et B depuis 2005 peut amener à s'interroger sur la possibilité de ce phénomène.

Ces raisons tiennent également à la dynamique de l'exploitation. Les décisions de gestion prises en l'an t conditionneront en partie les résultats de l'an t+1 à travers l'impact sur la composante de la ressource présente en t et survivante en t+1. Par ailleurs, il semble important de prendre en compte le fait que la dynamique d'entrée-sortie des unités de pêches peut être en partie fonction des résultats de l'exploitation au cours des exercices précédents, que l'effort soit contrôlé par un système de licences, par un marché des droits de pêche, ou bien encore qu'il soit non régulé[75].

Un autre argument tient à la possibilité de prendre en compte l'interdépendance temporelle des décisions d'aménagement (une décision est prise en partie en fonction des conséquences des politiques antérieures) et également au fait que la résultante de plusieurs décisions est fonction des dates et de l'ordre de leurs mises en place respectives. On peut considérer que les décisions de gestion s'inscrivent dans un contexte qui est pour partie le résultat des décisions (ou de l'absence de décisions) prises au cours des années précédentes, de leur contexte économique et social, de leur impact sur la ressource et les résultats économiques de l'exploitation. L'autre intérêt de procéder à des simulations pluriannuelles provient alors de la possibilité de représenter l'impact de chocs exogènes ou de décisions de gestion de façon séquentielle, alors que dans la version annuelle du modèle cela imposait de procéder à la comparaison de simulations annuelles successives.

La structure du modèle bioéconomique pluriannuel

Le modèle reprend la structure modulaire du modèle annuel. Certains modules initiaux ont été modifiés, des modules complémentaires ont été ajoutés. Il permet désormais de modéliser jusqu'à dix années d'exploitation. Le pas de temps est choisi comme dans le modèle initial (de 1 à 15 jours).

Les modules modifiés sont essentiellement ceux consacrés à la dynamique de la ressource crevettière et la définition des politiques. Le modèle initial comprenait 18 cohortes mensuelles. Le modèle pluriannuel permet de simuler jusqu'à dix années, soit 120 cohortes de crevettes pour chaque espèce et sexe. Les politiques ne sont plus définies seulement en début de simulation, mais peuvent être modifiées chaque année.

Pour la composante économique du modèle, les seules modifications significatives concernent le calcul des variables principales de sortie cumulées par exercice (années) et non plus sur la période totale de simulation. Par ailleurs, pour les principaux indicateurs de résultats on a introduit des variables récapitulant les valeurs annuelles moyennes en fin d'exercice.

La variabilité interannuelle de la ressource biologique

Dans un modèle pluriannuel il est nécessaire de tenir compte de la variabilité du recrutement d'une année à l'autre, indépendamment de la biomasse féconde. Ceci permet de simuler l'impact de l'environnement hydroclima-

75. La pêche traditionnelle reste, à ce jour, en accès quasi libre, et les résultats économiques semblent être le facteur principal des pressions à l'entrée dans le secteur. Pour la pêche industrielle et artisanale, le nombre d'unités est limité par le système d'octroi de licences qui fixe un plafond annuel aux flottilles. Au cours des années récentes, la dégradation des résultats économiques a conduit des armements à réduire le nombre de leurs unités.

tique, qui constitue le facteur principal de variation du recrutement et donc des captures de crevettes. Dans le modèle annuel, la variabilité du recrutement était abordée par la méthode de Monte Carlo (simulations répétées avec tirage d'un facteur multiplicatif du recrutement dans une loi log-normale). La méthode retenue dans le modèle pluriannuel est différente, elle permet d'introduire différentes sources de variabilité du recrutement :

– une variabilité interannuelle du recrutement total en crevettes (effet année). Il semble que le signal annuel soit le plus déterminant au niveau de chaque façade marine de Madagascar ;

– une variabilité inter-zone de la répartition du recrutement annuel par zone (effet zone). La répartition du recrutement selon les zones peut varier selon les années dans la mesure où le contraste des conditions environnementales entre zones n'est pas constant ;

– une variabilité inter-mois de la répartition mensuelle (effet mois) du recrutement – c'est-à-dire pour chaque cohorte –. On sait que selon les années, pour un même niveau de recrutement total, peuvent exister des décalages temporels, dans les pics de recrutement qui semblent liés à des facteurs environnementaux et notamment climatiques (intensité et répartition temporelle de la pluviométrie sur les bassins versants).

Chacun de ces effets est modélisé par un facteur stochastique tiré dans une loi normale d'espérance 1 ; on précise pour chaque facteur ses valeurs minimale, maximale et son écart-type. L'effet année peut être commun ou distinct pour les deux espèces de crevettes, à la différence des effets zones et mois qui sont communs.

La figure 147 présente le résultat d'une telle simulation, sur 10 ans, tous les autres paramètres bioéconomiques étant considérés comme constants, le calcul étant réalisé avec un pas de temps de 4 jours. Les paramètres des trois effets stochastiques sont les suivants :

Effet	Maximum	Minimum	Écart-type
Année	1,2	0,8	0,3
Zone	1,1	0,9	0,1
Mois	1,1	0,9	0,1

Pour la zone C, sont représentées les évolutions de la capture (1), de la biomasse (2) et de la rente économique (3). On obtient ainsi sur les 10 ans de simulations une capture industrielle annuelle moyenne de 5 188 tonnes qui s'avère très proche de la moyenne estimée à partir de la base statistique nationale Banacrem pour la période 1995-2003 (5 033 t). On constate également que la rente simulée ne deviendrait positive qu'au-delà de 6 000 tonnes de captures. Ceci s'explique par le choix des paramètres économiques identiques à ceux de la simulation de référence du modèle annuel (année 2003) ; ces paramètres restant constants durant les dix années simulées.

L'introduction de chocs exogènes dans les simulations

Il est possible d'introduire des perturbations exogènes pour trois paramètres économiques :

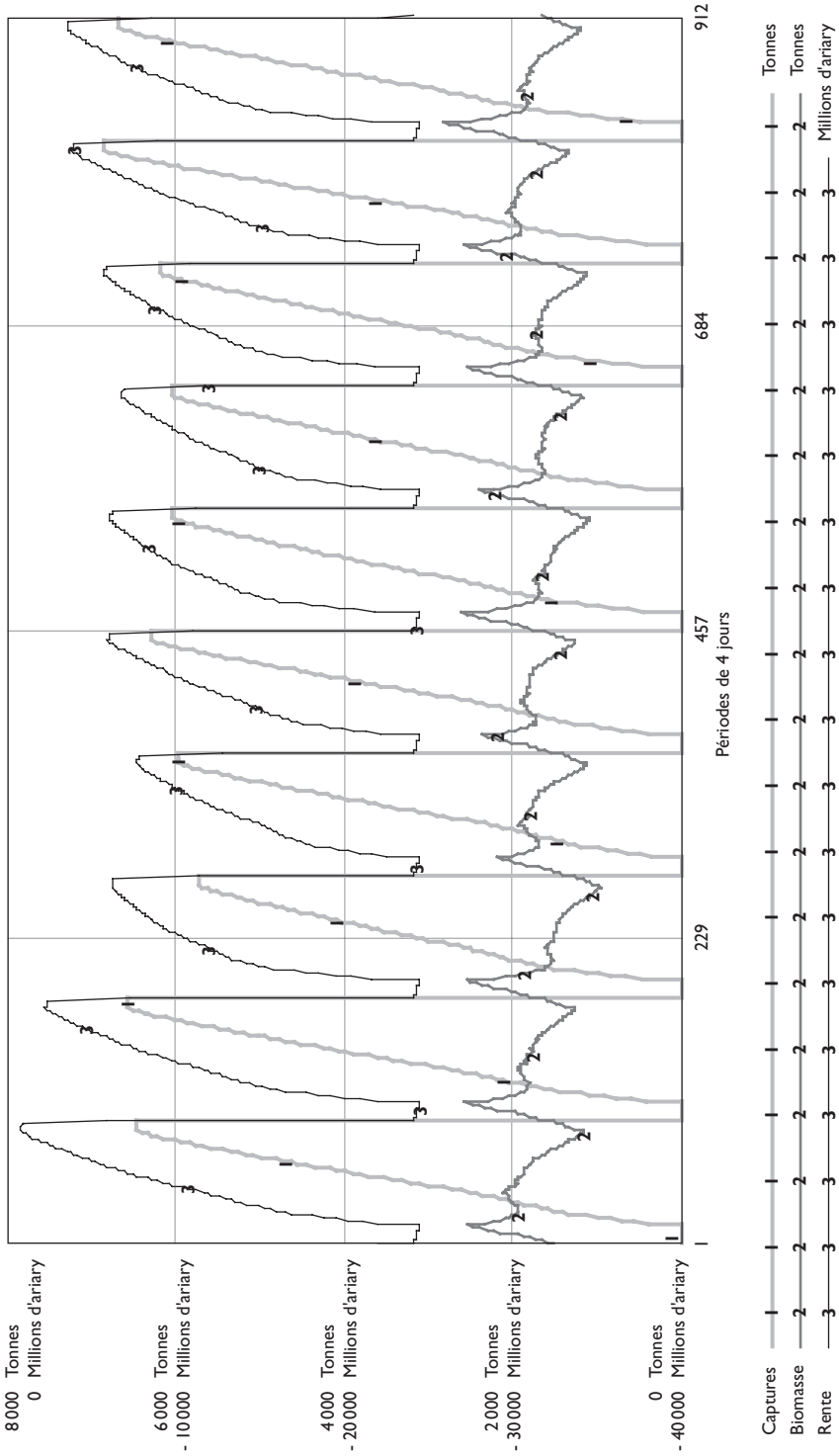


Fig. 147
Exemple de modélisation stochastique sur 10 ans :
biomasse, captures de crevettes et rente économique de la zone C.

– le taux de change des trois principales devises (euro, dollar US, yen japonais) ;
– le prix du carburant ;
– le prix international de la crevette, en considérant que le choc exogène est le même pour tous les marchés d'exportation.

Pour chacune des variables économiques on peut introduire jusqu'à cinq chocs par simulation, dont l'ampleur est définie par un facteur multiplicateur s'appliquant, à partir d'une date choisie, à la valeur courante de la variable avant la perturbation, et prend donc en compte l'impact des perturbations préalablement introduites.

Pour la ressource biologique on peut également introduire des perturbations pour le recrutement mensuel des crevettes, au moyen d'un facteur multiplicatif par zone, par année et par mois, identique pour les deux espèces de crevettes.

Introduction de changements dans la politique des pêches

Chaque simulation est lancée avec des valeurs des variables de décisions de politiques des pêches définies dans les paramètres de référence du modèle. L'intérêt principal d'une simulation pluriannuelle est ici de pouvoir modifier les décisions de politiques des pêches au début de chaque année, ou bien encore en cours d'année. Un autre intérêt est de présenter les politiques alternatives de gestion au cours de périodes successives, ce qui peut montrer les interactions temporelles entre décisions (une décision à l'année t modifie le contexte dans lequel une autre décision sera prise en t+1) ou des effets d'inertie (une décision à l'année t, supprimée en début ou en cours de t+1, continue cependant à produire des effets sur les résultats de l'année t+1). Pour chaque instrument de gestion, cinq changements peuvent être appliqués par simulation.

Les instruments de politiques publiques des pêches pour lesquels peuvent être introduits des chocs dans la version actuelle du modèle pluriannuel sont :
– les effectifs des flottilles par segment de pêche en début d'année ;
– les effectifs des flottilles par segment de pêche pour une période intra-annuelle (ce qui permet de simuler une fermeture en cours de campagne de pêche) ;
– les dates d'ouverture et de fermeture de la pêcherie ;
– la longueur de la corde de dos des chaluts ;
– la sélectivité des engins de pêche (modification de maillage).

Quelques exemples de résultats du modèle pluriannuel

Le modèle pluriannuel a été testé en utilisant les données économiques pour l'année 2003 estimées par l'observatoire économique de la filière crevettière.

Une nouvelle appréciation de l'impact des changements de dates d'ouverture et de fermeture de la pêche

L'intérêt d'une réduction de la saison de pêche a déjà été souligné lors des simulations réalisées au moyen de la version annuelle du modèle. Ces analyses ont aussi montré que les gains retirés d'un recul de l'ouverture étaient beaucoup plus importants que ceux liés à l'avancement de la date de fermeture. Le report d'ouverture générait un impact biologique et économique sensible sur l'ensemble de la période de pêche, tandis que l'avancement de la période de fermeture ne conduisait qu'à des effets économiques plus limités sur l'année courante. Ceci s'explique aisément dans la mesure où l'un des effets principaux attendus d'une fermeture plus précoce est une mortalité par pêche réduite sur les crevettes en fin d'année. Une part de ces crevettes épargnées (celles n'ayant pas subi la mortalité naturelle en période de fermeture) sera capturée à l'ouverture suivante. On espère logiquement en retirer un gain en poids (effet croissance) et donc aussi en prix (effet calibre commercial). Comme le souligne cependant A. Caverivière (com. pers.), il est possible que la fermeture protège plutôt des individus âgés, dont le nombre diminuera beaucoup par mort naturelle d'ici l'ouverture (d'où peu de gains) ; à l'inverse le report de la date d'ouverture protégerait beaucoup de juvéniles et présente donc plus de gains potentiels. Ces phénomènes s'expliquent par la répartition saisonnière du recrutement qui connaît un pic durant les premiers mois de l'année.

L'évaluation de l'impact de ces mesures a été réalisée tout d'abord avec un recrutement déterministe (constant d'une année à l'autre) puis avec un recrutement stochastique (les effets retenus étant similaires à ceux mentionnés précédemment). Dans le cas déterministe on a simulé la pêcherie sur 5 ans, et dans le cas stochastique, sur 10 ; avec un pas de temps de 4 jours dans les deux cas. Ces simulations concernent l'ensemble de la côte ouest de Madagascar (zones A à C). Pour une plus grande clarté, on distinguera successivement les effets sur la ressource, les captures, le chiffre d'affaires, les coûts, les résultats économiques nets pour les firmes, l'État, et l'ensemble de la collectivité.

Les simulations suivantes ont été réalisées :

Tableau 57
Caractéristiques des simulations sur la réduction de la saison de pêche.

	Date ouverture	Date fermeture
Simulation de base	Dernière semaine février (jour 55)	Fin novembre (jour 334)
Simulation n° 1	Fin mars (jour 85)	Fin novembre (jour 334)
Simulation n° 2	Fin février (jour 55)	Fin octobre (jour 304)
Simulation n° 3	Fin mars (jour 85)	Fin octobre (jour 304)

La simulation 1 correspond à une ouverture de la pêche retardée de 30 jours, la simulation 2 à une fermeture plus précoce de 30 jours et la simulation 3, combinant les deux mesures, à une période de fermeture plus longue de 60 jours.

Tableau 58
Impact de la réduction de la saison de pêche sur la biomasse de crevettes : résultats des simulations avec un recrutement constant ou variant de façon stochastique.

Simulation	Biomasse à l'ouverture (tonnes)	Écart relatif par rapport à la simulation de base
Simulation de base déterministe	4 588	–
1 Retard ouverture	5 731	+ 24 %
2 Avancement fermeture	5 379	+ 17 %
3 Retard et avancement	6 559	+ 42 %
Simulation de base stochastique	4 702	–
1 Retard ouverture	6 067	+ 29 %
2 Avancement fermeture	5 562	+ 18 %
3 Retard et avancement	6 877	+ 46 %

Effet sur la ressource (biomasse)

Les mesures de gestion concernant les dates d'ouverture et de fermeture sont prises dès l'année 1. Dans le cas déterministe (tabl. 58), l'effet sur la ressource d'une fermeture avancée est d'autant plus net qu'il s'accompagne d'un report de la date d'ouverture. L'avancement seul de la fermeture permet d'avoir une biomasse, à l'ouverture de l'année 4[76] de 5 379 t contre 4 588 t pour la simulation de base (+ 17 %). Par contre, si cette mesure est accompagnée d'un recul de l'ouverture, la biomasse à l'ouverture passe à 6 559 t (+ 42 %). Le seul report d'ouverture conduit à un gain de 1 143 t (+24 %).

Pour les simulations stochastiques, on compare la biomasse moyenne à l'ouverture sur les 10 années de simulation. Le gain relatif en biomasse à l'ouverture est légèrement plus sensible que dans le cas déterministe pour les simulations 1 (+ 29 % contre + 24 %) et 3 (+ 46 %), tandis que l'effet obtenu de la seule fermeture avancée est quasi similaire à celui obtenu précédemment.

Effet sur les captures

Les résultats pour les captures sont très proches de ceux du modèle annuel : le retard d'ouverture a un effet bénéfique faible tandis qu'une fermeture avancée conduit à une légère diminution des captures.

Les modifications de dates de campagne de pêche ne conduisent donc qu'à des effets très limités en termes de captures annuelles totales de crevettes. Le tableau 59 montre des écarts relativement réduits tant pour les simulations stochastiques que déterministes. Dans tous les cas, l'effet ressource, permis par la réduction de la saison de pêche, est en partie compensé par celui de la réduction de l'effort de pêche. L'augmentation des rendements, obtenue essentiellement en début de saison, ne permet pas de compenser significativement l'impact de la réduction de l'effort de pêche sur les captures.

76. Pour les simulations déterministes, les résultats de fin d'année 4 ou 5 sont identiques dans la mesure où il n'y a pas de chocs exogènes ou d'autres décisions de gestion. On observe de légères différences entre années 1 à 3 au cours desquelles la simulation converge vers un état stationnaire.

Par type de pêche les résultats sont plus contrastés. Pour la pêche industrielle les trois scénarios de modification de dates de campagne conduisent à une légère croissance des captures de crevettes, ainsi que pour la pêche artisanale (mais à un moindre degré). Par contre, ces mesures conduisent toutes à une baisse des prises de la pêche traditionnelle. L'explication plausible tient au fait que cette dernière est moins susceptible de bénéficier de l'impact d'une augmentation de la période de fermeture sur la taille des crevettes ; en effet, la croissance des crevettes s'accompagne, dans le modèle, d'une moindre vulnérabilité aux engins de la pêche traditionnelle[77].

L'impact sur les captures en fin d'année[78] est synthétisé au tableau 59.

Impact sur les résultats économiques

L'impact sur le chiffre d'affaires est beaucoup plus net que sur les captures (tabl. 60), ce qui traduit l'existence d'un effet prix, significatif, dû aux gains en calibre à l'ouverture en raison d'une augmentation de un à deux mois de la période de fermeture.

Tableau 59
Impact de la réduction de la saison de pêche sur les captures.

Simulation	Débarquements totaux côte ouest		PI	PA	PT
Simulation de base déterministe	10 384		7 636	653	2 094
1 Retard ouverture	10 583	(+ 2 %)	7 752	743	2 089
2 Avancement fermeture	10 344	(- 0,3 %)	7 673	672	1 999
3 Retard et avancement	10 485	(+ 1 %)	7 789	711	1 996
Simulation de base stochastique	11 025		8 034	700	2 290
1 Retard ouverture	11 250	(+ 2 %)	8 158	809	2 283
2 Avancement fermeture	10 903	(- 1,1 %)	8 003	725	2 176
3 Retard et avancement	11 075	(+ 0,4 %)	8 133	768	2 172

Unités : tonnes

Tableau 60
Impact de la réduction de la saison de pêche sur le chiffre d'affaire (CA).

	CA Pêcherie		CA PI	CA PA	CA PT	Activité non imputées
Simulation de base déterministe	62		47	4,5	2,6	7,7
1 Retard ouverture	67	(+ 8 %)	50	5,4	2,7	8,1
2 Avancement fermeture	65	(+ 4,8 %)	50	4,8	2,6	7,6
3 Retard et avancement	70	(+ 13 %)	54	5,5	2,7	8
Simulation de base stochastique	66		50	4,9	2,9	8,5
1 Retard ouverture	72	(+ 9 %)	54	5,9	3	8,9
2 Avancement fermeture	69	(+ 4,5 %)	52	5,3	2,8	8,3
3 Retard et avancement	74	(+ 12,1 %)	56	6	3	8,7

Unités : milliards d'ariary

77. La croissance s'accompagne d'une modification de la répartition spatiale des crevettes (déplacement vers le large).
78. Il s'agit de la moyenne de la capture annuelle cumulée en fin d'années 2, 3, 4…10.

Tableau 61
Impact financier net des mesures de réduction de la saison de pêche.

Simulation	Variation Chiffre d'affaires	Variation Coût total privé	Effet financier net
Simulations déterministes			
1 Retard ouverture	4,8	- 1	5,8
2 Avancement fermeture	3,2	- 1,5	4,7
3 Retard et avancement	7,8	- 2,9	10,7
Simulations stochastiques			
1 Retard ouverture	5,1	- 1	6,2
2 Avancement fermeture	2,5	- 1,8	4,3
3 Retard et avancement	7,5	- 3	10,5

Unités : milliards d'ariary

L'impact positif d'une ouverture retardée d'un mois sur le chiffre d'affaires, mis en évidence par le modèle annuel, est confirmé. Les résultats montrent aussi que la mesure de fermeture anticipée exerce un effet positif sur le chiffre d'affaires de la pêcherie, ce qui n'était pas le cas avec le modèle annuel. Cet effet est particulièrement net pour la pêche industrielle et la pêche artisanale. La fermeture anticipée a un effet neutre sur le chiffre d'affaires de la pêche traditionnelle dans le cas déterministe et très légèrement négatif dans le cas stochastique. Elle réduit également le chiffre d'affaires des activités à terre non imputées aux segments de pêche pour le cas stochastique, ce qui s'explique par le fait que ces activités comprennent essentiellement la collecte et la transformation à terre de produits provenant de la pêche traditionnelle.

L'effet de réduction des coûts est à priori identique à celui du modèle annuel (il n'y pas de transfert de coûts d'une année sur l'autre, le modèle pluriannuel ne doit donc pas fournir de résultats différents) : la réduction des charges variables des segments de pêche étant quasi proportionnelle à celle de la durée de la campagne de pêche[79]. L'effet financier net des mesures (qui représente le gain des opérateurs privés[80]) est la différence entre la variation de chiffres d'affaires et celle des coûts[81]. Cet effet net est présenté au tableau 61.

Les résultats des simulations déterministes et ceux des simulations stochastiques sont très proches. L'effet sur le chiffre d'affaires (compris entre + 8 et + 14 %) est toujours supérieur à celui sur le coût, mais ce denier reste toujours significatif.

En termes macro-économiques et du point de vue de la collectivité, l'impact de ces mesures de gestion est mesuré par les variations de la rente économique, de la valeur ajoutée nette directe, des revenus de l'État, des ménages et de l'effet net sur la balance commerciale (tabl. 62). Les indicateurs macro-économiques enregistrent des gains absolus et relatifs significatifs en ce qui concerne la création de richesse (rente et valeur ajoutée) et la contribution nette à la balance commerciale.

79. La majeure partie des charges variables est proportionnelle au nombre de jours de mer (cf. chapitre 11).

80. Il est équivalent à la variation du revenu net d'exploitation après impôts et taxes.

81. Le coût total inclut l'ensemble des charges supportées par les firmes, c'est-à-dire y compris les impôts, taxes et redevances prélevés par l'État.

Tableau 62
Impact macro-économique de la réduction de la saison de pêche.

Simulation	Variation de :				
	Rente économique totale	VAN directe	Revenus de l'État	Revenus disponibles des ménages	Effet net sur la balance commerciale
Simulations déterministes					
1 Retard ouverture	6,3	6,3	0,5	0,06	5
2 Avancement fermeture	5,1	5,1	0,3	- 0,01	4,2
3 Retard et avancement	11,6	11,6	0,8	- 0,01	9,6
Simulations stochastiques					
1 Retard ouverture	6,8	6,8	0,6	0,05	5,7
2 Avancement fermeture	4,6	4,6	0,3	- 0,05	3,9
3 Retard et avancement	11,5	11,5	0,9	- 0,023	9,8

Unités : milliards d'ariary

La distribution de ces gains entre agents économiques pose néanmoins problème. Le revenu disponible des ménages ne progresse (très modérément) que dans la simulation 1. Les revenus de l'État n'enregistrent pas non plus de progression très significative. Le secteur privé industriel peut donc être considéré comme le principal bénéficiaire de ces mesures. Les gains estimés de ces décisions sont cependant suffisants pour qu'une redistribution plus équilibrée soit envisageable. Cette dernière supposerait que les redevances de pêche soient ajustées au cours de la période simulée, ce qui correspondrait à la situation réelle où l'on procède à une révision annuelle des droits de pêche sur la base des résultats économiques récents de la pêche industrielle.

Exemple d'introduction de chocs externes et de politiques de gestion séquentielles

Nous allons maintenant analyser le comportement du modèle pluriannuel sur dix ans, en introduisant plusieurs chocs exogènes et des politiques de gestion étalées dans le temps, visant à corriger les impacts des chocs externes.

Caractéristiques des simulations

Les différentes caractéristiques des simulations, des perturbations et des décisions introduites sont explicitées dans le tableau 63.

Les chocs exogènes introduits sont représentatifs de ceux connus dans l'histoire récente de la pêcherie crevettière malgache : accident de recrutement (cas de l'année 2005), variation de taux de change, hausse du prix du carburant (en nette accélération en 2003), baisse du prix international en devises des crevettes.

Les politiques de gestion introduites dans les simulations à partir de l'année 6 correspondent aux principaux outils d'aménagement qui ont été mis en œuvre ou envisagés au cours des années récentes dans la pêcherie industrielle malgache : réduction de la corde de dos des chaluts, augmentation du maillage, réduction de la durée de la campagne de pêche. En supplément, on a voulu tester l'impact d'une

Tableau 63
Introduction de chocs exogènes et de politiques séquentielles : caractéristiques des simulations.

Nombre d'années de simulation	10		
Pas de temps des simulations	4 jours		
Zones retenues	Côte ouest (zones A à C)		
Recrutement des crevettes	Déterministe (première simulation) Stochastique (seconde simulation) : effet année, effet zone et effet mois Facteurs stochastiques tirés dans une loi normale d'espérance égale à 1 : Effet année : min = .8, max = 1.2, écart-type = .3 Effet mois : min = .9, max = 1.1, écart-type = .3 Effet zone : min = .9, max = .1, écart-type = .3		
Date ouverture initiale	Jour 55		
Date fermeture initiale	Jour 334		
	Chocs exogènes		
Nature	**Ampleur**	**Début**	**Obs.**
Valorisation des devises étrangères (Euro, Yen, Dollar)	+ 20 %	Année 3, jour 1	Maintenu
Hausse prix des carburants et lubrifiants	+ 30 %	Année 4, jour 1	Maintenu
Baisse du recrutement des crevettes de novembre à mars	- 40 %	Année 5 (nov. à déc.) Année 6 (janv. à mai)	Uniquement années 5 et 6
Baisse prix international des crevettes	- 20 %	Année 5, jour 1	Maintenu
	Décisions de politique des pêches		
Nature	**Ampleur**	**Début**	**Obs.**
Modification de la corde de dos	Réduction de 10 %	Année 6, jour 1	Maintenu
Augmentation du maillage des chaluts	L_{50} passe de 21,5 à 24 mm de LCT	Année 7, jour 1	Maintenu
Date ouverture	Report d'un mois (jour 86)	Année 8	Maintenu
Date fermeture	Avancée d'un mois (jour 303)	Année 9	Maintenu
Réduction flotte industrielle zones A, B et C	- 30 %	Année 10	Maintenu

mesure de réduction générale de 30 % de la flotte de pêche industrielle (mesure qui n'a pas été envisagée à ce jour pour l'ensemble de la pêcherie, mais qu'il nous semble pertinent de simuler car elle a été appliquée *de facto* dans l'une des zones).

On a réalisé deux simulations, pour lesquelles le recrutement des jeunes crevettes est respectivement déterministe ou stochastique[82], et l'ensemble des chocs exogènes et politiques précédents a été introduit. Elles ont été réalisées en complément de deux simulations de référence, déterministe et stochastique, mais sans chocs exogènes ni décisions de gestion. On présente sur la figure 148, l'évolution de la biomasse de crevettes pour ces quatre simulations.

82. Cette dernière prend également en compte le choc externe supplémentaire sur le recrutement de jeunes crevettes aux années 5 et 6.

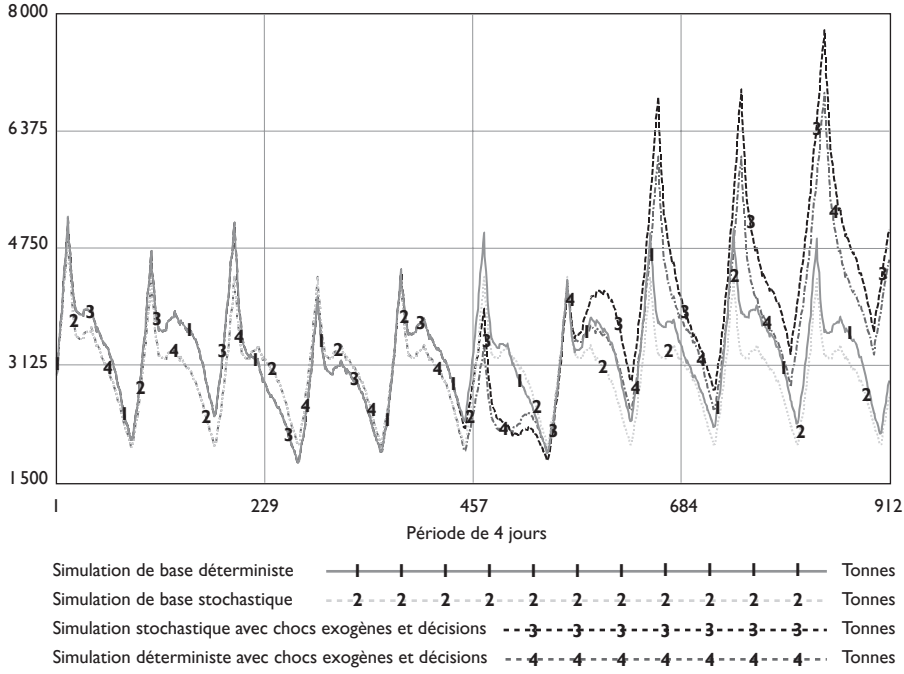


Fig. 148
Évolution de la biomasse sur 10 ans à partir des simulations de base déterministe et stochastiques, et de l'application de chocs exogènes à ces dernières.

Les résultats des simulations décennales

On traitera en parallèle des résultats obtenus en simulations déterministe et stochastique. Pour les principales variables de sortie du modèle, on analyse les écarts absolus, en fin d'année, entre les simulations de référence et celles où sont introduits les chocs exogènes et les décisions de gestion. La synthèse de ces résultats est donnée sur les figures 149 (biomasse et captures) et 150 (variables économiques).

L'appréciation générale des devises (ou la baisse de la monnaie nationale) en année 3 conduit à une amélioration nette des résultats : l'effet chiffre d'affaires l'emporte, toutes choses égales par ailleurs, sur l'effet coût.

Une hausse de 30 % du prix du carburant à l'année 4 conduit à effacer l'amélioration obtenue au cours de l'année précédente : des écarts négatifs, par rapport aux deux simulations de référence, sont observés pour les deux variables de résultats économiques (RNE et rente économique).

L'impact de la baisse de recrutement de 40 % en fin d'année 5 et début d'année 6 produit évidemment une chute importante des captures et, à un degré moindre, de la biomasse en fin d'année. Une dégradation est aussi observée pour l'ensemble des indicateurs économiques de la pêcherie : on pourra mettre en perspective ces résultats avec la situation de la pêcherie en 2005, au cours de laquelle un accident similaire de recrutement semble observé.

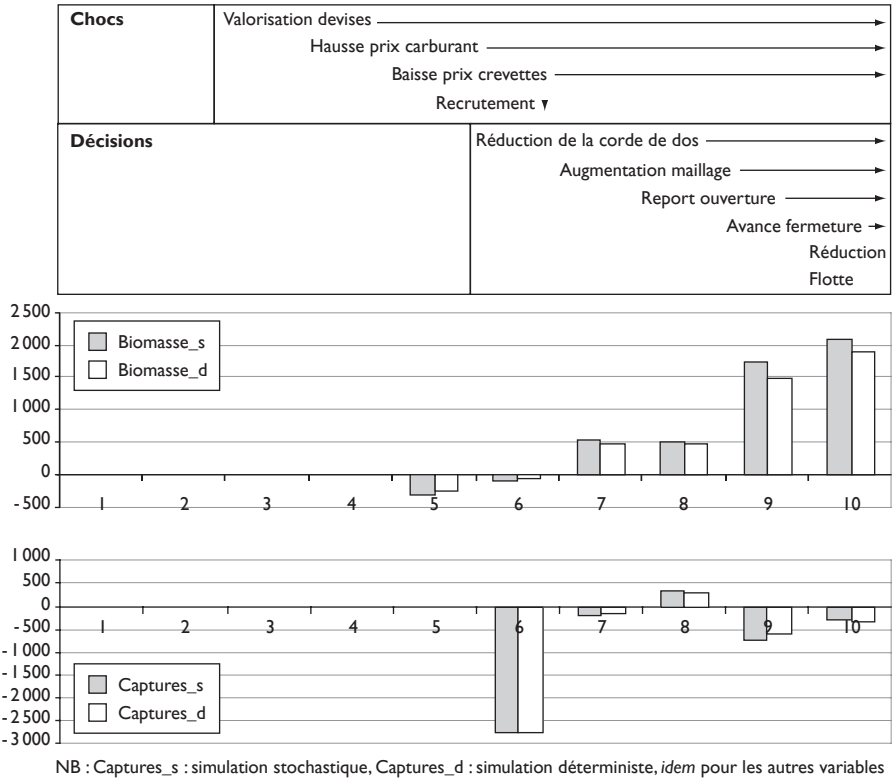


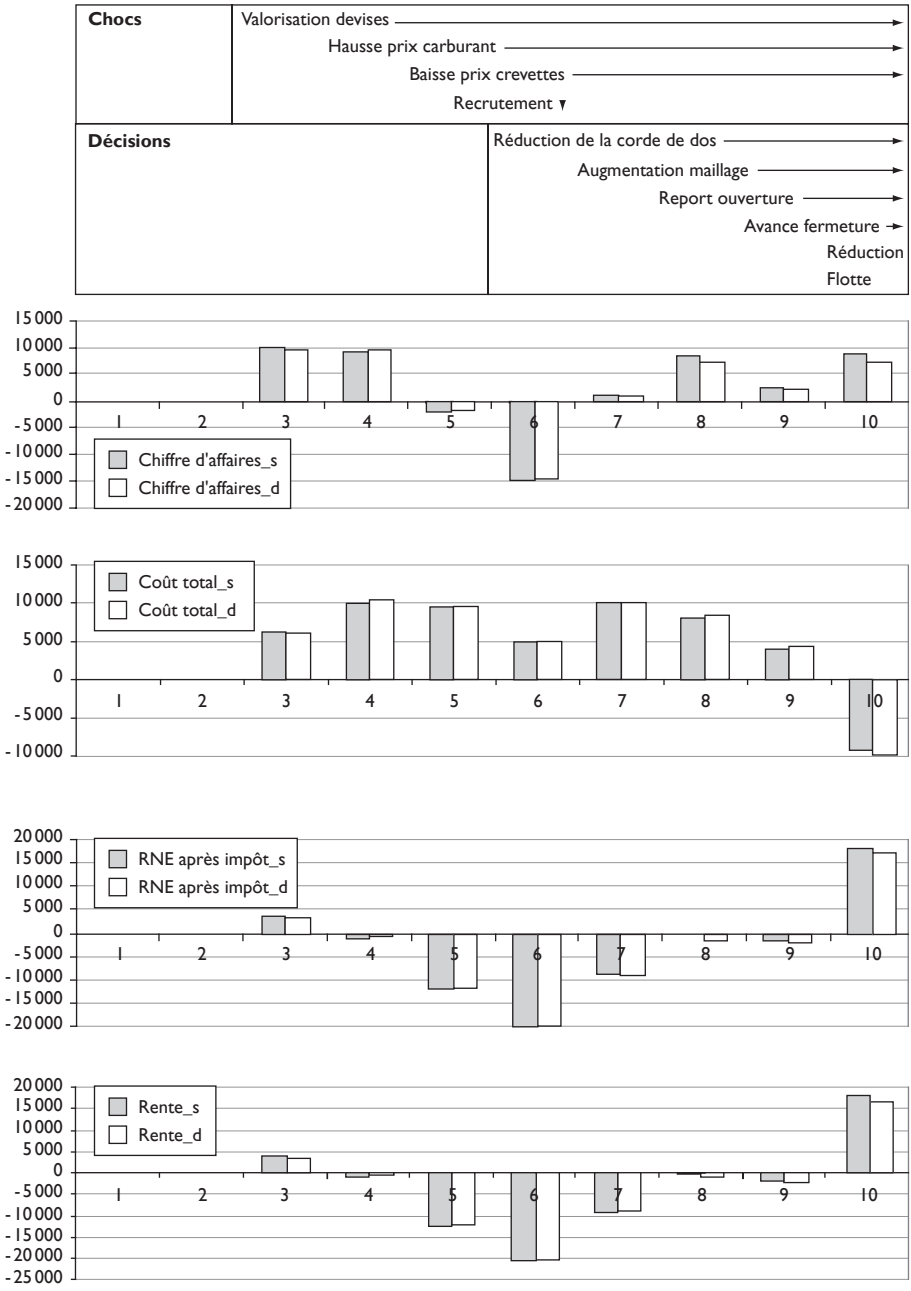
Fig. 149
Écarts des simulations déterministes et stochastiques (avec chocs exogènes et décisions de gestion) par rapport aux deux simulations correspondantes de base, pour la biomasse et les captures totales de crevettes (en tonnes).

La baisse du prix des crevettes sur le marché mondial en année 5 conduit à une dégradation très significative des résultats.

Voyons maintenant l'impact des décisions de politique des pêches censées rétablir la situation de la pêcherie.

La réduction de la corde de dos prise à l'année 6 a un effet très limité, ceux de l'augmentation de maillage à l'année 7 sont légèrement plus sensibles mais ces deux mesures sont loin de pouvoir, à elles seules, rétablir la situation économique de la pêcherie.

La mesure de report d'ouverture à l'année 8 a un effet positif très net. À l'année 9, la fermeture anticipée conduit à des résultats immédiats négatifs (mais on sait que les résultats de cette mesure ne sont réellement sensibles qu'à l'année suivante). La réduction générale de l'effort, en année 10, en complément des décisions précédentes, conduit à des gains relatifs très importants qui rétablissent les comptes annuels mais ne compensent pas les pertes accumulées sur les périodes précédentes.



NB : Rente_s : simulation stochastique, Rente_d : simulation déterministe, *idem* pour les autres variables

Fig. 150

Écarts des simulations déterministes et stochastiques (avec chocs exogènes et décisions de gestion) par rapport aux deux simulations correspondantes de base, pour les principales variables économiques (en millions d'ariary).

Ici aussi l'amélioration de la rentabilité privée ne coïncide pas, toutes choses égales par ailleurs, avec une augmentation des revenus nets des ménages ou de l'État. Pour ce dernier, les pertes en redevances liées à la réduction de l'effort ne sont pas compensées par une hausse suffisante des prélèvements fiscaux de l'État sur les résultats des firmes. Les simulations avec recrutement stochastique conduisent à des résultats très proches de ceux des simulations déterministes.

Discussion et conclusion

Les résultats des simulations obtenues avec le modèle pluriannuel confirment celles du modèle annuel quant à l'efficacité des mesures de gestion relatives à la durée de la campagne de pêche, à la modification des caractéristiques des engins de pêche ou bien encore à une réduction générale de l'effort de pêche industriel. L'effet d'une fermeture de pêche avancée est cependant mieux apprécié en raison de la prise en compte de son impact sur l'année suivante.

Les simulations réalisées jusqu'ici avec le modèle pluriannuel n'ont donc pas apporté de résultats significativement différents de ceux acquis avec le modèle annuel. Toutes les possibilités offertes par le modèle n'ont cependant pas été explorées, notamment celles permises par la prise en compte d'une dynamique endogène de l'effort de pêche, qui a été observée récemment par une diminution « endogène » des effectifs de navires industriels dans certaines zones. Il convient cependant de reconnaître que le modèle pluriannuel a une complexité accrue, qu'il nécessite des paramètres supplémentaires, alors que ces paramètres sont déjà très nombreux dans le modèle annuel, ce qui semble en limiter à ce jour les perspectives de transfert pour des usages non scientifiques.

Évolution du système d'aménagement, relations avec la dynamique de l'exploitation et son contexte économique

Christian Chaboud,
Théophile Rafalimanana,
Herimamy Lalaniaina Razafindrakoto

© A. de Rodellec/PNRC

Introduction

Cette contribution décrit l'évolution du système de gestion et d'aménagement de la pêcherie en relation avec l'exploitation de la ressource crevettière, ainsi qu'avec le contexte économique national et international de la pêcherie. On présentera les bases scientifiques de la gestion de la pêcherie, puis le cadre juridique et institutionnel de cette dernière. Enfin, on analysera les décisions de politique publique prises dans le contexte de pleine exploitation biologique et de surexploitation économique observé depuis la fin des années 1990 et on discutera des enjeux actuels de la gestion.

Les contextes économiques nationaux et internationaux de l'exploitation crevettière

Le contexte économique national

Les options économiques des différentes périodes qui se sont succédé après l'indépendance se caractérisent surtout par les politiques vis-à-vis de l'exté-

rieur (RAZAFINDRAKOTO, 1996). Le secteur de la pêche crevettière n'a pas évolué indépendamment de ces circonstances économiques.

La période de 1966 à 1972 est une phase d'acquisition progressive de l'indépendance économique. Les échanges commerciaux extérieurs ont augmenté, avec une lente diversification vers les biens intermédiaires et d'équipements favorables au développement d'une offre locale. Cette phase est aussi celle de l'implantation des sociétés industrielles crevettières à Madagascar. Elles ont bénéficié des recherches pionnières menées à partir du centre de recherches de Nosy Bé (FOURMANOIR, 1952 b ; CROSNIER, 1965), ainsi que par l'administration des pêches appuyée par l'aide japonaise (campagnes du navire *Chidorigo*).

De 1973 à 1981, le volontarisme économique de la Seconde République et ses choix idéologiques ont conduit Madagascar à opter pour une politique d'investissement à outrance, qui a concerné aussi la pêche industrielle crevettière. Des nouvelles sociétés se sont adjointes aux sociétés pionnières de la période précédente, d'où une forte hausse du nombre de bateaux de pêche, ainsi qu'une concurrence accrue pour l'accès à la ressource crevettière.

Suite aux déséquilibres financiers consécutifs aux choix économiques précédents, Madagascar s'est engagé sur la voie de l'ajustement structurel dans le cadre de laquelle on a encouragé les activités d'exportation. L'intensification des investissements en pêche crevettière industrielle a été largement soutenue par les bailleurs de fonds et encouragée par l'État. Ceci a incité à une reconversion vers la pêche crevettière des sociétés de pêche exploitant jusque-là d'autres ressources telles que crabes et langoustes.

La libéralisation graduelle de l'économie est mise en place de 1987 à 1995, elle est confrontée à la baisse des réserves en devises, en raison de la faiblesse des résultats du Plan d'ajustement structurel qui n'induit pas une réelle reprise de l'économie. C'est durant cette période qu'on a enregistré l'entrée dans la pêcherie de nouvelles sociétés, souvent éphémères, spéculant sur la ressource crevettière en profitant de la libéralisation de l'économie nationale et des changements politiques associés à la démocratisation.

Entre 1970 et le milieu des années 1990, la croissance de la pêcherie industrielle malgache a été soutenue par un marché mondial favorable pour la crevette, tiré par la demande des deux grandes zones de consommation que sont l'Europe et le Japon. La tendance soutenue du prix de la crevette a ainsi permis à la pêcherie de supporter les conséquences des premières crises pétrolières. Cette capacité à absorber les chocs énergétiques sera progressivement réduite.

À partir de 1996, la nécessité du renforcement des capacités de gestion des secteurs clés de l'économie nationale est prépondérante. Face à de multiples difficultés, liées aux changements politiques et aux pressions à l'entrée dans la pêcherie qui en résultent, les secteurs industriel et artisanal crevettiers tendent à mieux se structurer avec la création du Groupement des armateurs à la pêche crevettière de Madagascar[83] (GAPCM) soutenu financièrement

83. Devenu depuis le Groupement des aquaculteurs et pêcheurs de crevettes de Madagascar.

par l'Agence française de développement (AFD). Des efforts parallèles sont consacrés au renforcement de la capacité nationale de recherche avec la mise en place du Programme national de recherche crevettière (PNRC). L'année 2000 est marquée par le gel de l'effort de pêche industriel à son niveau de 1999 et par une réforme du système d'octroi des droits de pêche. L'évolution de l'opinion publique et des positions des ONG environnementales, de plus en plus sensibilisées aux principes d'une pêche durable et respectueuse de l'environnement, conduit le secteur crevettier malgache à entrer dans le processus de l'éco-certification de ses produits. Par ailleurs, un mécanisme de concertation se met en place au sein des divers acteurs de la filière avec la réalisation du projet Zones d'aménagement concerté (ZAC) dans trois régions pilotes (baie d'Ambaro, région de Morondava, baie d'Antongil).

Le contexte mondialisé et les contraintes internationales

Les statistiques de la FAO indiquent une production mondiale de pêche de 2 200 000 tonnes de crevettes de pêche en 2003, soit 2,3 % des captures totales mondiales maritimes. Madagascar, avec une production déclarée de 13 000 tonnes, se situe au vingtième rang mondial, loin derrière les grands producteurs asiatiques comme la Chine (820 000 tonnes), l'Inde (300 000 tonnes) et l'Indonésie (260 000 tonnes). Madagascar, en dépit d'avantages comparatifs remarquables (abondance et concentration de la ressource, faible coût de la main-d'œuvre), reste un producteur marginal dont la production, modeste à l'échelle internationale, se voit imposer les conditions du marché mondial de la crevette. Ce dernier a connu une croissance régulière en valeur depuis les années 1980 pour atteindre 11 milliards de dollars US en 2003, soit 16 % du commerce mondial des produits de la pêche, aquaculture incluse (FAO, 2007) ; les crevettes figurant désormais au premier rang (devant les thonidés) dans les échanges mondiaux de produits halieutiques. Cependant, cette croissance de l'offre crevettière s'explique essentiellement, depuis le milieu des années 1990, par l'envol de la production aquacole, en Asie puis en Amérique latine. Le développement de l'aquaculture s'est souvent opéré avec des coûts environnementaux importants (destruction des mangroves, pollution par les déchets et les produits sanitaires) non pris en compte dans les prix de revient aquacoles, et ceci a permis d'accroître la compétitivité de l'aquaculture crevettière vis-à-vis de la pêche. Le cours unitaire des exportations mondiales de crevettes a ainsi connu un net renversement de tendance au milieu des années 1990, qui s'est imposé au secteur de la pêche. En 2003, le prix moyen en dollar courant (6 $/kg) est inférieur à celui de 1986 (7 $/kg). Pour la pêcherie malgache cet impact a été d'autant plus important que cette tendance baissière des prix concerne, pour l'essentiel, les petits et moyens calibres commerciaux, dominants dans ses débarquements.

La seconde contrainte extérieure majeure pesant sur la pêche industrielle est le coût de l'énergie. En 2003, on a pu estimer que les charges en carburant-lubrifiant représentaient 28 % des consommations intermédiaires des chalu-

tiers-congélateurs, et 19 % du chiffre d'affaires. Ces résultats indiquent que les coûts énergétiques de la pêcherie industrielle malgache semblaient jusqu'ici relativement bien maîtrisés, par comparaison aux estimations internationales de la FAO qui mentionnent, pour l'ensemble des pêcheries démersales à engins actifs des pays en développement, un coût du carburant égal en moyenne à 26 % du chiffre d'affaires (FAO, 2007 : 147). Cependant, l'évolution récente du prix du gazole, qui aurait presque doublé entre 2003 et 2006 (FAO, *ibid.* : 145) a fortement contribué à la baisse de rentabilité de la pêcherie, déjà confrontée à la baisse d'abondance de la ressource. La croissance du coût de l'énergie alourdit également les coûts d'approche des deux marchés importateurs majeurs (l'Europe et le Japon).

Les bases scientifiques de la gestion et de l'aménagement

Les méthodes d'aménagement appliquées à Madagascar reposent sur le contrôle des inputs utilisés par le secteur de la pêche, et non pas sur ses outputs, pour reprendre une distinction déjà ancienne au sein des méthodes d'aménagement des pêches (Gulland, 1977). Par ailleurs, le système de gestion a connu, depuis la phase initiale de développement de la pêcherie, de profondes réformes institutionnelles, visant à accroître son efficacité économique et à réduire ses coûts de transaction (Rojat *et al.*, 2004), suivant en cela une évolution constatée dans de nombreuses pêcheries (Petersen, 2006).

Le contrôle de l'effort s'est appuyé en premier sur le système d'attribution annuelle de licences de pêche industrielles et artisanales par zone, ensuite sur la limitation de l'efficacité de la pêche (réglementation sur la longueur de la corde de dos et sur la puissance motrice des navires). Les méthodes agissant principalement sur la taille moyenne capturée et secondairement sur le volume des prises ont été la réglementation du maillage des chaluts et la fermeture saisonnière de la pêche crevettière sur la côte ouest. Comme on le verra plus loin, ces modes de contrôle ont évolué dans le temps et ont connu deux réformes importantes en 2000 et 2007.

L'avis scientifique adressé aux instances de gestion de la pêcherie a consisté essentiellement, jusqu'à une époque récente, en l'estimation des potentiels de capture « optimaux » par zone et dans celle de l'effort de pêche correspondant. On verra que les modèles de référence utilisés ont évolué dans le temps, ainsi que le découpage spatial des zones. Plus récemment, la dimension économique de l'aménagement des pêcheries a été mieux prise en compte, à travers l'appel à l'expertise extérieure, mais aussi par un renforcement des capacités nationales dans ce domaine.

Des diagnostics biologiques

Les diagnostics par les modèles de production synthétiques

Les évaluations réalisées à partir du premier zonage de la pêcherie

Les premières évaluations utilisent des modèles dits synthétiques, comme celui de SCHAEFER (1954) et ses développements ultérieurs (FOX, 1970), appliqués aux seules données de la pêche industrielle. On présentera ici les principaux résultats de ces approches et on discutera de leurs limites. Les évaluations initiales effectuées dans le passé ont été menées par zone (anciennes zones 1 à 10, cf. fig 1) reposant sur l'hypothèse que celles-ci étaient biologiquement indépendantes.

Les premières évaluations sont faites de 1967 à 1975 (MARCILLE, 1978) pour les zones 1 à 6. Les navires de référence choisis par Marcille sont les chalutiers-glaciers de 160 et 170 CV, les plus nombreux durant les premières années de la pêcherie.

De 1974 à 1983, des évaluations complémentaires sont faites pour les zones 7 à 10 où se développe désormais l'exploitation industrielle (RALISON, 1985). L'unité d'effort standard est ici le chalutier de 500 CV, mieux adapté aux conditions plus difficiles de cette zone.

RAZAFINDRAKOTO (1994) propose, pour la période 1979-1992, une nouvelle évaluation des zones 7 à 10. Les unités d'effort standard utilisées sont distinctes suivant les zones : 350 CV pour la zone 1, 260 CV pour les zones 2 à 6 et 500 CV pour l'ensemble des zones plus au sud.

Le tableau 64 présente la synthèse de ces résultats d'évaluation de stocks par les chercheurs de l'Orstom puis du CNRO.

Tableau 64

Synthèse des résultats d'évaluation réalisés sur la base du zonage initial de la pêcherie (en tonnes).

Auteurs	Marcille 1972	Marcille et Veillon 1973	Marcille 1978		Ralison 1978	Ralison et Razafindralambo 1984	Ralison 1985	OISO/CNRO 1989	CNRO 1991	Razafindrakoto 1994	
Années	1967 à 1971	1967 à 1972	1967 à 1975		1974 à 1977	1967 à 1980	1974 à 1983	1968 à 1988	1979 à 1980	1979 à 1992	
Type de modèle	Schaefer	Schaefer	Schaefer	Fox	Fox	Fox	Fox	Fox	Fox	Schaefer	Fox
Zone											
1	1 150	1 500	1 500	1 377	1 500	1 600		1 570			
2	670	760	964	745	763	720					
3			407	349	324	300					
4			581	401	312	310					
5		700	753	751	930	910					
6		1 300	1 142	1 055	1 272	1 370			976		
7									725	719	711
8									823	445	898
9									372	363	442
10										1 202	1 255
7 à 10							2 500			2 496	2 523

Source : RAZAFINDRAKOTO, 1996.

Les évaluations les plus anciennes par modèle de production (MARCILLE, 1978) ont montré que dans les zones 1, 5 et 6 l'exploitation avait déjà atteint l'optimum de capture et qu'il n'y avait donc aucune capture supplémentaire à attendre d'une augmentation de l'effort de pêche. Le modèle linéaire dans le cas de la zone 2 et 3 n'apparaissait pas adapté, mais pour ne pas prendre de risque inutile quant à l'avenir du stock, cet auteur avait proposé de réduire l'effort. Pour la zone 4, il apparaissait nécessaire de diminuer l'effort de moitié. L'évaluation ultérieure des zones sud (7 à 10) par RALISON (1985) conclut sur la possibilité d'introduire de nouveaux bateaux. Ceci paraît cohérent avec le développement plus récent de la pêche industrielle dans cette zone. RAZAFINDRAKOTO (1994) a réévalué les potentiels de pêche par zone en utilisant des coefficients de standardisation différents selon les zones de pêche. Une évaluation à la hausse a été ainsi obtenue pour les zones 3 et 4, les efforts de pêche atteints apparaissant inférieurs aux niveaux associés à la capture optimum.

Nouveau zonage et conséquences pour les évaluations de ressource

En 2000, une refonte de la spatialisation légale des zones de pêche a été décidée, conduisant à un nombre réduit de zones selon les principes exposés au tableau suivant. Ces changements intervenus dans le système de gestion (les autorisations de pêche étant attribuées par zone) auront bien sûr des conséquences sur les évaluations scientifiques réalisées en appui au dispositif de gestion.

Anciennes zones	Nouvelles zones
1	A
2, 3, 4	B
5 à 10	C
11 à 13	D

Les diagnostics d'évaluation obtenus avec ce nouveau zonage diffèrent légèrement des précédents (RAFALIMANANA, 2003). Rafalimanana a analysé la réponse de la ressource crevettière, à l'échelle des nouvelles zones, à la pression de pêche depuis le début de l'exploitation de la ressource jusqu'en 2002 en utilisant les efforts théoriques correspondant aux indices d'abondance calculés par modèle linéaire généralisé. Des diagnostics par ajustement du modèle global et l'analyse de la sensibilité des résultats à la dérive des puissances de pêche[84] ont été réalisés. Dans les zones A et B, les stocks seraient désormais dans une situation de surexploitation biologique. Une diminution de près du quart de l'effort actuel permettrait d'avoir la production maximale équilibrée. Dans l'hypothèse la plus pessimiste (augmentation de la puissance de pêche égale à 5 % par an), on aboutit à un diagnostic de très forte surexploitation. La zone C (sud) a été séparée en deux (zone C-nord-ouest et zone C-sud). La barrière géographique entre les deux zones (Cap Saint-André) et les résultats de marquage des crevettes permettent de justifier cette option

84. Le diagnostic dit optimiste correspond à l'absence de dérive des puissances de pêche, et le diagnostic dit pessimiste est associé à un accroissement annuel de la puissance de pêche de 5 %.

(Rafalimanana, 2005 b). La zone C-sud est dans une situation de pleine exploitation, tandis que celle du nord-ouest est dans une situation de légère surexploitation. Dans l'hypothèse la plus pessimiste, on aboutit à un diagnostic de très forte surexploitation pour les deux sous-zones.

Discussion sur l'usage des modèles synthétiques pour l'évaluation des stocks de crevettes

L'usage des modèles synthétiques de type linéaire (Schaefer) ou asymptotique (Fox), dominant jusque dans les années 1990, a permis de produire des propositions répondant à l'attente première des gestionnaires de la pêcherie crevettière malgache : estimer les Prises maximales équilibrées (MSY) et le niveau d'effort de pêche industriel optimal pour y parvenir. Cinq types de limites apparaissent, ex post, quant à la capacité de cette approche pour évaluer la situation de la pêche et fournir des recommandations pertinentes pour garantir sa durabilité.

– Le caractère multispécifique de la ressource n'est pas pris en compte : même si *F. indicus* est restée dominante, la part des autres espèces est loin d'être négligeable, et tend à prendre de l'importance avec les stratégies développées par les armements : pêche diurne sur *F. indicus* et nocturne sur *M. monoceros* et *P. semicultacus*, pêche plus profonde sur *P. japonicus*.

– Évaluer les stocks sur la base des captures et de l'effort industriel est évidemment insuffisant et trompeur en présence d'un schéma d'exploitation séquentiel où les captures de la pêche traditionnelle sont croissantes et conditionnent en partie celles de la pêche industrielle. Les captures de la pêche traditionnelle, sur la côte nord-ouest (zones A et B) dépassent celles de la pêche industrielle pour l'espèce *F. indicus*. Les évaluations sur la seule base des captures industrielles conduisent alors à une sous-évaluation de la ressource.

– Les standardisations successives de l'effort de pêche utilisées dans les évaluations sont sujettes à discussion dans la mesure où les modèles techniques évoluent rapidement (dérive des puissances de pêche), et où tous les types de navire ne sont pas répartis de façon homogène sur l'ensemble des zones. Gréboval et Rakotozanany (1996), sur la base des rendements observés en 1990-1993, ont constaté que la standardisation la plus ancienne, proposée par Marcille, aurait conduit à une surestimation systématique de l'effort effectif de l'ordre de 35 % ; ce phénomène serait survenu dès le début des années 1980. Une analyse des caractéristiques des bateaux en relation avec leurs rendements par Razafindrakoto (2001) a révélé que, depuis les années 1990, la puissance de pêche n'était plus directement corrélée à la puissance motrice du navire, d'autres facteurs intervenant donc significativement dans la standardisation de l'effort, notamment l'énergie nécessaire à la production de froid, la longueur de cordes de dos des chaluts, et les stratégies de valorisation de la capture à bord ou à terre.

– Les modèles globaux n'intègrent pas les effets de la variabilité environnementale, qui est un des facteurs premiers de la variabilité internannuelle de l'abondance de la ressource crevettière.

– L'absence de toute considération de rentabilité économique ou financière dans l'avis scientifique conduit à recommander des niveaux d'effort de pêche bien supérieurs à ceux qui permettraient de maximiser la richesse économique créée par la pêcherie. Dès 1978, un chercheur biologiste du Centre national de recherches océanographiques soulignait cette difficulté. « Les sciences halieutiques ont acquis suffisamment de développement au stade actuel et la pêche crevettière malgache a fourni suffisamment de données, exploitables avec profit au niveau des laboratoires de recherches, pour que l'on se contente de donner encore comme leitmotiv la recherche exclusive de la production maximale. En d'autres termes, cette exploitation n'étant pas orientée vers l'approvisionnement protéinique de la population locale, devrait être une activité axée, non pas vers la recherche de l'apport maximal en devises, mais vers la recherche de la réalisation d'un rapport favorable à l'économie malgache » (RALISON, 1978 : 37). L'auteur soulignait que l'effort optimal économique est alors bien inférieur à celui permettant la capture maximale. L'effort permettant d'atteindre le résultat économique maximal était de « 45 000 heures pondérées », soit « 34 % de l'effort permettant d'atteindre la Production maximale équilibrée » (RALISON, 1978 : 35). Cette référence ancienne à des considérations plus bioéconomiques que biologiques est remarquable, elle anticipe sur les futures difficultés de la pêcherie.

Les diagnostics par les modèles analytiques

La ressource, longtemps assimilée au stock de sa principale composante *F. indicus*, s'avère être multispécifique selon les modalités d'exploitation (jour-nuit, éloignement de la côte, saisonnalité, …) et les zones exploitées. De plus, les captures des différents segments d'exploitation (industriel, artisanal et traditionnel) ne sont plus comparables, dans les années récentes, en termes de composition spécifique et de structure en tailles (DINTHEER, 2005). L'atelier FAO/CNRO tenu à Nosy-Bé en 1989 (OISO/CNRO, 1989) avait déjà souligné l'intérêt de l'application des modèles structuraux pour le diagnostic de l'état des stocks et l'aménagement de la pêcherie crevettière à Madagascar. Les deux premiers ateliers sur l'aménagement de la pêche crevettière malgache (1996 et 1998) ont permis de restituer les résultats de l'évaluation analytique initiée depuis 1993 avec le concours de la FAO. Ces nouveaux diagnostics sur l'état des stocks des deux principales espèces cibles (*F. indicus* et *M. monoceros*) ont montré des situations de pleine exploitation de la ressource (DINTHEER et RAZAFINDRAKOTO, 1996 ; DINTHEER *et al.*, 1998). Un diagnostic d'une légère sous-exploitation pour *M. monoceros* est avancé par MOGUEDET *et al.* (2001) pour l'année 1998. Ces auteurs montrent que les stocks de *F. indicus* sont pleinement exploités pour les zones A, B et C. Pour cette dernière espèce, ce résultat est confirmé par SANDON *et al.* (2003, 2005) et les évaluations plus récentes présentées. Les niveaux d'exploitation des trois stocks (fractions de stocks en zone A, B et C) pour les années 2003 et 2004 varient donc autour d'une situation de pleine exploitation biologique (SANDON *et al.,* 2005 ; chapitres 8 et 9), voire de surexploitation si l'on prend

explicitement en compte l'impact de l'ensemble des engins non sélectifs de la pêche traditionnelle (chapitres 8 et 9).

Les résultats d'analyses par les modèles globaux (hypothèse optimiste) et les modèles structuraux se rejoignent donc dans un diagnostic général de pleine exploitation à une légère surexploitation biologique de la ressource.

Les diagnostics bioéconomiques : une vision plus pessimiste que celle des biologistes

Les principaux travaux et résultats

La référence à l'économie des pêches et plus particulièrement à la formalisation bioéconomique n'est pas si récente à Madagascar et des travaux antérieurs à ceux du PNRC peuvent être cités : Ralison (1978) ; Oiso/CNRO (1989) ; Gréboval (1996) ; Ralison et Razafindralambo (2000). Tous ces travaux convergent dans leurs conclusions sur la nécessité de la prise en compte des variables économiques qui expliquent l'activité de pêche (coûts et prix) et sur la nécessité d'évaluer les résultats de la pêche selon des critères d'efficacité économiques, plus exigeants que la Production maximale équilibrée. Ralison soulignait déjà en 1978 que l'effort de pêche industriel exercé sur la côte ouest devait être réduit de plus de 50 % pour permettre à la pêcherie de produire des effets économiques optimaux sur l'économie nationale. L'application du modèle bioéconomique développé par Chaboud (2003 et chapitre 11) dans le cadre du PNRC débouche sur des conclusions hélas forts proches de celles de Ralison (1978) sur la surexploitation économique dans la pêche crevettière. Ce modèle plus récent prend en compte l'intégralité des types de pêche exploitant la ressource, à la différence de l'analyse de Ralison restreinte à la composante industrielle. Il intègre explicitement les interactions biologiques et économiques entre ces différents segments. Les principaux indicateurs de résultats économiques (rente économique, résultat net d'exploitation (RNE), contribution nette à la balance commerciale et valeur ajoutée nette (VAN) directe) sont maximums avec un coefficient multiplicateur de flottilles égal à 0,3 (diminution de l'effort effectif de pêche de 70 %), résultat comparable à celui de Ralison (1978).

Sur la base de la simulation bioéconomique de référence pour la côte ouest (année 2003) dont les résultats ont déjà été présentés dans cet ouvrage, on a procédé, de façon analogue à la méthode utilisée pour l'étude du rendement par recrue, à une série de simulations pour lesquelles l'ensemble des différentes flottilles a été multiplié par un facteur variant de 0,1 à 1,2[85]. On compare ces simulations sur la base d'un ensemble d'indicateurs de performance économiques[86] rapporté au nombre de recrues totales (toutes espèces et sexes confondus) : chiffre d'affaires, résultat net d'exploitation après

85. La méthode est analogue à celle des biologistes étudiant la réponse du rendement par recrue ou de la production à une variation du multiplicateur d'effort de pêche.

86. La définition précise des indicateurs fournis est donnée au chapitre 11 consacré à la présentation du modèle annuel.

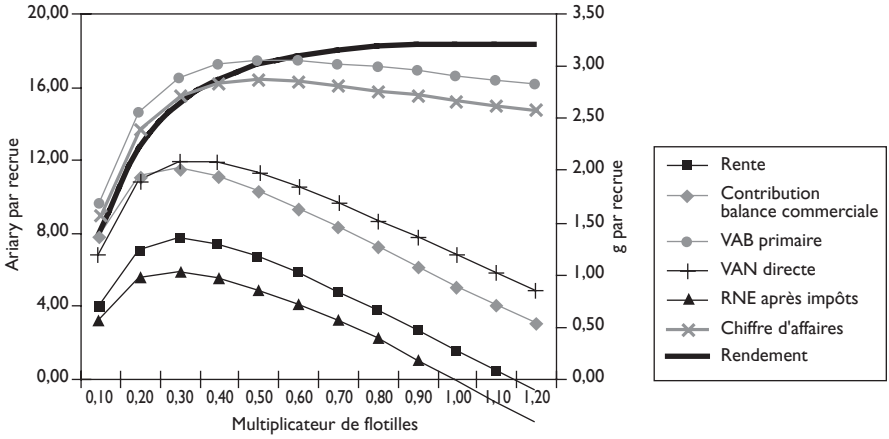


Fig. 151
Diagnostic économique de l'ensemble de la pêcherie crevettière malgache, côte ouest : principaux indicateurs économiques par recrue.

impôts, rente économique, valeur ajoutée nette directe, valeur ajoutée primaire brute, contribution nette à la balance commerciale. On présente également, à des fins de comparaison, le rendement en poids par recrue obtenu par cette simulation, tous sexes et espèces de crevettes confondus. Les résultats (fig. 151) montrent très clairement que la pêcherie, tous segments confondus, est dans une situation nette de surexploitation économique.

Pour la situation de référence (multiplicateur égal à 1) la pêcherie ne crée aucun surplus financier, représenté par le RNE (les firmes privées arrivent juste à couvrir leurs charges), et une rente par recrue de 1,5 ariary. L'écart entre rente économique et résultats privés s'expliquant par les redevances perçues par l'État. Ces mauvais résultats économiques sont observés bien que l'on se situe quasiment à l'optimum biologique (maximum de la courbe de rendement par recrue).

Pour tous les indicateurs économiques retenus, une réduction de l'effort de pêche conduit à une amélioration des résultats économiques. Une réduction de 50 % permet d'atteindre le maximum de valeur ajoutée primaire brute (incluant les effets induits sur l'ensemble des branches de l'économie nationale), soit 17,35 ariary par recrue ; ainsi que le maximum de chiffre d'affaires par recrue, soit 16,3 ariary. Les valeurs optimales pour la contribution nette à la balance commerciale (11,5 ariary par recrue), la rente économique (7,62 ariary), le résultat net d'exploitation (5,75 ariary par recrue) et la valeur ajoutée nette directe (11,80 ariary par recrue) sont obtenues avec un multiplicateur de flottille égal à 0,3[87].

87. Si l'on avait fait les simulations avec un incrément plus réduit du multiplicateur de flottilles, les optima de ces différents indicateurs auraient été obtenus pour des valeurs légèrement différentes du multiplicateur. Ainsi, la valeur ajoutée nette qui intègre le coût du travail (certes relativement peu élevé à Madagascar) doit être maximale pour un effort de pêche supérieur à celui qui maximise le résultat net d'exploitation.

Discussion sur le diagnostic bioéconomique

Il est clair qu'une évaluation bioéconomique sur la base des prix et des coûts actuels conduirait à des conclusions encore plus restrictives quant à la réduction souhaitable de l'effort de pêche. L'arrêt d'activité en 2006 de l'ensemble de l'armement Somapebo exploitant la zone B confirme, hélas, le réalisme actuel de ce diagnostic sur la fragilité économique de la pêcherie.

On peut cependant se questionner sur la pertinence ou le réalisme d'une recommandation qui viserait à conduire à court terme la pêcherie vers cet optimum économique très restrictif en terme de niveau d'activité. Une telle évolution risque d'imposer des ajustements trop difficiles à court terme pour la plupart des opérateurs économiques. On peut cependant considérer ces *optima* comme des points de référence « idéaux » qui indiquent la direction vers laquelle il faut tendre, plus que comme des objectifs d'aménagement rigides et à caractère obligatoire à court terme. Il existe d'autres variables de contrôle qui peuvent accompagner une réduction progressive et prudente de la taille des flottilles (durée de la campagne de pêche, caractéristiques des engins de pêche, fermeture spatiale et prohibition de techniques de pêche non sélectives).

On doit également discuter l'approche globale (toutes flottilles confondues), et il est possible d'affiner le diagnostic en recherchant des optimums conditionnels reposant sur des choix ou des hypothèses relatifs à des segments de pêche particuliers. Il reste cependant évident que la réduction de l'effort de pêche devra concerner l'ensemble des segments de pêche, condition nécessaire pour que les coûts immédiats et les gains futurs de cette décision soient répartis de façon équitable.

Face à ces constats biologiques et économiques sur la ressource biologique et la profitabilité de son exploitation, il convient de se questionner sur les réponses apportées par les gestionnaires, publics et privés de la pêcherie, leur pertinence et leurs limites.

Les réponses aux enjeux de la gestion durable de la pêcherie crevettière malgache

La crevette est considérée comme une ressource stratégique à Madagascar, à ce titre elle relève de la compétence exclusive de l'État[88].

Le système de gestion de la pêcherie a connu d'importantes évolutions depuis les années 1960, qui contredisent l'idée d'une administration passive face aux évolutions imposées par les contextes économiques et politiques.

88. Article 135 de la Constitution de 1992, révisée en 1998.

On abordera dans un premier temps le cadre juridique de la gestion, c'est-à-dire le système de normes, de règles et de sanctions qui s'imposent aux exploitants. On traitera ensuite de l'évolution du système de recherche et d'expertise qui est fortement sollicité pour produire des analyses et appuyer les décisions de gestion. Puis on abordera la question du contrôle et de la surveillance des pêches, sans lesquels le système juridique évoqué plus haut ne pourrait produire des effets tangibles.

Le cadre juridique de la gestion des pêches

L'État malgache s'est doté d'un corpus de lois, ordonnances, décrets et arrêtés dont le contenu marque la volonté de maîtriser l'effort de pêche dans la pêcherie, de garantir la contribution de la pêcherie au budget de l'État, d'inscrire dans sa législation et réglementations les orientations internationales sur la gestion et la conservation des ressources et de la biodiversité marine. Madagascar adhère à ces orientations à travers des traités, conventions et engagements internationaux, qui, même s'ils ne concernent pas toujours directement les activités de pêche, peuvent contraindre ou orienter leur exercice.

Les influences internationales

Au sommet de la hiérarchie juridique se situent les conventions internationales. Madagascar a signé en 1985 et ratifié en 1991 la Convention des Nations unies sur le droit de la mer, dite Convention de Montego Bay (CMB). La ratification de la CMB a eu comme conséquence une mise en conformité des textes juridiques malgaches sur la mer et la pêche relatifs au zonage de l'espace marin, aux droits et obligations de l'État côtier concernant l'exploitation et la conservation des ressources marines (Randrianarisoa, 2006). D'autres conventions ont eu des conséquences sur la réglementation. Entre autres, la Convention sur la diversité biologique (CDB) de 1992, ratifiée par Madagascar en 1995, a influencé les mesures récentes visant la réduction de l'impact de la pêche sur la biodiversité marine. En 1995, Madagascar a adhéré au Code de conduite pour une pêche responsable promu par la FAO. Ce code est facultatif, il a valeur d'engagement et n'a pas la portée juridique d'une convention internationale. Cependant, ceci souligne la volonté de l'État de suivre les recommandations internationales relatives à la gestion durable des pêches.

La réglementation nationale

Le plus ancien texte est le décret du 5 juin 1922, dont certains articles restent toujours valides. Bien que ne traitant pas en particulier de la pêche crevettière, certaines de ses dispositions auront des conséquences sur la gestion de cette pêcherie au lendemain de l'indépendance. Il s'agit tout d'abord de la définition des techniques et engins de pêche prohibés (titre III du décret), question qui reste d'actualité concernant les engins non sélectifs de la pêche traditionnelle. Le second point est l'interdiction de la pêche au chalut à moins de deux milles de la côte. Comme on le verra plus loin, l'application de cette disposition à la pêche crevettière posera problème.

À partir de l'indépendance (1960), des textes plus spécifiques seront produits pour répondre au besoin de gestion de la pêcherie industrielle en développement.

Jusqu'en 1993, deux textes de base réglementaient la pêche maritime et notamment la pêche industrielle crevettière. Tout d'abord, le Code maritime (loi 66-007) du 5 juillet 1966, ensuite le décret 71.238 du 18 mai 1971 (modifié par le décret 73.171 du 22 juin 1973). Les dispositions principales sont les suivantes :

La pêche dans les eaux territoriales (où se pratique la pêche crevettière) est réservée aux navires malgaches. Le décret de 1971 impose la possession d'une licence à tous chalutiers-crevettiers opérant dans les eaux malgaches, ainsi qu'aux navires de collecte et d'appui. Celle-ci donne accès à la ressource crevettière et est attribuée au bateau. La Commission interministérielle des pêches (CIP) est instaurée pour attribuer chaque année aux sociétés leur nombre de licences et leurs droits de pêche par zone, cet avis devant se fonder sur des considérations économiques (emplois et bases à terre) et biologiques (évaluations scientifiques de la ressource). Ces procédures s'appliquent à tous les armements, y compris ceux bénéficiant de zones exclusives. Chaque bateau de plus de 25 CV peut utiliser un ou plusieurs chaluts totalisant au maximum 77 m de corde de dos. Les plus petites mailles des chaluts à crevette ne doivent pas avoir moins de 20 mm de côté. La puissance maximale des unités artisanales est de 25 CV. L'article 11 du décret de 1973 reconsidère l'interdiction de pêche dans la zone côtière des deux milles, il y est mentionné que « par dérogation à l'article 10 du décret du 5 juin 1922 les licences de pêche au chalut peuvent autoriser leurs détenteurs à pêcher la crevette dans la zone des deux milles à compter de la côte ». Enfin, le chalutage crevettier est arrêté deux mois par an durant la période de recrutement principal des crevettes, (initialement cette mesure s'appliquait du 1er décembre au 31 janvier et ne concernait pas les activités de pêche traditionnelle, elle sera appliquée plus tard à ce dernier secteur).

L'ordonnance n° 93.033 du 4 mai 1993 constitue une nouvelle base de la législation des pêches, elle abroge les dispositions du Code maritime relatives à la pêche. Les dispositions du décret n° 94.112 remplacent celles du décret 71.238 du 18 mai 1971.

Les principaux changements apportés par ces textes concernent la puissance maximale des chalutiers : 500 CV pour la pêche industrielle et 50 CV pour la pêche artisanale. Les bateaux étrangers peuvent désormais pêcher dans les eaux malgaches, le principe général restant celui de la priorité donnée aux nationaux. Enfin, l'obtention d'une licence industrielle ou artisanale est soumise à l'autorisation du ministère en charge de la pêche ainsi qu'au paiement d'une redevance (art. 12 et 13 de l'ordonnance de 1993). La réglementation concernant les caractéristiques des engins et la période de fermeture de pêche reste inchangée.

À partir de l'année 2000, la réglementation de la pêche connaît une profonde inflexion, marquée par la place croissante accordée à des considérations d'efficacité économique, par une reconnaissance du rôle du secteur privé dans la gestion du secteur, ainsi que par un souci croissant de limiter l'impact de la pêche crevettière sur la biodiversité marine.

Le décret 2000-415 du 16 juin 2000 introduit une réforme en profondeur du système d'octroi des licences de pêche crevettière. Cette réforme poursuit plusieurs objectifs : sécuriser les droits de pêche des opérateurs privés, mais aussi celui de la contribution du secteur au budget de l'État. Ce décret instaure un système de cogestion où les décisions importantes (telles que l'ajustement des redevances de pêche, l'application des recommandations de l'Observatoire économique) doivent être prises en consultant le groupement des armateurs. Dans ce nouveau système, les droits des différentes parties sont définis de façon plus transparente et sont sécurisés. La contribution des revenus de l'État est précisée avec un objectif de 8 % de la valeur des captures. En contrepartie, les licences de pêche ont une durée de vie de 20 ans, sont transférables entre opérateurs privés, et les conditions de leur retrait sont clairement définies. Ce décret officialise également le gel de l'effort de pêche négocié en 1998 entre les amateurs et l'État. Ce décret officialise la création de l'Observatoire économique (art. 3) qui « doit définir un système d'analyse de performances utilisé, dans un premier temps, pour le suivi de la pêcherie crevettière et pouvant, ensuite, servir à réajuster les redevances et à sanctionner les opérateurs du secteur les moins performants ».

L'arrêté 1613-2002 du 13 juillet 2002 rend obligatoire l'installation de balises satellitaires sur tous les navires de pêche industrielle. Cet arrêté permet au centre de surveillance des pêches de disposer d'un suivi en temps réel des flottilles de pêche opérant dans les eaux malgaches.

En 2003, les dispositions relatives aux caractéristiques des chaluts sont redéfinies par le décret 2003-1101. La longueur maximale totale de corde de dos par navire est désormais réduite à 69 m (contre 77 auparavant), le maillage minimal des chaluts augmentant à 25 mm de côté (contre 20 auparavant). Enfin, ce même décret rend obligatoire, sur la côte ouest, l'usage d'un dispositif d'échappement des poissons d'accompagnement et, sur l'ensemble du littoral, d'un dispositif d'échappement des tortues. Ce décret ne précise pas les caractéristiques techniques de ces deux derniers dispositifs.

Au cours des dernières années, la réglementation des pêches s'est orientée vers le contrôle des activités de pêche traditionnelle, en commençant par la zone où cette activité est très importante. L'arrêté 855-2006 du 18 janvier 2006 instaure un gel de l'effort de pêche traditionnel (création d'un registre administratif des engins) et de la collecte dans la zone A. En octobre 2006, un arrêté (18 679-2006) désigne les filets maillants (*periky*) de maillage étiré supérieur ou égal à 40 mm et les sennes (*kaokobe)* de maillage étiré supérieur à 30 mm comme étant les seuls engins autorisés en zone A. Les autres engins enregistrés pourront continuer à être autorisés, sous réserve que des études spécifiques montrent qu'ils ne sont pas destructeurs ou non sélectifs, sinon ils seront prohibés.

Plus récemment, le décret 2007-957 « Portant définition des conditions d'exercice de la pêche des crevettes côtières » renforce la réforme déjà largement entamée du système d'octroi des droits de pêche ainsi que le contrôle et la régu-

lation des activités de pêche traditionnelle. La principale innovation de ce décret est de modifier le système d'octroi des droits de pêche. En complément des licences et autorisations annuelles de pêche déjà existantes, est introduite une allocation d'unités d'engins (mesures en cm de longueur de corde de dos). Le total et la répartition initiaux des droits sont précisés dans le décret. Licences de pêche et unités d'effort de pêche peuvent être vendues, cédées ou louées, sous réserve qu'une même société ne puisse pas posséder plus de 40 % du nombre total d'unités d'engins allouées au secteur industriel. Ce système de gestion de l'effort est inspiré de l'expérience australienne. Les avantages attendus sont une plus grande souplesse dans l'ajustement de l'effort de pêche, la réduction des coûts de transaction et une meilleure efficience économique grâce à la possibilité de transactions privées sur les licences et les unités d'effort de pêche. Nous ne disposons pas à ce jour de suffisamment de recul pour juger des inflexions induites par ces changements. Enfin, ce décret reprend pour l'essentiel les dispositions de l'arrêté 18 679-2006 permettant un meilleur contrôle des activités de pêche traditionnelle (gel de l'effort, interdiction d'engins non sélectifs, institution d'une carte professionnelle, gel de la collecte).

La recherche et l'expertise

La production d'une information de qualité pour l'aide à la décision, mais aussi pour la connaissance accessible à l'ensemble des parties prenantes est indispensable pour garantir l'efficacité du système de gestion des pêches. On a vu que les premières contributions scientifiques, réalisées à partir du centre Orstom puis du CNRO de Nosy Bé, avaient consisté dans l'identification des ressources puis dans l'évaluation biologique des stocks de crevettes côtières. Deux innovations majeures ont permis, à la fin des années 1990, d'améliorer la quantité et la qualité de l'information sur la pêcherie :

– L'Observatoire économique de la filière crevettière, créé en 1989 (et officialisé par le décret 2000-415) est un organisme paritaire dépendant du ministère en charge de la pêche et du GAPCM. Sa tâche principale est la production d'une information économique de qualité sur la filière, permettant d'appuyer les décisions dans un contexte de négociation permanente entre État et opérateurs économiques privés. Les indicateurs ainsi obtenus sont entre autres utilisés pour l'ajustement annuel des droits de pêche. En 2007, l'observatoire a été reconfirmé dans ses compétences par le décret 2007-857 qui précise également qu'il est le seul dépositaire des données statistiques et économiques sur la pêche crevettière.

– Le Programme national de recherche crevettière (PNRC) a été créé en 1997 avec l'appui financier de la coopération bilatérale française (AFD) et le concours scientifique de l'Institut de recherche pour le développement (IRD). Certains de ses résultats, parmi les principaux, sont présentés dans cet ouvrage. Il convient également de mentionner ceux parus dans un ouvrage précédent (Goedefroit *et al.*, 2002) qui avait traité de la dynamique de l'exploitation traditionnelle et de ses facteurs d'évolution.

L'expertise internationale doit être également citée comme source d'information et de réflexion sur les questions d'aménagement et de gestion. Outre le recours à des experts sur des domaines scientifiques spécifiques (comme la technologie des engins de pêche, ou bien encore la dynamique des populations exploitées), il faut mentionner la constitution de deux « comités des sages » en 1998 (Griffin *et al.*, 1998) et 2003 (Goodlad *et al.*, 2003). Ces derniers sont constitués de sommités internationales pour apporter des avis sur des questions difficiles et controversées comme l'orientation générale de la politique des pêches ou bien encore la réforme du système d'octroi des droits de pêche.

Le contrôle, le suivi et la surveillance

Dès 1971, la réglementation malgache impose la mise en place de relevés mensuels de production. Cependant, l'analyse des estimations de captures de la pêcherie s'avère alors difficile. En effet, les déclarations de captures sont aléatoires et les espèces ne sont pas distinguées ; le codage des zones n'est pas standardisé (Dintheer et Razafindrakoto, 1995). En 1997, est élaborée la base de données BANACREV (Andriantsoa, 1998), qui a été validée et utilisée depuis sous le nom de BANACREM. Depuis 1995, toutes les fiches de pêche sont saisies dans cette base de données, qui contient également des informations techniques et administratives. Cependant, ce recueil d'information ne concerne pas la pêche traditionnelle, qui ne fait actuellement l'objet d'un suivi régulier que dans quelques zones comme les baies d'Ambaro et de Narindra (Rakotodratsimba *et al.*, chapitre 7).

Le rapport du Comité des Sages de 1998 (Griffin *et al.*, 1998) faisait référence à la nécessité d'établir un système fiable de surveillance et d'application de la réglementation. C'est une des raisons de la création du projet Contrôle et Surveillance des pêches en 1998, avec l'appui financier de l'Union européenne. La mise en place d'un suivi satellitaire[89] a été rendue obligatoire par décret en juillet 2002. C'est un moyen de contrôle en temps réel permettant de diminuer la fréquence des sorties navales et aériennes, extrêmement coûteuses.

Les décisions de gestion et les orientations récentes

Comme on l'a vu précédemment, la gestion de la ressource crevettière malgache a connu de profonds bouleversements au cours des dix dernières années.

Ces nouvelles orientations peuvent être résumées comme suit :

– Affirmation de la cogestion comme principe dans la gestion des pêches : la création du GAPCM en 1994 (avec le soutien financier de l'AFD) a permis au secteur privé de devenir un acteur à part entière de la gestion de la pêcherie et de limiter les comportements individuels opportunistes qui avaient caractérisé la pêcherie durant sa phase de développement (Rojat *et al.*, 2004). Le secteur privé peut être considéré comme l'initiateur de certaines innovations récentes

89. L'ensemble des unités de pêche industrielles sont équipées de balises émettrices Inmarsat® ou Argos®.

qui ont été ensuite entérinées dans la réglementation : réduction de la corde de dos et augmentation de maillage des culs de chalut. Le secteur privé a également été moteur dans une meilleure prise en compte des dimensions économiques et environnementales de la gestion des pêches. La démarche d'écocertification (Caillard et Mazaudier, 2003) de la pêcherie, entamée à l'initiative du GAPCM auprès du Marine Stewardship Council en 2003 (Vincent, 2006), répond à la nécessité de matérialiser les engagements relatifs à la pêche responsable, mais aussi de mieux signaler la crevette de pêche malgache sur les marchés d'exportation désormais dominés par les produits standardisés de l'aquaculture extensive.

– Volonté de mieux prendre en compte la pêche traditionnelle : on a vu précédemment que l'essentiel de la réglementation a concerné la régulation de l'effort de pêche industriel et artisanal. La dynamique rapide de l'exploitation traditionnelle (Goedefroit *et al.*, 2002) et ses conséquences sur la ressource et donc les résultats des autres types de pêche, ont incité l'État, le GAPCM et les bailleurs de fonds à entreprendre une démarche proactive vis-à-vis du secteur traditionnel. Cette démarche vise à associer la pêche traditionnelle dans un dispositif concerté, partant du principe que les mesures d'aménagement ne seront comprises et acceptées que si elles sont « identifiées et étudiées en concertation avec les opérateurs, pour résoudre les problèmes importants qu'ils vivent au quotidien » (Andrianaivojaona et Lery, 2003). Cette démarche est entreprise au sein du projet Zone d'aménagement concerté (ZAC) qui vise à « démontrer sur trois zones pilotes (baies d'Ambaro et d'Antongil, Monrondava), la faisabilité d'un mode de gestion des ressources halieutiques basé sur la concertation et inscrit dans une logique de développement local et, produire un cadre de référence pour la réplication de ce mode de gestion à l'ensemble de toutes les zones littorales malgaches » (Andrianaivojaona, 2006). Un certain nombre de résultats ont été obtenus : le gel de l'effort de pêche a été accepté en baie d'Ambaro et à Morondava, basé sur un enregistrement des engins de pêche. En baie d'Ambaro, des efforts ont été faits pour le retrait des engins non sélectifs ; enfin une tentative de régulation de l'entrée dans la pêche traditionnelle est mise en place en collaboration avec les associations de pêcheurs, avec l'enregistrement de ces derniers et la distribution de cartes professionnelles. Ces différents éléments ont été officialisés et intégrés dans la norme juridique par le décret 2007-957.

Conclusion : l'efficacité du système de gestion et ses enjeux

Les mesures décidées depuis la fin des années 1990 ont eu, dans l'ensemble, des conséquences économiques positives (Rojat *et al.*, 2004). Au début des années 2000, on a ainsi pu enregistrer une amélioration relative des prix à l'exportation (10 % en 2000-2001 et 3 % en 2001-2002), en raison d'une croissance du calibre moyen et en dépit d'un marché mondial morose. Un autre résultat important est l'augmentation de la part de la valeur ajoutée destinée à l'État, qui est passée de 11 % en 1996 à 26 % en 2001, suite à l'application du décret 2000-415.

Les difficultés de la pêcherie depuis 2005 (et notamment l'arrêt d'activité d'un armement) montrent que les mesures prises n'ont peut-être pas été suffisantes pour garantir la viabilité de la pêcherie dans un environnement économique difficile.

Du côté de la pêche traditionnelle, les efforts pour mettre en place une pêche traditionnelle plus sélective et respectant la réglementation sont-ils suffisants ? Les dispositifs économiques d'accompagnement seront-il assez incitatifs pour que l'adhésion des pêcheurs soit réelle ? Les baisses de capture industrielles observées en 2005 et 2006 semblent en grande partie imputables à la pêche traditionnelle de juvéniles (Caverivière et Razafindrakoto, chapitres 8 et 9).

Une question en suspens reste la régulation de la capacité de pêche. La mesure de gel de l'effort, qui fut un signal fort de la part des autorités publiques, ne semble plus suffisante aujourd'hui. Les résultats bioéconomiques présentés dans cet ouvrage montrent l'intérêt d'une réduction des coûts pour garantir la viabilité économique de la pêcherie, alors que les seuls gains à atteindre du côté de la production proviennent d'une amélioration des tailles moyennes des captures plutôt que des quantités totales. Les perspectives ouvertes par la possibilité récente d'échanges de droits de pêche laissent présager d'un plus grand rôle des incitations économiques dans la dynamique future de la pêcherie, pourvu que les conditions d'une concurrence minimale soient garanties.

Bilan et perspectives

Alain Caverivière,
Christian Chaboud

À la fin du financement par l'AFD du programme de recherches qui a été dévolu au PNRC et dont la réalisation a fait appel aux scientifiques de l'IRD et aux armateurs du GAPCM, un bilan contrasté mais qui nous paraît globalement positif peut en être tiré.

Tous les engagements d'études ont pratiquement été tenus, que ce soit en biologie, en dynamique des populations et évaluations des niveaux d'exploitation, en économie, même si dans certains cas on aurait pu espérer faire mieux au regard des enjeux et attentes actuels.

Dans le domaine de la biologie des espèces exploitées, les croissances des trois principales espèces de crevettes ont été estimées, la plupart par grandes zones géographiques et saisons, cela à partir de dizaines de milliers de marquages de crevettes réalisés avec l'aide des armateurs. Les différences mises en évidence entre espèces, zones et saisons sont notables. L'absence de migrations importantes a été confirmée. Cet effort de recherche à partir d'opérations de marquage a, à notre connaissance, peu ou pas d'équivalent dans le monde. Les bases biologiques ainsi obtenues ont été et seront d'une grande utilité pour les études de dynamique des populations et de modélisation bioéconomique qui ont été réalisées et qui, nous l'espérons, seront poursuivies de manière plus routinière.

Avec l'aide des armateurs qui ont fourni des données détaillées, les études de dynamique de population ont atteint un niveau jamais égalé auparavant : suivi

sur plusieurs années de véritables cohortes d'individus de même classe d'âge pour l'étude des niveaux d'exploitation par sexe et pour leur ensemble. Cela, même si bien sûr des incertitudes liées à ce type d'études demeurent et l'on peut regretter que leurs évaluations (ou plutôt leur sens d'évolution) n'aient pas été réalisées par l'introduction de différentes valeurs dans la gamme des possibles (ce qui permet d'ailleurs d'en éliminer quand les résultats obtenus avec certains jeux de valeurs sont aberrants).

Le modèle bioéconomique, développé assez tôt dans le programme, a été considérablement amélioré par la suite, au prix malheureusement d'une complexité importante. Il permet maintenant d'effectuer des simulations sur 10 ans. Il y a là certainement un compromis à trouver entre la recherche d'un plus grand réalisme du modèle et son applicabilité dans le contexte de gestion annuelle de la pêche. La version annuelle du modèle, même si elle repose sur des hypothèses plus restrictives, semble plus adaptée aux besoins de la gestion à court et moyen terme. Quelle que soit la version du modèle, ce dernier reste exigeant en informations, tant biologiques qu'économiques, et il ne faut pas sous-estimer l'effort que représente son actualisation régulière. L'usage d'un modèle bioéconomique, tant dans la réalisation des simulations que pour leur analyse, nécessite des compétences dans les différents aspects pris en compte dans le modèle et cela renvoie à la question du renforcement des capacités nationales abordée par la suite. Enfin, un certain nombre de questions importantes restent ouvertes quant à l'applicabilité des mesures de gestion proposées dans les scénarios issus du modèle. C'est le cas, par exemple, des coûts d'application, de contrôle et de suivi, ainsi que de la faisabilité (technique mais aussi économique et sociale) des mesures.

Grâce particulièrement au dynamisme du GAPCM, des ateliers sur des sujets très ouverts sur la pêche crevettière en général, qui ont fait appel à des compétences extérieures sur d'autres pêcheries de crevettes tropicales, se sont régulièrement tenus tous les deux ans. Ces ateliers à large participation ont été l'occasion de présenter l'état d'avancement des travaux réalisés dans le cadre du PNRC (avec souvent plus de la moitié des communications présentées) et d'en discuter largement avec toutes les parties présentes.

On peut noter quelques points faibles dans les résultats attendus du PNRC.

La standardisation de l'effort de pêche n'a pu être réalisée comme souhaitée, c'est-à-dire en heures de pêche d'un chalutier théorique standard qui permette de suivre l'évolution de la puissance effective de pêche (et des rendements associés) sur toute la durée de la pêcherie, le crevettier standard défini en début de pêcherie (un chalutier-glacier) étant maintenant obsolète. La difficulté est due à ce que depuis un temps relativement important, la réglementation des pêches impose une zone unique de travail à chaque crevettier et, les zones n'ayant pas des abondances équivalentes, la comparaison des puissances de pêche des crevettiers (suivant leurs caractéristiques) opérant dans différentes zones est difficile. Cette difficulté a cependant pu être tournée en partie en réalisant des analyses qui ont permis de raccorder approximativement dans le temps trois séries de données d'effort et de prises.

Les études concernant les relations entre les résultats des pêches et l'environnement hydroclimatique agissant sur l'abondance des crevettes ou leur disponibilité à l'engin de pêche n'ont pas donné autant de résultats qu'espéré de prime abord. Ce type d'étude a cependant été considérablement développé dans la phase II de la programmation du PNRC. Il faut noter à ce sujet que la mesure régulière de données sur le débit des fleuves, dont les décharges sont d'une grande importance sur la survie des stades post-larvaires et juvéniles des crevettes, n'existe plus depuis de nombreuses années. Il a cependant été noté que les faibles captures de crevettes sur la côte est en 2003 étaient très vraisemblablement en relation avec une très importante pluviométrie sur la zone principale de pêche. Une relation entre faibles résultats de la pêche industrielle dans la zone nord-ouest en 2005 et pluviométrie n'a pu être mise en évidence ; il semble probable qu'il s'agisse surtout ici d'un effet de l'accroissement de la pêche traditionnelle d'estuaire avec des engins qui récoltent les petites crevettes avant leur sortie en mer. Une forte relation entre la surface des mangroves, pondérée par leur éloignement à la côte, et l'abondance en crevette estimée à partir des captures réalisées dans ces milieux et devant ceux-ci a été trouvée. C'est une raison supplémentaire importante pour la protection des forêts de palétuviers. Par contre, les études entreprises sur des relations entre la richesse en chlorophylle A de différents lieux estimée à partir d'images satellitaires, richesse supposée représenter l'abondance en nourriture pour les post-larves et juvéniles de crevettes, et l'importance de la pêche à la crevette n'ont pas donné de résultats probants.

Un des buts du PNRC était la formation de scientifiques malgaches capables de s'occuper de la suite des recherches et de donner des avis sur la gestion de la pêcherie de manière autonome. De ce point de vue, le bilan est quelque peu contrasté. Le directeur national du PNRC a soutenu brillamment une thèse en France et a rejoint ensuite son département d'origine de la Direction des Pêches, où il s'occupe toujours du PNRC mais de manière ponctuelle. Un autre chercheur a quitté le PNRC pour des raisons personnelles après qu'un important effort de formation ait été fait. Par ailleurs, la formation d'un économiste national à l'économie des pêches en général et plus particulièrement à la bioéconomie n'a pu être réalisée, ce qui limite hélas les perspectives de poursuite de certaines recherches mises en place durant la phase II du programme. Cette remarque peut être tempérée par le fait que l'Observatoire des pêches dispose de fortes capacités en économie, mais les travaux qui y sont menés n'ont pas vocation à la recherche.

Les perspectives pour la poursuite des activités du PNRC sont actuellement mal connues. La Direction des pêches souhaite que les activités se maintiennent à un bon niveau. Il se pose cependant des problèmes de financement et de personnel qui ne sont pas faciles à résoudre. Des solutions partielles ou aides peuvent venir d'une relance des activités du CNRO qui dépend du ministère de l'Éducation nationale et de la Recherche scientifique. Une réunion à haut niveau vient d'être consacrée à cette relance qui pourrait bénéficier du soutien de l'IHSM qui a déjà participé à des activités du PNRC.

Dans le contexte actuellement difficile de la pêcherie du point de vue de ses ressources biologiques et de son environnement économique, il paraît nécessaire que des actions prioritaires soient au moins maintenues, quelle que soit l'entité qui les effectue. C'est le cas, en premier lieu, du suivi de la pêche traditionnelle, d'une grande importance suivant les régions et dont certains engins peuvent avoir un effet négatif sur les ressources en crevettes. Les zones d'aménagement concerté (ZAC) ont été créées pour réguler l'accès à la ressource et aplanir les problèmes en vue d'une exploitation durable concertée entre l'ensemble des parties prenantes, privées et publiques. Il reste néanmoins essentiel que des enquêteurs en relation avec des scientifiques collectent des informations sur les prises et les efforts par engin de pêche, avec des mensurations de fréquences de tailles par sexe, quelles que soient les difficultés d'accès pour les scientifiques suivant les zones et les engins de pêche. Trois scientifiques ou plus, avec l'un d'eux comme superviseur, seraient nécessaires pour cette tâche. Il semble également important qu'une actualisation des connaissances socio-économiques sur la pêche traditionnelle, dont l'essentiel a été obtenu lors de la première phase du PNRC, soit réalisée.

Le suivi et l'évaluation des stocks doivent être poursuivis, en particulier dans le contexte de la recherche par le GAPCM de l'écocertification, par un organisme indépendant et spécialisé, de la pêche de la crevette sauvage de Madagascar. C'est un point crucial pour un organisme d'écocertification. Il serait dommage que des mesures en faveur de l'écocertification, comme l'obligation d'un procédé d'extraction des tortues des chaluts, et des études sur l'importance et la composition des captures accessoires et les moyens d'en diminuer la partie rejetée, ne soient pas valorisées de ce point de vue.

La recherche des relations entre les crevettes et leur environnement devrait être perpétuée. Cela implique cependant que des données sur cet environnement soient disponibles, comme les débits des principaux fleuves, et à défaut les données pluviométriques des différentes stations météorologiques à un faible pas de temps (le jour étant l'idéal) qui puissent rendre compte de la brutalité de certains phénomènes climatiques comme les cyclones. Nous ne mentionnerons que pour la forme le recueil de manière régulière de données hydrologiques des principales caractéristiques du milieu marin sur les lieux de pêche, comme la température et la salinité, au su des considérables moyens humains et financiers que cela demanderait.

Il est tout aussi indispensable de renforcer la collecte parallèle d'informations sur les aspects sociaux et économiques de l'exploitation crevettière. Ceci suppose d'abord de disposer de compétences permanentes sur ces domaines, ce qui n'est pas assuré aujourd'hui, mais aussi de poursuivre et de renforcer les collaborations avec l'Observatoire des pêches ainsi qu'avec le projet Zones d'aménagement concerté.

La formation des chercheurs nationaux à différentes disciplines utiles à la protection et l'évaluation des stocks, à la valorisation des activités de pêche, comme des biologistes marins, environnementalistes, dynamiciens des populations et économistes d'un bon niveau de spécialisation, doit rester un objectif prioritaire.

Bibliographie

Alverson D. L., Freeberg M. M., Murawski S. A., Pope, J. G.
1994 – *A global assessment of fisheries bycatch and discards*. Rome, FAO Fisheries Technical Paper, 339, 223 p.

Anderson L. G.
1977 – *The economics of fishery management*. Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, 214 p.

Andriambahatra P. J. C.
1983 – *Contribution à l'étude de la pêche crevettière sur la côte ouest de Madagascar*. Mémoire d'ingénieur ESSA, 154 p.

Andrianavojaona C., Coûteaux B., Kaspryk Z., Ranaivoson E.
2003 – *Aménagement de la pêcherie crevettière (actes de l'atelier, 17-19 juin 2003)*. Antananarivo, Éditions CITE (Centre d'information technique et économique), 383 p.

Andrianaivojaona C., Lery J.-M.
2003 – « Programme Zones d'aménagement concerté ». *In* Andrianavojaona C., Coûteaux B., Kaspryk Z., Ranaivoson E. (éd.) : 243-249.

Andrianaivojaona C.
2006 – « Zones d'aménagement concerté (ZAC) ». *In* Ranaivoson E., Andriantsoa M., Vincent X., Kasprzyk Z. (éd.) : 231-239.

Andriantsoa M. H.
1998 – « Présentation de la BAse NAtionale de la pêche CREvettière Malgache ». *In* Kourkouliotis K., Ranaivoson E. (éd.) : 117-125.

Anonyme
1989 – « Étude du cycle vital de *Penaeus indicus* en zone I (Communication basée sur les travaux de Garcia S. et Razafindrakoto H. L.) ». *In* Actes du séminaire sur l'aménagement des pêcheries de crevettes côtières de Madagascar, Nosy-Bé, Madagascar, 13-21 juin 1989, OISOI/FAO-CNRO : 16-22.

Basson P. W., Burchard J. E. Jr., Hardy J. T.
1977 – *Biotopes of the western Arabian Gulf. Marine life and environment of Saoudi Arabia.* Dhahran, Saoudi Arabia, Aramco Department of Loss Prevention and Environmental Affairs, 284 p.

Ben Mena S.
2000 – Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* : 83-93.

Béné C.
1997 – *Dynamique et adaptation d'un système-pêche face aux perturbations de son environnement. Analyses et modélisations dynamiques du couplage écologie-économie*. Le cas de la pêcherie crevettière guyanaise. Thèse Doctorat en sciences de la vie et santé, université Paris VI Pierre et Marie Curie, 237 p.

Benivary D. H.
2002 – *Étude de la sélectivité des engins de pêche crevettière traditionnelle*. Madagascar, Institut halieutique et sciences marines, rapport d'études sur terrain IHSM, 17 p.

Berthin Y., Gaspard G.
2006 – *Enquête sur les* vonosaha *dans la baie d'Ambaro*. Rapport du groupe UNIMA, mai-juin 2006, 11 p. miméo.

Beverton R. J. H., Holt S. J.
1957 – On the dynamics of exploited fish populations. *Fishery Investigations*, Series II, 19 : 1-533.

Blasco F.
1991 – Les mangroves. *La Recherche*, 22 (231) : 444-453.

Blomo V. J., Nichols J. P., Griffin W. L., Grant W. E.
1982 – Dynamic modeling of the eastern Gulf of Mexico shrimp fishery. *Amer. J. Agr. Econ*., August 1982 : 475-482.

Boddeke R., Dijkema R., Siemelink M. E.
1977 – *The patterned migration of shrimp populations* : *a complete study of* Crangon crangon *and* Penaeus schmitti. FAO Fish. Rep., 200 : 31-49.

Bridier M., Michaïlof S.
1995 – *Guide pratique d'analyse de projets. Évaluation et choix de projets d'investissement*. Paris, Economica, 302 p.

Burkenroad M. D.
1939 – Further observations on Penaeidea on the northern Gulf of Mexico. *Bull. Bingham Oceanogr. Collect*., 6 (6) : 1-62.

Caillard B., Mazaudier L.
2003 – « Écocertification de la pêche ». *In* Andrianavojaona C., Coûteaux B., Kaspryk Z., Ranaivoson E. (éd.) : 271-276.

Caverivière, A.
1982 – *Les espèces démersales du plateau continental ivoirien. Biologie et exploitation.* Thèse Doct. État Sci. Nat., université Aix-Marseille II, faculté des sciences de Luminy, 2 vol. : 415 et 160 p.

Caverivière A.
2006 – *Analyse des pluviométries dans la zone de la baie d'Ambaro (nord-ouest de Madagascar), recherche de relations avec l'abondance des crevettes côtières*. Document de travail du PNRC, janvier 2006, 9 p.

Caverivière A., Razafindrakoto H
2006 – « Dynamique des populations des crevettes *Fenneropenaeus indicus* exploitées dans les zones d'aménagement A et D de Madagascar (côte nord et côte est) ». *In* Ranaivoson E., Andriantsoa M., Vincent X., Kasprzyk Z. (éd.) : 79-109.

Chabanne J., Plante R.
1969 – Les populations benthiques (endofaune, crevettes pénéides, poissons) d'une baie de la côte nord-ouest de Madagascar : écologie, biologie et pêche. *Cah. Orstom. Sér. Océanogr*., 7 (1) : 11-77.

Chabanne J., Plante R.
1971 – *Étude des rendements de la pêche au chalut des crevettes penaeides sur la côte nord-ouest de Madagascar de 1966 à 1970*. Doc. Sci. Centre Orstom Nosy-Bé, 23, 13 p.

Chaboud C.
2001 – « Un modèle de simulation bioéconomique d'une pêcherie crevettière tropicale, perspectives d'application à la pêcherie malgache ». *In* Ranaivoson E., Kasprzyk Z. (éd.) : 272-297.

Chaboud C.
2003 – « Développements récents du modèle de simulation bioéconomique de la pêcherie crevettière malgache et premiers résultats d'une application sur données réelles. Analyse de scénarios de gestion de la pêcherie ». *In* Andrianaivojoana C., Coûteaux B., Kasprzyk Z., Ranaivoson E. (éd.) : 201-230.

Chaboud C.
2004 – *Manuel du logiciel SICREM, version 1 (simulation bioéconomique de la pêcherie crevettière malgache*. C3ED/IRD/PNRC, Paris, Mahajanga, 110 p. miméo.

Chaboud C.
2005 a – « La recherche en bioéconomie au PNRC, démarche et résultats ». *In* Ranaivoson E., Rafalimanana T., Kasprzyk Z., Andrianaivojoana C. (éd.) : 216-224.

Chaboud C.
2005 b – « Modélisation bioéconomique d'une pêcherie crevettière : intérêt des simulations pluriannuelles pour la production de scénarios de gestion ». *In* Ranaivoson E., Andriantsoa M., Vincent X., Kasprzyk Z. (éd.) : 159-179.

Chaboud C., Fontana A.
1992 – « L'approche système dans les pêches ». *In* Brèthes J. C., Fontana A. (éd.) : *Recherches interdisciplinaires et gestion des pêcheries*, Halifax (Canada), CIEO : 111-146.

Chaboud C., Courtois S., Feltz G.
2002 a – « Le marché intérieur de la crevette à Madagascar ». *In* Goedefroit S., Chaboud C., Breton Y. (éd.) : 69-85.

Chaboud, C., Domalain, G., Rasoanandrasana, N., Tiandraza, A.
2002 b – « Aperçu de l'exploitation et de ses contextes ». *In* Goedefroit S., Chaboud C., Breton Y. (éd.) : 35-56.

Chaperon P., Danloux J., Ferry L.
1993 – *Fleuves et rivières de Madagascar*. Paris, Orstom, (Monographies hydrologiques 10), 874 p.

Charles A.
2001 – *Sustainable fishery systems*. Oxford, Blackwell Science, 370 p.

Chervel M., Le Gall M.
1976 – *Manuel d'évaluation économique des projets : la méthode des effets*. Paris, ministère de la Coopération (République française), 204 p.

Clark C. W.
1985 – *Bioeconomic modeling and fisheries management*. New York, Wiley Interscience, 291 p.

Clark C. W.
1990 – *Mathematical bioeconomics : the optimal management of renewable resources*. New York, Wiley Interscience, 386 p.

Clark C. W.
2006 – *The worldwide crisis in Fisheries. Economic models and human behaviour*. Cambridge, Cambridge University Press, 263 p.

Clark C. W., Kirkwood G. P.
1979 – Bioeconomic Model of the Gulf of Carpentaria Prawn Fishery. *Journal de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada*, 36 (11) : 1304-1312.

Coss M. L., Eide A., Kelleher M. K., Pinto Silva C., Palha de Sousa L.
1993 – *Modelling the Sofala Bank Shrimp Fisheries. A Bioeconomic Approach*. Rapp. Instituto de Investigacao Pesqueira, Maputo Mozambique, 38 p. + annexes.

Costello T. J., Allen D. M.
1965 – Migration and geographic distribution of pink shrimp, *P. duorarum*, of the Tortugas and Sanibel grounds, Florida. *Fish. Bull. USFWS*, 65 (2) : 449-459.

Courtois S., Chaboud C.
2001 – « Coûts et revenus dans la pêcherie traditionnelle crevettière malgache – Évolution récente ». *In* Ranaivoson E., Kasprzyck Z. (éd.) : 198-212.

Crosnier A.
1965 – Les crevettes pénéides du plateau continental malgache. *Cah. Océanogr. Orstom,* suppl. vol. III, n° 3, 158 p.

Crosnier A., De Bondy E. T.
1967 – *Les crevettes commercialisables de la côte ouest de l'Afrique intertropicale*. Paris, Orstom, Init. Doc. Tech., 7, 60 p. + annexes.

Cury P., Roy C.
1989 – Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46 (4) : 670-680.

De Bondy E. T.
1968 – *Observations sur la biologie de* P. duorarum *au Sénégal*. Doc. Sci. Provis. Cent. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 16, 50 p.

Demarcq H., Faure V.
2000 – Coastal upwelling indexes and associated indices derived from satellite SST. Application to *Octopus vulgaris* recruitment. *Oceanol. Acta*, 23 (4) : 391-408.

Dintheer C.
2005 – « Retour sur une décennie de recherche-action à Madagascar ». *In* Ranaivoson E., Rafalimanana T., Kasprzyk Z., Andrianaivojaona C., (éd.) : 13-28.

Dintheer C., Razafindrakoto H. L.
1995 – É*valuation du potentiel de crevettes de la côte ouest de Madagascar (thème 22), analyse des données de la campagne 1993*. Rapport technique intérimaire, Programme sectoriel pêche, PNUD/FAO/MAG/92/004, 143 p.

Dintheer C., Razafindrakoto H. L.
1996 – « Analyse des composantes biologiques et de l'exploitation de la pêcherie crevettière de la côte ouest de Madagascar. Premiers résultats de l'étude FAO ». *In* Gréboval D., Ranaivoson E. (éd.) : *Aménagement de la pêche crevettière malgache*, PNUD/FAO/MAG/92/004-DT/6/96 : 101-138.

Dintheer C., Andriambalotiana N. H., Razafindrakoto H. L.
1998 – « État d'exploitation des stocks de crevettes pénéides côtières de Madagascar. Diagnostics et perspectives pour l'aménagement de la pêcherie ». *In* Kourkouliotis K., Ranaivoson E. (éd.) : 209-238.

Dintheer C., Razafindrakoto H. L.
1996 – « Analyse des composantes biologiques et de l'exploitation de la pêcherie crevettière de la côte ouest de Madagascar. Premiers résultats de l'étude FAO ». *In* Gréboval D., Ranaivoson E. (éd.) : 101-138.

Domain F., Caverivière A., Fall M., Jouffre D.
2002 – « Expériences de marquage du poulpe *Octopus vulgaris* au Sénégal ». *In* Caverivière A., Thiam M., Jouffre D. (éd.) : *Le poulpe commun* Octopus vulgaris*. Sénégal et côtes nord-ouest africaines*, Paris, Éditions IRD, Colloques et séminaires : 41-57.

Domain F., Jouffre D., Caverivière A.
2000 – Growth of *Octopus vulgaris* from tagging in Senegalese waters. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 80 (4) : 699-706.

Domalain G., Lhomme F., Rasoanandrasana N.
2000 a – « La pêche crevettière traditionnelle à Madagascar : diversité spatiale ». *In* Gascuel D., Chavance P., Bez N., Biseau A. (éd.) : *Les espaces de l'halieutique,* Paris, IRD Éditions, coll. Colloques et séminaires : 387-412.

Domalain G., Rasoanandrasana N., Tiandraza A.
2000 b – *La pêche traditionnelle crevettière à Madagascar. Caractéristiques et répartition spatiale des engins de pêche*. Doc. Sci. PNRC, 1, 44 p.

Domalain G., Rasoanandrasana N.
2001 a – *La pêche traditionnelle à Madagascar* : *éléments principaux de l'exploitation*. Doc. Sci. PNRC, 3, 47 p.

Domalain G., Rasoanandrasana N.
2001 b – « La pêche crevettière traditionnelle à Madagascar : caractéristiques principales de l'exploitation ». *In* Ranaivoson E., Kasprzyck Z. (éd.) : 179-197.

Edwards R. R. C.
1978 – The fisheries and fishery biology of penaeid shrimps on the Pacific coast of Mexico. *Oceanogr. Mar. Biol.*, 16 : 145-180.

Environmental Justice Foundation
2003 – *Squandering the seas. How shrimp trawling is threatening ecological integrity and food security around the world*. London, Environmental Justice Foundation, 45 p. (http://www.ejfoundation.org/pdf/squandering_the_seas.pdf).

Fabens A. J.
1965 – Properties and fitting of the Von Bertalanffy growth curves. *Growth*, 29 (3) : 265-289.

FAO
1995 a – The precautionary approach to fisheries. Part I : Guidelines to the precautionary approach to capture fisheries and species introduction. *FAO Technical Paper*, n° 359, Rome.

FAO
1995 b – *Code de conduite pour une pêche responsable*. Rome. Htpp: //www.fao.org/DOCREP/005/v9878f/v9878f00.htm.

FAO
2007 – *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture*, 2006. Rome, FAO, 180 p.

Fourmanoir P.
1952 a – Compte rendu des nouvelles expériences de pêche du « Gabriel II » effectuées du 24 juillet au 15 novembre 1951. *Bull. Madagascar*, mars 1952 : 17-21.

Fourmanoir P.
1952 b – Les crevettes d'intérêt économique à Madagascar. *Le Naturaliste malgache*, 4 (2) : 163-168.

Fox W. W. Jr.
1970 – An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations. *Transactions of the American Fisheries Society*, 99 (1) : 80-88.

Fox W. W. Jr.
1975 – Fitting the generalized stock production model by least square and equilibrium approximation. *Fishery Bulletin,* 73 (1) : 23-37.

Garcia S.
1972 – *Biologie de* Penaeus duorarum *en Côte d'Ivoire* : *II-ponte et migrations*. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, 3 (1) : 19-45.

Garcia S.
1977 – *Biologie et dynamique des populations de crevettes roses (*Penaeus duorarum notialis *Perez Farfante, 1967) en Côte d'Ivoire*. Paris, Orstom, Travaux et documents, 271 p.

Garcia S., Le Reste L.
1981 – *Cycles vitaux, dynamique, exploitation et aménagement des stocks de crevettes penaëïdes côtières*. Rome, FAO, Doc. Tech. Pêches, 203 : 210 p.

Garcia S., Lhomme F.
1977 – *La crevette rose,* Penaeus duorarum notialis*, de la côte ouest-africaine* : *évaluation des potentialités de capture*. Rome, FAO, Circ. Pêches, 703, 26 p.

Garcia S., Petit P., Fonteneau A.
1973 – *Biologie de* Penaeus duorarum *en Côte d'Ivoire. Partie 3. Étude des variations quotidiennes des rendements et de leur relation avec l'hydroclimat. Essai de généralisation au golfe de Guinée*. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, 4 (2) : 71-104.

George V. C., Nayar S. G., Krishna I. H.
1974 – Mesh regulation in backwater prawn fishing gear. *Fish. Technol. Soc. Fish. Technol*., Ernakulam, 11 (**2**) : 117-128.

Gilly B., Cochet Y.
1988 – *Analyse économique de la pêcherie crevettière de Guyane française*. Document de travail DRV/SDA, Ifremer, Paris, n° 87-15, 47 p.

Goedefroit S., Chaboud C, Breton Y.
2002 – *La ruée vers l'or rose. Regards croisés sur la pêche crevettière à Madagascar.* Paris, IRD éditions, coll. Latitudes 23, 230 p.

Goedefroit S., Razarasoa T.
2002 – « Migrants et pêcheurs à Madagascar ». *In* Goedefroit S., Chaboud C., Breton Y. (éd.) : 101-116.

Goodlad J., Jarett A., Wilson J.
2003 – *Rapport du comité des sages à l'attention du Groupement des armateurs et des pêcheurs de crevettes de Madagascar, du gouvernement de Madagascar, de la Banque mondiale et l'Union européenne.* GAPCM, document de travail, 40 p.

Grant W. E., Griffin W. L.
1979 – A Bioeconomic Model of the Gulf of Mexico Shrimp Fishery. *Transactions of the American Fisheries Society,* 108 (1) : 1-13.

Gréboval D.
1996 – « Caractéristiques et performances économiques de l'industrie crevettière malgache ». *In* Gréboval D., Ranaivoson E. (eds) : 139-166.

Gréboval D., Rakotozanany N.
1996 – *Note sur l'aménagement de la pêche crevettière*. Programme sectoriel pêche PNUD/FAO/MAG/92/004-DO/11/96, 40 p.

Gréboval D., Ranaivoson E.
1996 – *Aménagement de la pêche crevettière malgache.* PNUD/FAO/MAG/92/004-DT/6/96, 187 p.

Griffin W. L., Somers I., Wilson J. W.
1998 – *Rapport du Comité des Sages sur les mesures à court et moyen terme concernant la pêche à la crevette à Madagascar.* Mc Alister, Eliot & Partners, document de travail, 33 p.

Gross G. B.
1973 – Shrimp Industry of Central America Caribbean Sea and northern South America. *Mar. Fish. Res*., 35 (3-4) : 36-54.

Guitart B., Fraga I.
1980 – Observaciones biológicas sobre el *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller) en la plataforma de Guyana. *WECAF Reports*, (28) : 197-214.

Gulland J. A.
1977 – *Goals and objectives of fisheries management*, FAO Fish Tech Pap. 166, 14 p.

Gulland J. A.
1984 – « Introductory guidelines to shrimp management: some further thoughts ». *In* Gulland J. A., Rothschild B. J.(eds) : *Penaeid Shrimps* : *Their Biology and Management*, Oxford, Fishing News Books : 290-298.

Hannesson R.
1993 – *Bioeconomic analysis of fisheries*. Fishing news books, London, 138 p.

Holt S. J.
1963 – A method for determining gear selectivity and its application. *ICNAF Spec. Publ*., (5) : 106-115.

Iltis J.
1995 – « Quelques aspects caractéristiques des mangroves de Madagascar ». *In* : *Journées Orstom à l'Académie malgache* : *50e anniversaire de l'Orstom*. Bulletin de l'Académie nationale malgache, 1995, (N° spécial) : 61-67.

Iltis J., Ranaivoson J.
1998 – La mangrove à Madagascar : une richesse naturelle à ménager. *Orstom Actualités,* 55 : 2-7.

Jones S.
1969 – *The prawn fishery resources of India*. FAO Fish. Rep., 57 (3) : 735-748.

Jouannic C.
1973 – *Contribution à l'étude bathymétrique et sédimentologique du plateau continental du nord-ouest de Madagascar*. Thèse 3e cycle géologie sous-marine, Paris VI., 82 p.

Jouffre D., Caverivière A., Domain F.
2002 – « Croissance du poulpe *Octopus vulgaris* au Sénégal. Compléments d'informations et comparaison régionale ». *In* Caverivière A., Thiam M., Jouffre D. (éd.) : *Le poulpe commun* Octopus vulgaris*. Sénégal et côtes nord-ouest africaines*, IRD Éditions, Paris, Colloques et séminaires : 59-69.

Kairo J. G., Dahdouh-Guebas F., Bosire J., Koedam N.
2001 – Restoration and management of mangrove systems. A lesson for and from the East African region. *South African Journal of Botany*, 67 : 383-389.

King M.
1995 – *Fisheries biology, assessment and management*. Oxford, Fishing News Books, 341 p.

Kirkegaard I., Walker R. H.
1969 – *Synopsis of biological data on the tiger prawn,* Penaeus esculentus *(Haswell, 1879).* CSIRO Fish. Synop., Cronulla, 3, 20 p.

Kirkwood G. P.
1984 – « Modelling of the Gulf of Carpentaria prawn fisheries ». *In* Gulland J. A., Rothschild B. J. (eds) : *Penaeid Shrimps* : *Their Biology and Management,* Oxford, Fishing News Books : 211-219.

Kourkouliotis K., Ranaivoson E.
1998 – *Aménagement de la pêcherie crevettière malgache (Rapport technique de l'atelier du 17 au 19 juin 1998)*. PNUD/FAO, MAG/97/002-DT/12/98, 340 p.

Laurec A., Fonteneau A., Champagnat C.
1980 – A study of some stocks described by self-regenerating stochastic models. *Rap. P.V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer*, 177 : 423-438.

Laurec A., Le Guen J.-C.
1981 – *Dynamique des populations marines exploitées, Tome 1, concepts et modèles*. Brest, Cnexo, 117 p.

Le Reste L.
1970 – Biologie des *Acetes erythraeus* (Sergestidae) dans une baie du nord-ouest de Madagascar (baie d'Ambaro). *Cahiers Orstom, sér. Océanogr*., 8 (2) : 35-56.

Le Reste L.
1973 – *Zones de ponte et nurseries de la crevette* P. indicus *H. Milne Edwards le long de la côte nord-ouest de Madagascar*. Doc. Sci. Centre Orstom Nosy-Bé, 14 p.

Le Reste L.
1978 – *Biologie d'une population de crevettes,* Penaeus indicus *H. Milne Edwards sur la côte nord-ouest de Madagascar*. Paris, Orstom Éditions, Travaux et Documents, 99, 291 p.

Le Reste L., Marcille J.
1973 – Réflexions sur les possibilités d'aménagement de la pêche crevettière à Madagascar. *Bull. Madagascar*, 320, 16 p.

Le Reste L., Marcille J.
1974 – *Données concernant les marquages de crevettes (*Penaeus indicus *et* Metapenaeus monoceros*) le long de la côte nord-ouest de Madagascar.* Mission Orstom de Nosy-Bé (Madagascar), archive 20 : 25 p.

Le Reste L., Marcille J.
1976 a – Biologie de la crevette *Penaeus indicus* H. Milne Edward à Madagascar : croissance, recrutement, migrations, reproduction, mortalité. Contribution à l'étude d'une baie eutrophique tropicale. *Cahiers Orstom, sér. Océanogr.,* 14 (2) : 109-127.

Le Reste L., Marcille J.
1976 b – Biologie des adultes chez la crevette *Metapenaeus monoceros* (Fabricius) au nord-ouest de Madagascar. Contribution à l'étude d'une baie eutrophique tropicale. *Cahiers Orstom, sér. Océanogr*., 14 (3) : 249-259.

Lebigre J. M
1990 – *Les marais maritime du Gabon et de Madagascar.* Thèse de doctorat d'État, université Montaigne, Bordeaux, 651 p.

Lhomme F.
1981. – *Biologie et dynamique de* Penaeus (Farfante Penaeus) notialis *(Perez Farfante 1967) au Sénégal.* Thèse doctorat État sciences naturelles, université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 255 p.

Lhomme F.
1998 – *Protocole de marquage des crevettes*. Document travail PNRC, 4 p. + 2 fiches + 6 schémas.

Lhomme F.
2001 – « Relation pêche-environnement chez les crevettes pénéides. Revue mondiale, problème posé par l'application à Madagascar ». *In* Ranaivoson E., Kasprzyk Z. (éd.) : 113-129.

Lindner M. J., Anderson W. W.
1956 – Growth, migrations, spawning and size distribution of shrimp *Penaeus setiferus*. *Fish. Bull*., 56 : 553-645.

Macnae W.
1974 – *Mangrove forests and fisheries*. FAO/UNDP Indian Ocean Fishery Programme, Indian Ocean Fishery Commission, IOFC/DEV/74/34, 35 p.

Marcille J.
1972 – *Les stocks de crevettes Penaeides côtières malgaches*. Doc. Scient. Centre Orstom Nosy-Bé, 25, 24 p.

Marcille J.
1978 – *Dynamique des populations de crevettes pénéides exploitées à Madagascar.* Thèse Doct. Sc. Nat., univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI). Trav. et Doc. de l'Orstom, 92, 197 p.

Marcille J., Veillon P.
1973 – *La pêche crevettière à Madagascar de 1967 à 1972 : évolution des stocks.* Doc. Sci. Orstom.Nosy-Bé, 35, 28 p. multigr.

Marcille J., Stequert B.
1974 – *La pêche crevettière à Madagascar en 1973. Évolution des stocks et des pourcentages des différentes espèces dans les captures*. Doc. Sci. mission Orstom, 43, 42 p.

Mardle S., Pascoe S.
1999 – A review of applications of Multiple-Criteria Decisions-Making Techniques to fisheries. *Marine Resource Economics*, (14) : 41-63.

Martosubroto P., Naamin N.
1977 – Relationship between tidal forests (mangroves) and commercial shrimp production in Indonesia. *Marine Research in Indonesia*, 18 : 81-86.

Matheus C. P., Samuel M.
1991 – Management and research strategies in Kuwait's trawl fishery. *ICES Mar Sci*., (193) : 330-340.

Mc Guire
1991 – Science and the destruction of a shrimp fishery, *MAST*, 4 (1) : 32-55.

Meillat M.
2006 – « La sélectivité des engins de pêche ». *In* Ranaivoson E., Andriantsoa M., Vincent X., Kasprzyk Z. (éd.) : 273-284.

Moguedet P., Razafindrakoto H. L., Dintheer C.
2000 – « Évaluation de l'état des principaux stocks de crevettes pénéides exploitées dans les eaux côtières de Madagascar ». *In* Ranaivoson E., Kasprzyk Z. (éd.) : *Aménagement de la pêche crevettière à Madagascar*, MPRH/FAO, 453 p. : 81-112.

Moguedet P., Razafindrakoto H. L., Dintheer C.
2001 – « Évaluation de l'état des principaux stocks de crevettes pénéides exploitées dans les eaux côtières de Madagascar. Diagnostic et prévisions pour une aide à la gestion et à l'aménagement des pêcheries ». *In* Ranaivoson E., Kasprzyk Z. (éd.) : 81-112.

Motoh H.
1981 – *Studies of the fisheries biology of the giant tiger prawn,* Penaeus monodon *in the Philippines*. Technical report, 7, Tigbauan, Iloilo : SEAFDEC Aquaculture Department, 128 p.

Munro I. S. R.
1975 – « Biology of the banana prawn (*Penaeus marguiensis*) in the south-east corner of the Gulf of Carpentaria ». *In* Young P. C. (ed.) : *First Australian National Prawn Seminar, Maroochydore, Queensland, 22-27 November 1973*, Canberra, Australian Gouvernment Publishing Service : 60-70.

Nance J. M., Martinez E. X., Klima E. F.
1994 – Feasibility of Improving the Economic Return from the Gulf of Mexico Brown Shrimp Fishery. *North American Journal of Fisheries Management - American Fisheries Societies*, 14 (3) : 523-536.

OISO/CNRO
1989 – *Actes du séminaire sur l'aménagement des pêcheries de crevettes côtières du nord-ouest de Madagascar*. Nosy-Bé, Madagascar 13-21 juin 1989. Rapport FAO/ PNUD-RAF/87/008/GR/50/89/F, 87 p.

Pech N., Samba A., Drapeau L., Sabatier R., Laloë F.
2001 – Fitting a model of flexible multifleet-multispecies fisheries to Senegalese artisanal fishery data. *Aquat. Living Resour*., 14 : 81-98.

Pella J., Tomlinson P.
1969 – A Generalized Stock Production Model. *Bull. Inter-Am Trop. Tuna Comm.*, 13 (3) : 419-496.

Pérez-Farfante I.
1969 – Western Atlantic shrimps of the Genus *Penaeus*. *Fish. Bull*., 67 (3) : 461-595.

Pérez-Farfante I., Kensley B.
1997 – *Penaeoid and sergestoid shrimps and prawn of the world. Key and diagnoses for the families and genera*. Paris, Mémoires du Muséum national d'histoire naturelle, 175, 233 p.

Petersen E. H.
2006 – *Institutional economics and fisheries management*. Cheltenham, Edward Elgar Publishing, 186 p.

Pope J. A.
1972 – An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Res. Bull. ICNAF*, (9) : 65-74.

Pope J. A., Margetts A. R., Hamley J. M., Akyüs E. F.
1975 – *Manual of method for fish stock assessment. Pt3. Selectivity of fishing gear*. FAO Fish. Tech. Pap., 41 rev.1 : 65 p.

Rabarison A. G. A.
1984 – *Étude préliminaire de la pêche par « valakira »*. Document CNRO Nosy Bé, Madagascar, 42 p.

Rabarison A. G. A.
1987 – « La pêche à la crevette par la méthode du "*valakira*" ». *In* : *Doc. FAO/UNDP RAF/79/065/WP/38/87, Contribution to proceedings of the Crustacean Management Workshop, held in Mauritius*, 1-11 octobre 1988 : 60-65.

Rabenomanana L. D.
1991 – « Examen du sous-secteur halieutique à Madagascar ». *In* : *Seminar to identify priorities for technical assistance to fisheries management and development in the southwest Indian ocean.* Part 1, National Papers, Albion/Mauritius, 3-5 sept. 1991, Projet TCP/RAF/0161(C) : 33-64.

Rabesalama A. R.
1990 – *Bilan des activités de la pêche industrielle crevettière malgache (Identification des grandes tendances).* Rapport terrain 13, Projet PNUD/FAO/MAG/85/014, 27 p.

Racek A. A.
1959 – Prawn investigations in eastern Australia. *Res. Bull. State Fish. N.S.W.*, 6, 57 p.

Rafalimanana T.
1990 – *Estimation des productions de la pêche traditionnelle crevettière sur la côte nord-ouest de Madagascar*. Rapport terrain 23, projet PND/FAO/Mag/85/014, 25 p. + annexes.

Rafalimanana T.
2003 – *Les crevettes pénéides exploitées sur la côte ouest de Madagascar* : *variabilités spatio-temporelles des paramètres biologiques et dynamique des populations*. Thèse Doct., Dép. Halieutique UPR MESH ENSA Rennes – France, 268 p.

Rafalimanana T.
2004 a – *Structure de l'exploitation et destination des produits de la pêche traditionnelle crevettière dans la baie de Narindra*. Document de travail PNRC, mai 2004, 7 p.

Rafalimanana T.
2004 b – *Pêche traditionnelle crevettière dans la région de Tsiribihina et proposition de protocole de suivi de l'exploitation de la ressource.* Document de travail PNRC, août 2004, 11 p.

Rafalimanana T.
2004 c – *Paramètres de croissance des crevettes pénéides* Fenneropenaeus indicus *et* Metapenaeus monoceros *par zone d'aménagement à Madagascar* : *analyses des données de marquage-recapture*. Programme national de recherches crevettières, Rapport Sci., août 2004, 23 p.

Rafalimanana T.
2005 a – « Faune associée aux crevettes : les captures accessoires des pêches artisanale et industrielle ». *In* Ranaivoson E., Rafalimanana T., Kasprzyk Z., Andrianaivojaona C. (éd.) : 83-94.

Rafalimanana T.
2005 b – « Analyse de quelques indicateurs biologiques pour une délimitation des zones d'aménagement de la pêcherie crevettière sur la côte ouest de Madagascar ». *In* Ranaivoson E., Rafalimanana T., Kasprzyk Z., Andrianaivojaona C. (éd.) : 189-197.

Rakotovahiny E.
1971 – Pêche crevettière à Madagascar. *Bull. Madagascar*, 301 : 525-538.

Ralison A.
1978 – *Caractéristiques et tendances de l'exploitation crevettière malgache de 1967 à 1977*. Centre national de recherches océanographiques, n° 1, 39 p.

Ralison A.
1985 – *Données de base sur l'exploitation industrielle des crevettes pénéides de la côte ouest malgache (sud du Cap St-André)*. CNRO, Archive n° 2 : 11-26.

Ralison A.
2001 – « Pêcherie crevettière et zone des 2 miles ». *In* Ranaivoson E., Kasprzyk Z. (éd.) : 352-358.

Ralison A., Razafindralambo N.
1984 – *Bilan des connaissances sur la pêche crevettière malgache et propositions d'aménagement.* Nosy Bé, Centre national de recherches océanographiques, document scientifique n° 7, 35 p.

Ralison A., Razafindralambo N.
2000 – « Évolution de l'aménagement de la pêcherie crevettière malgache ». *Revue de l'université de Moncton*, numéro hors série, 2000 : 269-300.

Ranaivoson E., Kasprzyk Z.
2001 – *Aménagement de la pêcherie crevettière (actes de l'atelier, 12-14 déc. 2000).* Antananarivo, Éditions CITE (Centre d'information technique et économique), 454 p.

Ranaivoson E., Andriantsoa M., Vincent X., Kasprzyk Z.
2005 – *Aménagement de la pêcherie crevettière. Actes de l'atelier, 11-13 octobre 2005*. Antananarivo, Océan consultant, imprimerie du CNAPMAD, 384 p.

Ranaivoson E., Rafalimanana T., Kasprzyk Z., Andrianaivojoana C.
2005 – *Restitution des travaux scientifiques du Programme national de recherche crevettière (Actes de l'atelier, Mahajanga, Madagascar, 19-21 octobre 2004)*. Édition CNAPMAD (Centre national de production de matériel Didactique), 255 p.

Randrianarisoa L. Y.
2006 – *Application du droit et de la politique internationaux dans la politique et législation de la gestion des pêches malgaches*. Document de travail, Centre de droit maritime et océanique, faculté de droit et des sciences politiques, université de Nantes, 65 p.

Randrianasolo A.
1998 – « Décentralisation et gestion de l'exploitation crevettière ». *In* Kourkouliotis K., Ranaivoson E. (éd.) : 263-273.

Rao P. V.
1968 – Maturation and spawning of the penaeid prawns of southwest coast of India. *FAO Fish. Rep.*, 57 (2) : 285-302.

Rasoanandrasana N., Sandon Y.
2003 – « Présentation de la base de données pêche crevettière traditionnelle ». *In* Andrianavojaona C., Coûteaux B., Kasprzyk Z., Ranaivoson E. (éd.) : 97-103.

Rasoanandrasana N., Sandon Y.
2004 a – *La pêche traditionnelle crevettière dans la baie d'Ambaro, analyse des enquêtes 2003*. Rapport scientifique, PNRC, 48 p.

Rasoanandrasana N., Sandon Y.
2004 b – « La pêche traditionnelle crevettière à Madagascar : bilan des travaux réalisés par le PNRC depuis sa création ». *In* Ranaivoson E., Rafalimanana T., Kasprzyk Z., Andrianaivojaona C. (éd.) : 131-161.

Rasoarimiadana L. J.
1985 – *Étude biologique et socio-économique de la pêche traditionnelle par* valakira. Mém. Ingéniorat agronomique, univ. Madagascar, 109 p.

Razafindrainibe H., Rasolonjatovo H., Rasolofo V. M.
1995 – *L'exploitation traditionnelle de la crevette sur la côte nord-ouest de Madagascar.* Rapport de recherche Projet CNRO/Développement international Desjardins, 54 p.

Razafindrakoto H. L.
1994 – *La pêche industrielle crevettière sur les côtes ouest et nord-ouest de Madagascar : les potentiels par zone*. Rapport du groupe de travail *DPRH/CNRO/FAO* du 5-14 janvier 1999, Antananarivo : 9-12.

Razafindrakoto H. L.
1996 – « Ressources crevettières malgaches : aperçu des principaux résultats d'évaluation des stocks ». *In* Gréboval D., Ranaivoson E. (éd.) : 91-98.

Razafindrakoto H. L.
2001 – « Identification du bateau standard. Standardisation de l'effort de pêche ». *In* Ranaivoson E., Kasprzyk Z. (éd.) : 247-260.

Razafindrakoto M.
1996 – Dynamique du secteur industriel moderne sur longue période : 1966-1994 ou comment se perdre en une décennie ? *Économie de Madagascar*, n° 1 : 41-69.

Razafindralambo N. Y.
1983 – *Analyse économique de l'industrie crevettière à Madagascar.* Centre national de recherches océanographiques, Doc. 4, 80 p.

Robertson A. I., Duke N. C.
1987 – Mangrove as nursery site : comparison of the abundance and species composition of fish and crustaceans in mangroves and other nearshore habitats in tropical Australia. *Marine Biology*, 96 : 193-205.

Rodellec du Porzic A. (de)
2002 – *Les « poteaux » à Ankazomborona : un filet à l'étalage peu sélectif.* PNRC, Doc. Sci., 3, 15 p.

Rodellec du Porzic A. (de)
2003 a – *Marquage expérimental de juvéniles de* Penaeus indicus *en bassin.* Programme national de recherches crevettières, Doc. Sci. 4, 13 p.

Rodellec du Porzic A. (de)
2003 b – « Les captures accessoires de la pêche artisanale crevettière : comparaison de trois zones de pêche de la côte nord-ouest de Madagascar ». *In* Andrianaivojaona C., Coûteaux B., Kasprzyk Z., Ranaivoson E. (éd.) : 81-95.

Rodellec du Porzic A (de)
2003 c – *Description, technique d'utilisation et capture des poteaux à Ankigny et Maropamba.* PNRC, Doc. Tech., 8 p.

Rojat D., Rajaosafara S., Chaboud C.
2004 – *Co-management of the shrimp fishery in Madagascar*. Communication à la 12e conférence de l'International Institute on Fisheries Economics and Trade, Tokyo, July 2004.

Roullot J.
1989 – *La valorisation du poisson d'accompagnement de la pêche crevettière à Madagascar.* OISO/SWIOP PNUD/FAO/RAF/79/065, 37 p.

Roy B.
1995 – *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Paris, Economica, 423 p.

Roy C., Cury P., Kifani S.,
1992 – Pelagic fish recruitment success and reproductive strategy in upwelling areas : environmental compromises. *South African Journal of Marine Sciences*, 12 : 135-146.

Ruello N. W.
1975 – Geographical distribution, growth and breeding migration of the eastern king prawn, *Penaeus plebejus* Hess. *Austr. J. Mar. Freshwat. Res.,* 26 : 343-354.

Sandon Y.
2002 – *Rapport de mission du 19 au 23 novembre 2002 à Nosy-Bé et Ankazomborona*. Rapport de mission PNRC, 8 p.

Sandon Y., Caverivière A., Razafindrakoto H.
2003 – « Évaluation, par analyse de cohorte, du stock de *Penaeus indicus* de la côte ouest Malagasy, 1999-2002 ». *In* Andrianaivojaona C., Coûteaux B., Kasprzyk Z., Ranaivoson E. (éd.) : 131-142.

Sandon Y., Caverivière A., Rafalimana T., Rasoanandrasana N., Razafindrakoto H.
2005 – « Évaluation des principaux stocks exploités par la pêcherie crevettière malgache : diagnostics à l'issue de la saison 2003 et scénarios d'aménagement ». *In* Ranaivoson E., Rafalimanana T., Kasprzyk Z., Andrianaivojaona C. (éd.) : 201-215.

Savard K.
1996 – *Transactions sociales et associations : les enjeux du marché de la crevette dans une communauté de pêcheurs de la baie d'Ambaro (Madagascar).* [Mémoire de maîtrise]. [s. l.] : Faculté des études supérieures, université de Laval.

Schaefer B. M.
1954 – Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *IATTC Bulletin*, 1 : 2, 56 p.

Sepia-Cofrepêche-Sofreco
1997 – *Compétitivité de la pêche maritime en Afrique. Rapport final*. Paris, ministère de la Coopération, 319 p. + annexes.

Sparre P., Venema S. C.
1996 – *Introduction à l'évaluation des stocks de poissons tropicaux. Première partie : manuel.* Rome, FAO, document technique sur les pêches, 306 (rev. 1), 401 p.

Sparre P., Willmann R.
1986 – *Beam4, logiciel d'analyse bioéconomique des pêches. Simulation bioéconomique analytique de pêcheries multi-spécifiques et multi-flottilles structurées spatialement.*
Rome, FAO, 2 vol., 196 et 46 p.

Subrahmanyam M.
1965 – Fluctuation in the prawn landings in Chilka Lake. *Proc. Indo-Pacific Fish. Coun.*, 12 (2) : 202-209

Thompson W. F., Bell F. H.
1934 – *Biological statistics of the Pacific halibut Fishery. 2. Effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of gear*. Rep. Int. Fish., (Pacific Halibut) Comm. (8), 49 p.

Toussaint R., Autrand M., Boixel Y, Marin J., Chaboud C.
1994 – *Étude sectorielle de la pêche et de l'aquaculture à Madagascar.* Rapport COFREPECHE/CFD. 168 p.+ annexes.

Vincent X.
2006 – « Écocertification de la pêcherie crevettière malgache : état des lieux ». *In* Ranaivoson E., Andriantsoa M., Vincent X., Kasprzyk Z. (éd.) : 285-292.

Vincent-Cuaz L.
1964 – *Observations crevettières effectuées en 1964 à Madagascar. Campagne du CHIDORIGO*. Division des pêches maritimes/ministère d'État chargé de l'agriculture, de l'expansion rurale et du ravitaillement. Rapport ronéo., 35 p.

Vincent-Cuaz L.
1967 – *Observations crevettières 1966. Campagnes du Bibelot, production artisanale.* Div. pêches mar. ministère de l'Agriculture de Madagascar, Tananarive. 66 p. multigr.

Ward J. M.
1994 – The Bioeconomic Implications of a Bycatch Reduction Device as a Stock Conservation Management Measure. *Marine Resource Economics* (9) : 227-240.

Willman R., Garcia S.
1985 – *A bio-economic model for the analysis of sequential artisanal and industrial fisheries for tropical shrimp*. Rome, FAO Fisheries Technical Paper, 270, 49 p.

Ye Y.
2002 – Bias in estimating bycatch-to-shrimp ratios. *Aquat. Living Resour.,* 15 (3) : 149-154.

Liste des auteurs

Alain Caverivière
Chercheur biologiste de l'IRD, docteur d'État ès sciences, spécialiste en dynamique des populations. Il travaille depuis 1975 sur les ressources en poissons démersaux, crevettes et céphalopodes d'Afrique de l'Ouest. À partir de 2002, il a été coordonnateur scientifique du Programme national de recherche crevettière.
alain.caveriviere@ird.fr

Christian Chaboud
Chercheur économiste de l'IRD, docteur en économie du développement, spécialiste en économie des ressources marines et de l'environnement. Il a assuré la réalisation des recherches en socio-économie et en modélisation bioéconomique durant les deux phases du PNRC.
christian.chaboud@ird.fr

Théophile Rafalimanana
Ingénieur des sciences agronomiques, ingénieur en halieutique, docteur en halieutique de l'École nationale agronomique de Rennes. Il a été directeur du Programme national de recherche crevettière aux cours de ses phases 1 et 2 (1997-2004).
trafalimanana@yahoo.fr

Bien-Aimé Rakotondratsimba
Biologiste halieute, diplômé de l'Institut d'halieutique et des sciences marines de Toliara. Il est consultant auprès du PNRC et responsable du suivi des activités de pêche traditionnelle depuis 2006.
benem_s@yahoo.fr

Fanomezantsoa Randriarilala
Ingénieur agronome, diplômé de l'École supérieure des sciences agronomiques d'Antananarivo. Il est consultant auprès du PNRC depuis octobre 2004, superviseur puis coordonnateur du suivi des captures accessoires au sein du PNRC.
ra_fafah@yahoo.fr

Nirina Bernadette Rasoanandrasana
Océanographe biologiste, diplômée de l'Institut d'halieutique et des sciences marines de Toliara, en poste au PNRC de 1997 à 2005. Elle a été responsable du suivi des activités de pêche traditionnelle.
nirina-rasoa@hotmail.com

Herimamy Lalaniaina Razafindrakoto
Océanographe biologiste,
diplômé de la faculté des sciences
de Toliara en océanologie appliquée.
Mis à la disposition du PNRC
par le ministère de l'Enseignement
supérieur et de la Recherche
depuis décembre 1997, il est responsable
du suivi des activités de pêche industrielle.
herimamylr@hotmail.com

Antoine de Rodellec du Porzic
Ingénieur halieute, diplômé de l'École
nationale agronomique de Rennes.
Affecté pendant deux ans comme volontaire
civil de l'IRD au PNRC, il a participé aux
activités de suivi de la pêche traditionnelle.
arodellec@hotmail.com

Yann Sandon
Ingénieur halieute,
diplômé de l'École nationale
agronomique de Rennes.
Son recrutement a été conduit par l'IRD
pour un poste d'adjoint au directeur
du PNRC durant sa seconde phase.
ysandon@yahoo.fr

Pierre Voisin
Ingénieur océanographe,
diplômé du Centre d'océanologie
de Marseille. Chargé de mission recruté
par l'IRD pour une affectation
de deux ans au PNRC en octobre 2003,
il est responsable des recherches
sur les relations pêche-climat.
voisin_pierre@hotmail.com

louisjean IMPRIMEUR

59, Av. Émile Didier
05003 Gap Cedex
Tél. 04 92 53 17 00

Dépôt légal : 586
Octobre 2008
Imprimé en France

Ce livre a été imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement.
(norme PEFC)

Depuis les années 1960, les crevettes côtières de Madagascar font l'objet d'une intense exploitation. Elles représentent l'une des principales ressources de devises du pays et constituent à ce titre un enjeu convoité par les investisseurs, mais aussi par les pêcheurs traditionnels. Du fait de l'augmentation de la pression de pêche, la pêcherie malgache se trouve confrontée, depuis le milieu des années 1990, à des difficultés économiques croissantes, à la stagnation des débarquements, à la baisse des rendements et de la taille moyenne des captures.

Avec pour objectif d'actualiser les connaissances scientifiques sur la ressource et d'en améliorer l'exploitation et la gestion, le Programme national de recherche crevettière (PNRC) a été lancé en 1997 avec le soutien financier de l'Agence française de développement et l'expertise scientifique de l'Institut de recherche pour le développement (IRD).

Cet ouvrage en présente la synthèse dans trois principaux domaines : biologie et environnement des espèces ; dynamique et état de l'exploitation industrielle, artisanale et traditionnelle ; économie de l'exploitation et évolution des aménagements.

Chercheurs, professionnels, décideurs et économistes des pêches y trouveront un bilan complet et actualisé sur la pêche crevettière à Madagascar.

Nanomboka ny taona 1960, dia notrandrahina fatratra ireo makamba mivelona ety akaikin'ny morontsiraka. Anisan'ny mampidi-bola vahiny betsaka io harena io, ka noho izany antony izany dia maro ireo mpampiasa vola no maniry ny hitrandraka azy, ao koa ireo mpanjono netim-paharazana. Noho ny fitombon'ny vesatry ny fanjonoana, dia misedra olona ara toe-karena ny fanjonona makamba eto Madagasikara nanomboka teo anelanelan'ny taona 1990, tsy nitombo intsony ny vokatra ary nihena ihany koa ny halehiben'ny makamba voajono.

Raha napetraka ny tanjona hanavaozana ny fahalalana mikasika ireo harena trandrahina (makamba) sy ny hanatsarana ny fitatanana sy ny fitrandrahana, ary koa ny hamaritana ny politikam-panajariana ireo fari-mpamokarana, dia najoro ny Fandaharanasam-Pirenena misahana ny fiakarohana momban'ny makamba (Programme national de recherche crevettière : PNRC) tamin'ny taona 1997, izay nahazo famatsiam-bola tamin'ny Agence française de développement (AFD), ary ny fanohanan'ny l'Institut de recherche pour le développement (IRD) teo amin'ny trai-kefa ara-tsiantifika.

Ity boky ity dia famintinana ireo fahalalana eo amin'ny sehatra telo : biolojy sy ny tontolo iainan'ireo makamba ; ny fivoarana sy ny zava-misy eo anivon'ny fanjonoana vaventy, salantsalany ary ny netim-paharazana ; ny lafiny ekonomikan' ny fitrandrahana sy ny fivoaran'ny fanajariana.

Ny Mpikaroka, ny mpandraharaha eo amin'ny sehatry ny jono sy ny fiompiana, ny mpanapa-kevitra sy ny mpandinika ny ara-toe-karen'ny jono, dia hahita ato ny tahiri-kevitra sy ny tokony ho fantatra farany mikasika ny jono makamba any Madagasikara.

Alain Caverivière est docteur en biologie marine, spécialiste de la biologie et de l'exploitation des ressources démersales et benthiques. Ses recherches, menées au sein de l'IRD, ont été réalisées en Afrique de l'Ouest puis à Madagascar.

Christian Chaboud est docteur en économie, spécialisé en économie des ressources et de l'environnement marin. Ses recherches à l'IRD sur le développement et la gestion des pêcheries artisanales et traditionnelles se sont élargies à la modélisation bioéconomique ainsi qu'à l'aménagement des pêches.

Théophile Rafalimanana est docteur halieute. Responsable des statistiques au sein de l'administration malgache de la pêche, il a été directeur national du Programme National de Recherche Crevettière de 1997 à 2005. Ses travaux de recherche ont principalement porté sur la biologie de la principale espèce de crevette (*Fenneropanaeus indicus*) exploitée à Madagascar.

IRD
44, bd de Dunkerque
13572 Marseille cedex 02
editions@ird.fr
www.editions.ird.fr

Diffusion
IRD
32, av. Henri-Varagnat
93143 Bondy cedex
fax : 01 48 02 79 09
diffusion@bondy.ird.fr

PNRC
Programme National de Recherche Crevettière

afd
Agence Française de Développement

GROUPEMENT DES AQUACULTEURS ET DES PÊCHEURS DE CREVETTES DE MADAGASCAR (GAPCM)

9 782709 916455

30 €

ISBN 978-2-7099-1645-5