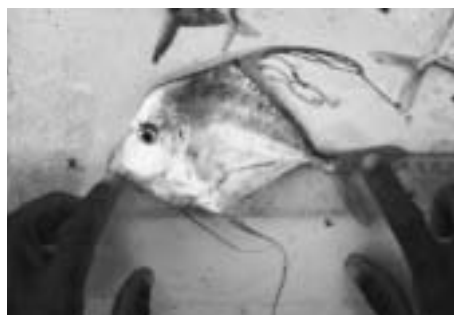


Modélisation bioéconomique de la pêche crevettière malgache

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 crevettes²⁹, 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 Koweït (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 tortues³⁰ ou de réduction des captures accessoires de poissons³¹ (WARD, 1994), en réponse au discours environnementaliste souvent critique à l'égard des pêcheries crevettières (ENVIRONMENTAL JUSTICE FOUNDATION, 2003).

Une pêche malgache complexe

La pêche 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 conditionnent 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 pêche et donc les décisions qui cherchent à orienter sa trajectoire. Les éléments internes au système concernent les différents types de capitaux³² en interaction dans la pêche. Il s'agit essentiellement du capital naturel constitué de la ressource crevettière et poissonnière et de son écosystème³³, 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 démarche³⁴.

La nécessité d'outils pour la gestion durable de la pêche

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 pêche 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 PNRG 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 femelles³⁵ 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 zones³⁷. 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 pêche 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 pêche et de l'appréciation biologique et économique de ses résultats³⁸. 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. semi-sulcatus* 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 pêche.

(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 crevette, dont les données sources ont fait l'objet d'une certification comptable³⁹.

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 crevette 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 commercial⁴⁰, 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 partir 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, influencer 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 étroit⁴¹, 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 au 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 $t = 1, 2, \dots, 365$ dans la version du modèle à pas de temps quotidien.

L'effectif \mathbf{N} d'une cohorte décroît de façon exponentielle en fonction de la mortalité totale \mathbf{Z} :

$$\mathbf{N}_t = \mathbf{N}_{t-1} \cdot e^{-Z_t} \quad (1)$$

Le nombre d'individus morts dans l'intervalle $[t-1, t]$ se déduit de l'équation précédente :

$$\mathbf{N}_{t-1} - \mathbf{N}_t = \mathbf{N}_{t-1} [1 - e^{-Z_t}] \quad (2)$$

La mortalité totale a deux composantes, la mortalité naturelle \mathbf{M}^{42} et celle exercée par la pêche \mathbf{F} :

$$\mathbf{Z}_t = \mathbf{F}_t + \mathbf{M} \quad (3)$$

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 précédente⁴⁵.

La croissance individuelle des crevettes, en longueur céphalothoracique, \mathbf{LC} , est calculée au moyen de l'équation de croissance de von Bertalanffy. Le poids individuel \mathbf{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 \mathbf{t}_0 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.

$$\mathbf{LC}_t = \mathbf{L}_\infty [1 - e^{-K(t-t_r + a_r)}] \quad (4)$$

$$\mathbf{W}_t = \alpha \cdot \mathbf{LC}_t^\beta \quad (5)$$

où \mathbf{L}_∞ est la longueur asymptotique, \mathbf{K} le paramètre de croissance, α et β ceux de la relation poids-longueur.

42. Dans la version courante du modèle, la mortalité naturelle \mathbf{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 pêche 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 pêche, en dépit de ce faible taux de survie.

Supposant connu le prix $pcal_{cal}$ par calibre commercial entier cal^{46} , il est possible de calculer la croissance individuelle en valeur. Si W_t , le poids d'une crevette au temps t , est exprimé en g, un individu appartiendra à un calibre commercial cal de bornes min_{cal} et Max_{cal} si $1000/W_t \in [min_{cal}, Max_{cal}]$, et son prix au kg p_t sera égal à celui du calibre correspondant $pcal_{cal}$. On peut alors calculer la valeur individuelle :

$$V_t = p_t \cdot W_t \quad (6)$$

La biomasse instantanée B_t est le produit des effectifs N_t par le poids individuel W_t :

$$B_t = N_t \cdot W_t \quad (7)$$

La biomasse féconde est le produit de la biomasse B_t des cohortes femelles par le taux d'individus féconds, représenté par une fonction Fec de la longueur LC_t .

$$BF_t = B_t \cdot Fec(LC_t) \quad (8)$$

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 $M = 0,2/\text{mois}$	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 (ariary⁴⁷). 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 20,3g 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 0,52⁴⁸ 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.

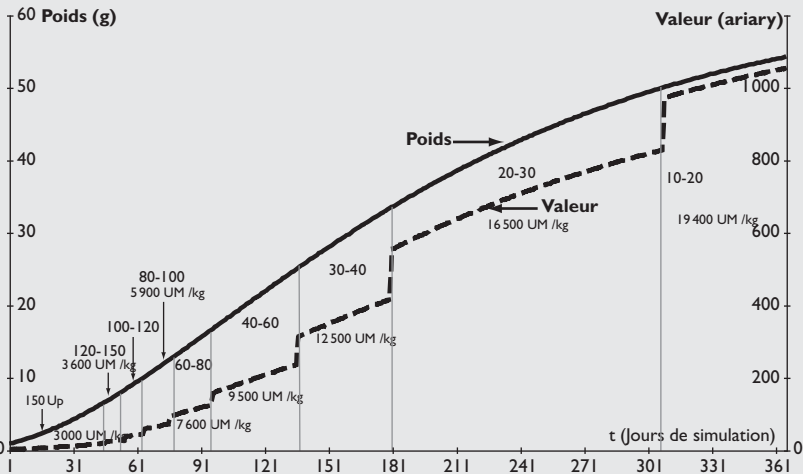


Fig. 136
 Croissance individuelle en poids et en valeur.
 Changements de calibres commerciaux et prix (unité monétaire UM en ariary)
 (*F. indicus*, femelle, zone A; valorisation au prix FOB à l'export 2003).

La capture instantanée en poids y_t ou en valeur yv_t est égale à la part de la mortalité par pêche dans la mortalité totale, soit F_t/Z_t , multipliée par le nombre total d'individus morts entre $t-1$ et t et leur poids individuel moyen W_t ou leur valeur V_t .

47. En septembre 2006, un ariary valait 0,000370479 euro, soit 2 699 ariary pour un euro.

48. On a $N_{200} = N_{100} \cdot e^{-(0,00655 \cdot 100)}$. Si $N_{100} = 1$, on obtient $N_{200} = 0,52$.

$$y_t = [F_t / Z_t] \cdot N_{t-1} \cdot [1 - e^{-Z_t}] \cdot W_t \text{ (volume)} \quad (9)$$

$$yv_t = [F_t / Z_t] \cdot N_{t-1} \cdot [1 - e^{-Z_t}] \cdot V_t \text{ (valeur)}$$

Pour un segment de pêche x la capture instantanée sera calculée de la même façon :

$$y_{x_t} = [F_t / Z_t] \cdot N_{t-1} \cdot [1 - e^{-Z_t}] \cdot W_t \text{ (volume)} \quad (10)$$

$$yv_{x_t} = [F_{x_t} / Z_t] \cdot N_{t-1} \cdot [1 - e^{-Z_t}] \cdot V_t \text{ (valeur)}$$

La capture instantanée par unité de pêche est alors égale à :

$$ybat_{x_t} = y_{x_t} / \mathbf{Batact}_{x_t} \text{ (volume)} \quad yvbat_{x_t} = yv_{x_t} / \mathbf{Batact}_{x_t} \text{ (valeur)} \quad (11)$$

où \mathbf{Batact}_{x_t} est le nombre d'UP actives du type x au temps t .

La capture cumulée \mathbf{Y} pour une cohorte et par type d'exploitation, pour la période de simulation s'obtient par intégration de la capture instantanée \mathbf{y} :

$$\mathbf{Y} = \int_{t_0}^{t_{\max}} \mathbf{y}_t dt \text{ (volume)} \quad \mathbf{YV} = \int_{t_0}^{t_{\max}} \mathbf{yv}_t dt \text{ (valeur)} \quad (12)$$

où t_0 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 :

$$\mathbf{Y}_x = \int_{t_0}^{t_{\max}} \mathbf{y}_{x_t} dt \text{ (volume)} \quad \mathbf{YV}_x = \int_{t_0}^{t_{\max}} \mathbf{yv}_{x_t} dt \text{ (valeur)} \quad (13)$$

La capture cumulée de la pêche, 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'efficacité de l'exploitation, est égal à \mathbf{Y}/\mathbf{R} , il peut être également obtenu en valeur \mathbf{YV}/\mathbf{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 F_t est particulièrement crucial pour bien rendre compte de l'impact des mesures de gestion et des externalités entre types de pêche.

F_t est égal au produit de l'effort de pêche nominal f_t (une mesure des moyens matériels consacrés à la capture) par la capturabilité 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 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 R_1 est fixé à $15,9 \cdot 10^6$ 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).

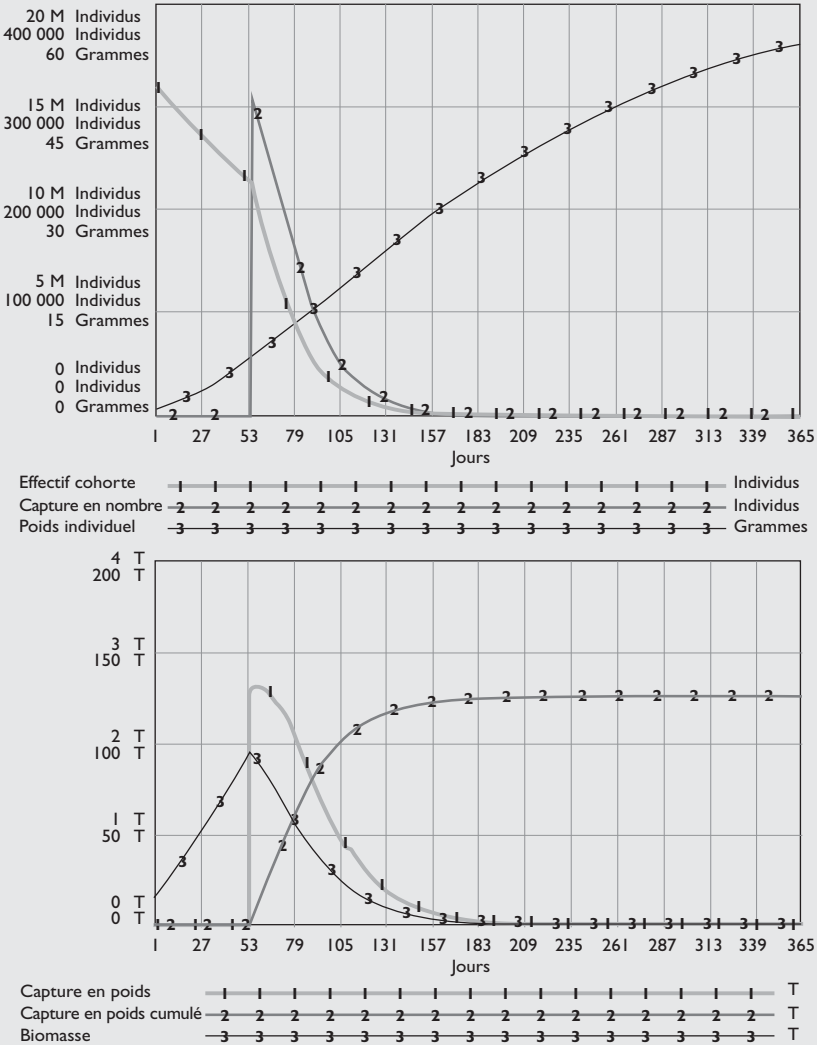


Fig. 137

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 pêche (5 060 t). Ceci peut inciter à discuter la pertinence du concept de stock annuel moyen comme indicateur de suivi de la pêche. Le stock de crevettes (ou mieux encore, de crevettes fécondes), en période de ponte maximale⁴⁹ 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*.

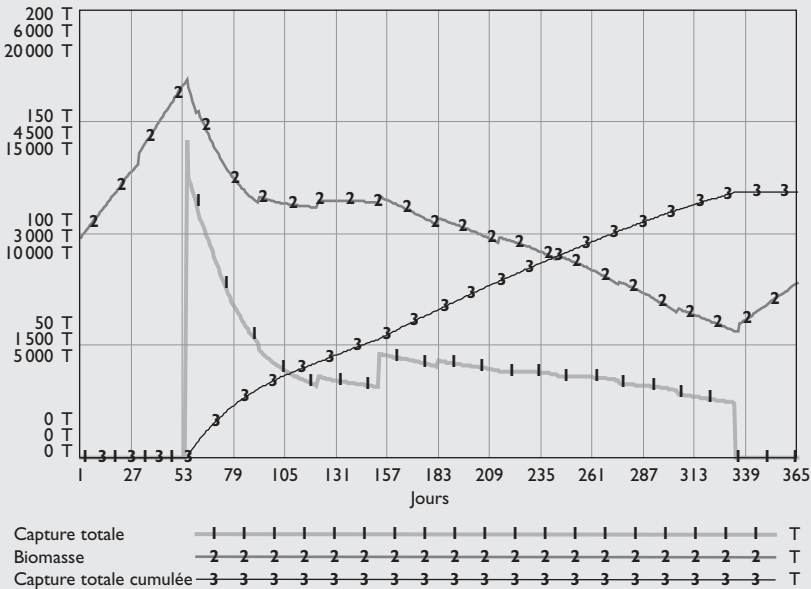


Fig. 138
Biomasse, capture instantanée et capture cumulée sur l'ensemble des espèces, sexes et cohortes de crevettes.

– 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 q_{ct} (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 Sce_z par zone ont été mesurées⁵⁰ par cartographie des positions des bateaux en vitesse de chalutage⁵¹ indiquées par les balises satellites embarquées par l’ensemble de la flotte industrielle⁵². 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 identique⁵³.

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 chalutables⁵⁴. La surface de répartition des crevettes Sp_z sera calculée en utilisant un coefficient de correction cs_z par zone indiquant la part de la surface de répartition supposée non chalutable par des unités industrielles.

$$Sp_z = Sce_z / (1 - cs_z) \quad (14)$$

Pour l’ensemble des filets traînants⁵⁵, la surface balayée (Sb_x) en km² par unité d’effort nominal est donnée par la formule :

$$Sb_x = Hc_x \cdot (Lb_x / 1000) \cdot Vc_x \cdot 1,852 \quad (15)$$

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 , Ps_x , est obtenue à partir du rapport des deux expressions précédentes :

$$Ps_x = Sb_x / Sp_z \quad (16)$$

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.

Type de pêche						
Zone	Congélateur 24 28 m	Semi-congélateur	Glacier	Kopiko	Petite senne	Chalut artisanal
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 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 LC_{50} pour laquelle 50 % des crevettes entrant dans l'engin sont retenues. Une augmentation de maillage induit celle de 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 :

$$\text{Sélect}_{xics_t} = S_x \cdot (LC_{ics_t}) \quad \text{avec } 0 \leq \text{Sélect}_{xics_t} \leq 1 \quad (17)$$

où 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 sexe⁵⁶.

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.

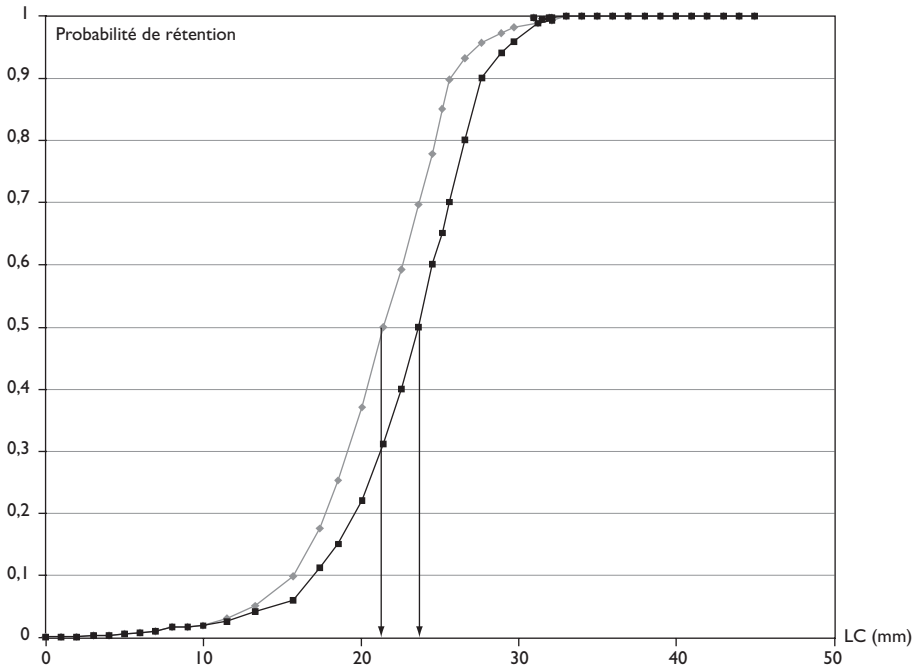


Fig. 139
 Courbe de sélectivité pour deux mailles d'un même engin.

– premièrement, la variation de la répartition spatiale des crevettes durant la période « capturable » de leur cycle vital. Ainsi, les crevettes aux stades 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'échalage *pôtô* ;
- zone intertidale : barrage *valakira*, filet traînant à bras *kopiko*, chalut à l'échalage *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 stades 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).

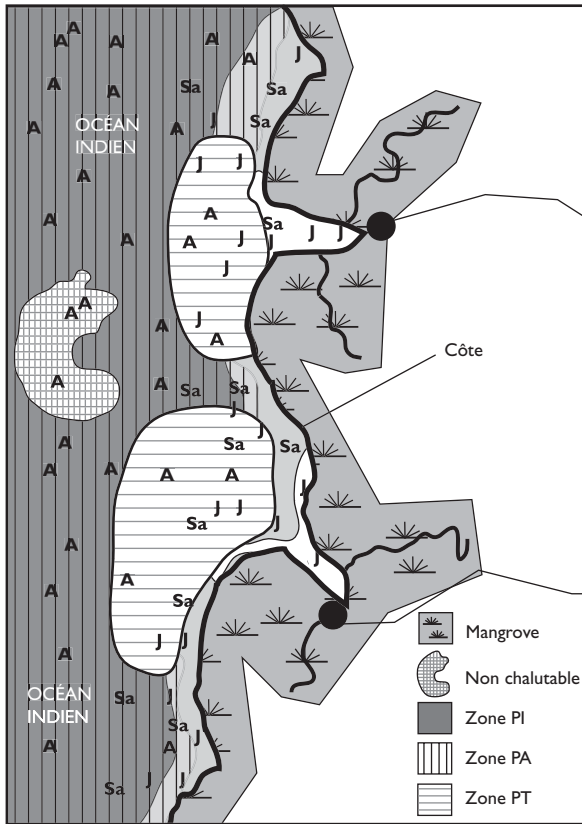


Fig. 140

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 ressource⁵⁷.

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 pêche crevettière malgache. Le désenclavement côtier conduirait à des conséquences similaires.

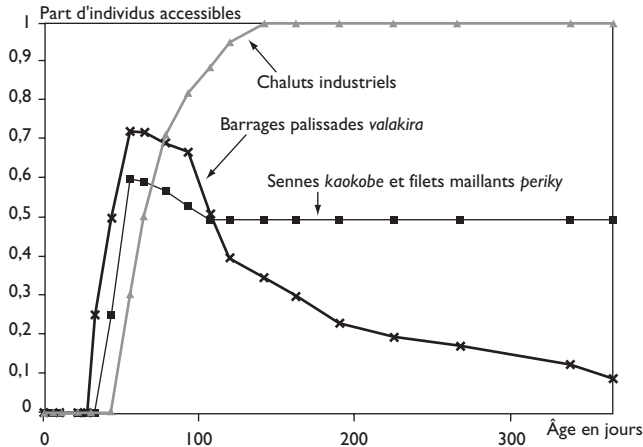


Fig. 141
 Courbes d'accessibilité pour *F. indicus* pour trois engins de pêche.

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 âge⁵⁸, 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 sub-adulte. 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 :

$$Access_{xi\ c_t} = Acc_{xi}(\text{age}_{c_t}) \cdot C_{maccess\ i_{xi\ mois}} \quad (18)$$

où $\text{age}_{c_t} = t - t_r + a_r$ et 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 $C_{maccess\ i_{xi\ mois}}$ de moyenne annuelle égale à 1. La crevette *F. indicus* est considérée comme plus accessible durant les 4 à 5 premiers 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 industriels⁵⁹.

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 **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 :

$$qpot_{x_{ct}} = PS_x \cdot \sum_{is} (Sélect_{xics_t} \cdot Access_{xic_t}) \quad (19)$$

La prise potentielle instantanée **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** :

$$TxUtil_{x_t} = ypotbat_{x_t} / CapMax_x \quad (20)$$

Si **TxUtil_{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 **TxUtil_{x_t} ≤ 1**, alors la capturabilité effective est égale à la capturabilité potentielle.

$$q_{zxisc_t} = qpot_{zxisc_t} / txUtil_{zx_{t-1}} \quad \text{si } txUtil_{zx_{t-1}} > 1 \quad (21)$$

$$= qpot_{zxisc_t} \quad \text{autrement}$$

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 nyctéméral 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 $\mathbf{dBP/dt}$ par zone est obtenue au moyen de l'équation logistique (on ignore l'indice zone pour ne pas alourdir les notations) :

$$\mathbf{dBP/dt} = \mathbf{rp} \cdot \mathbf{BP}_t \cdot (1 - \mathbf{BP}_t / \mathbf{KP}) - [(\sum_x \mathbf{qp}_{x_t} \cdot \mathbf{E}_{x_t} \cdot \mathbf{BP}_t) + (\mathbf{qpp} \cdot \mathbf{EP}_t \cdot \mathbf{BP}_t)] \quad (22)$$

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. \mathbf{rp} est le taux de croissance intrinsèque du stock, \mathbf{KP} la capacité de charge, \mathbf{qpp} la capturabilité et \mathbf{EP} l'effort des UP poissonnières⁶⁰, \mathbf{qp}_x la capturabilité des poissons et \mathbf{E}_{x_t} l'effort nominal par le segment crevettier x .

La capture de poisson par le segment crevettier est égale à :

$$\mathbf{cP}_t = \mathbf{qp}_{x_t} \cdot \mathbf{E}_{x_t} \cdot \mathbf{BP}_t \quad (23)$$

La capture cumulée de poisson par les UP crevettières par segment est obtenue par intégration :

$$\mathbf{CP}_x = \int_{t_0}^{t_{\max}} \mathbf{cP}_{x_t} dt \quad (24)$$

Il reste maintenant à déterminer la part de poisson conservé à bord par segment $\mathbf{ConsPois}_x$. 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 capturé⁶¹.

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.

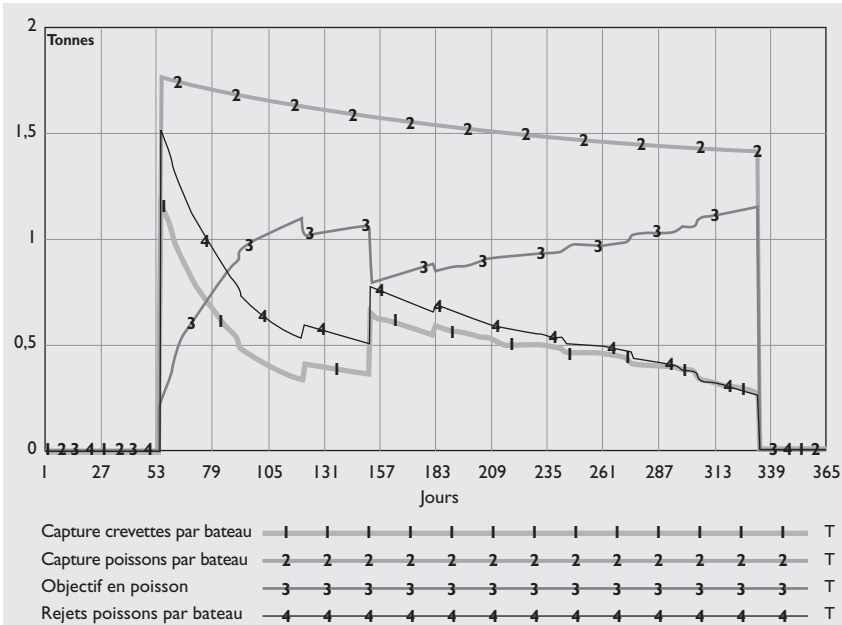


Fig. 142

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 pêche 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 possibles⁶².

L'état d'ouverture ou de fermeture par segment de pêche est représenté par une variable binaire **Pêche_Ouverte**.

$$Pêche_Ouverte_{x_t} = 1 \text{ si } t \in [Dateouv_x, Dateferm_x[\quad (25)$$

et $t \notin [fpériod1, opériod1]$ et $t \notin [fpériod2, opériod2]$

= 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 $Batact_{xt}$, égal au nombre initial d'UP $Batautor_x$, multiplié par le taux d'activité $txAct_x$ 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 phénomène⁶³.

$$Batact_{xt} = Batautor_x \cdot txAct_x \text{ si } Pêcherie_ouverte_{xt} = 1 \quad (26)$$

$$= 0 \text{ autrement}$$

On a introduit la possibilité de régulation endogène de l'effort de pêche au sein d'une simulation⁶⁴. 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 flotte 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.

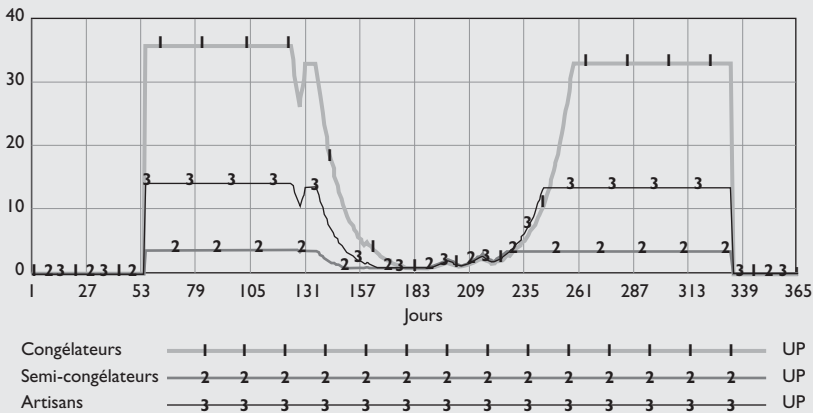


Fig. 143

Dynamique de l'effectif de la flotte 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'aborderons 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.

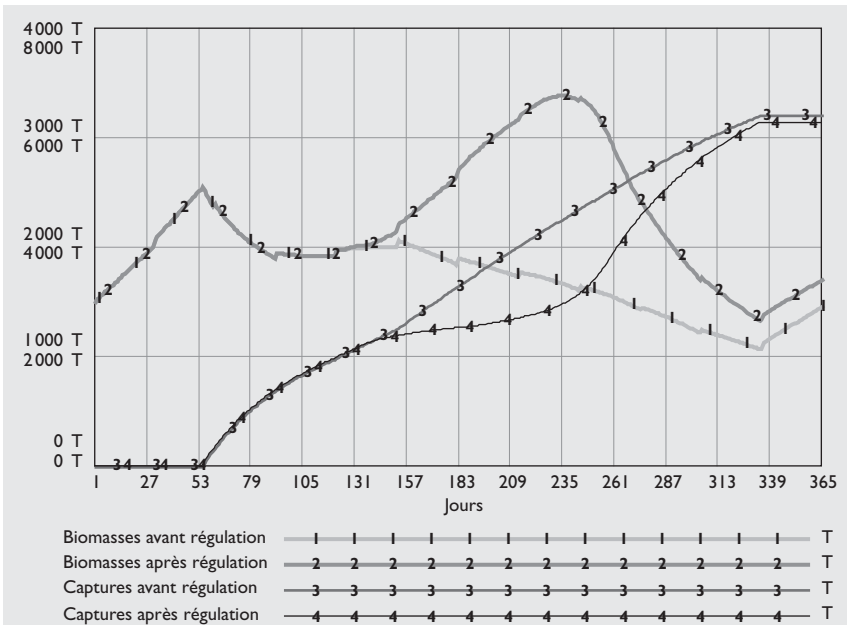


Fig. 144

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 :

$$\text{fact} = e^{-[(r/365) \cdot t]} \quad (27)$$

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 considèrera 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 nationale⁶⁵. 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 P en monnaie locale sera indiqué 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 pondéré⁶⁶ par calibre commercial entier $pcal_{xical}$.

Connaissant le poids individuel des crevettes par cohorte 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 :

$$P_{xisc_t} = pcal_{xical} \text{ si } (1000/W_{isc_t}) \in]\min_{cal}, \text{Max}_{cal}] \quad (28)$$

où \min_{cal} et 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 crevette 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 crevette, 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) :

<i>F. indicus</i>	$P = 3\,631 + 258 \cdot W$	$R^2 = 0,92$	$N = 27$
	(7,24) (17,90)		
<i>M. monoceros</i>	$P = 3\,698 + 181 \cdot W$	$R^2 = 0,86$	$N = 27$
	(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 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) :

$$caC_{x_t} = \sum_i \sum_s \sum_c (P_{xisc_t} \cdot y_{xisc_t}) \quad (29)$$

Le chiffre d'affaires instantané caP_x en poisson par segment de pêche est égal à :
 $caP_{x_t} = ConsPois_{x_t} \cdot PrixPois_x$ (30)

Le chiffre d'affaires total par segment (ca_x) ou par UP ($cabat_x$) instantané peut alors être calculé :

$$ca_{x_t} = caC_{x_t} + caP_{x_t} \quad cabat_{x_t} = ca_{x_t} / batact_{x_t} \quad (31)$$

Le chiffre d'affaires cumulé par segment est alors obtenu par intégration :

$$CA_x = \int_{t_0}^{t_{max}} ca_{x_t} dt \quad (32)$$

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 :

$$CA_z = \sum_x CA_{zx}$$

Le chiffre d'affaires cumulé de la pêche 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.

$$CAP = \sum_z \sum_x CA_{zx} + CA_{activités \ à \ terre \ non \ imputées} \quad (33)$$

■ 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 pêche (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 intermédiaires⁶⁷ (**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 (**ImpBénéf.**, 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 (**concarb**) et de lubrifiant (**conslub**), 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 (**ckgemball**). Les CI variables par segment de pêche **civar_x** sont alors le produit des CI variables par UP par l’effectif d’UP actives **Batact_x** auquel s’ajoutent les CI variables imputées des activités de transformation **civartrans_x**, stockage, **civarstock_x** et gestion **civargest_x**.

$$\text{civar}_{x_t} = [((\text{prcarb}_{x_t} \cdot \text{concarb}_x) + (\text{prlub}_{x_t} \cdot \text{conslub}_{z_x}) + (\text{ckgemball} \cdot \text{ybat}_{x_t})) + \sum_{\text{nom} \neq \{\text{carb}, \text{lub}, \text{emballage}\}} \text{civarbat}_{x, \text{nom}} \cdot \text{Batact}_{x_t}] + \text{civartrans}_{x_t} + \text{civarstock}_{x_t} + \text{civargest}_{x_t} \quad (34)$$

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.

$$\mathbf{Cfix}_x = (\mathbf{Cfixbat}_x \cdot \mathbf{Batautor}_x) + \mathbf{Cfixtrans}_x + \mathbf{Cfixstock}_x + \mathbf{Cfixgest}_x \quad (35)$$

Les CI cumulées par segment sont la somme des CI fixes et de l'intégrale des CI variables :

$$\mathbf{CI}_x = \mathbf{Cfix}_x + \int_{t_0}^{t_{\max}} \mathbf{civar}_{x_t} dt \quad (36)$$

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 $\mathbf{CI}_{x \text{ nom}}$.

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 $\mathbf{wfixe}_{x \text{ qualif}}$ de la taille des équipages $\mathbf{équip}_{x \text{ qualif}}$ 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 ($\mathbf{primecrev}_{x \text{ qualif}}$ $\mathbf{primpois}_{x \text{ qualif}}$).

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 :

Si $x \in \{\mathbf{PI}\}$

$$\begin{aligned} \mathbf{wéquip}_{x_t} = & \left[\sum_{\text{qualif}} (\mathbf{wfixe}_{x \text{ qualif}} \cdot \mathbf{équip}_{x \text{ qualif}} \cdot \mathbf{Batautor}_x) \right] \quad (37) \\ & + \left[\sum_{\text{qualif}} (\mathbf{primecrev}_{x \text{ qualif}} \cdot \mathbf{ybat}_{x_t} \cdot \mathbf{Batact}_{x_t}) \right] \\ & + \left[\sum_{\text{qualif}} (\mathbf{primpois}_{x \text{ qualif}} \cdot \mathbf{cons pois}_{x_t} \cdot \mathbf{Batact}_{x_t}) \right] \cdot (1 + \mathbf{txchargsoc}_x) \end{aligned}$$

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.

Si $x \in \{\mathbf{PA} \cup \mathbf{PT}\}$ (38)

$$\begin{aligned} \mathbf{wéquip}_{x_t} = & \left[\left(\sum_{\text{qualif}} \mathbf{wfixe}_x \cdot \mathbf{équip}_x \cdot \mathbf{Batautor}_{x_t} \right) \right. \\ & \left. + (\mathbf{partca}_x \cdot \mathbf{cabat}_{x_t} \cdot \mathbf{Batact}_{x_t}) \right] \cdot (1 + \mathbf{txchargsoc}_x) \end{aligned}$$

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).

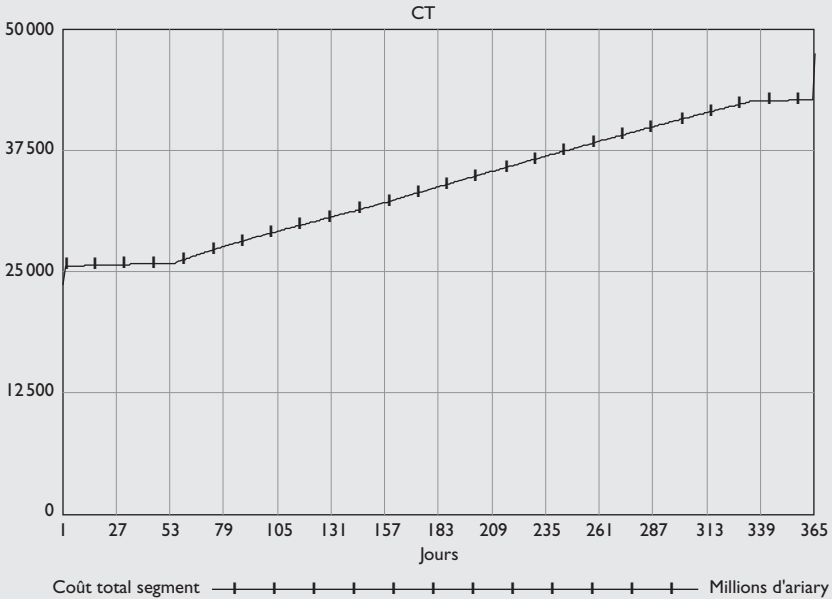


Fig. 145
Formation du coût d'un segment de pêche.

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 près 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).

$$W_{tot}_x = W_{trans}_x + W_{stock}_x + \int_{t_0}^{t_{max}} w_{equip}_x dt \quad (39)$$

W_{tot}_x est assimilable au revenu brut des ménages⁷¹, 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-congérateurs de la zone A et de l'ensemble de la pêche

La figure 146 montre la formation des résultats financiers pour le segment particulier des chalutiers-congérateurs 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)	8 412	74 %
RBE	3 052	26 %
RNE	1 863	16 %
RNE après impôt sur les bénéfices	1 305	11 %

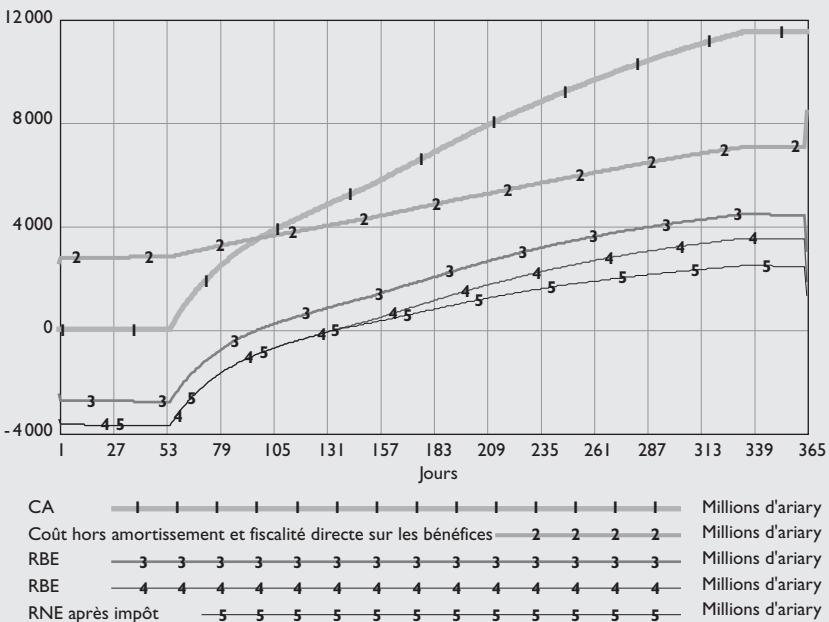


Fig. 146
 Formation des résultats financiers pour un segment de pêche.

Les résultats pour l'ensemble de la pêche 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 pêche, 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 pêche. Cependant, ce résultat négatif ne s'observe que pour la composante industrielle de la pêche. 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 pêche. La justesse du diagnostic de déficit de la pêche 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 pêche 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 :

$$\mathbf{Impbénéf}_x = \mathbf{Rne}_x \cdot \mathbf{tximpbénéf} \quad \text{si } \mathbf{Rne}_x > 0 \quad (42)$$

$$\mathbf{Impbénéf}_x = 0 \quad \text{si } \mathbf{Rne}_x \leq 0$$

Le résultat net d'exploitation après impôt peut alors être calculé à partir des deux équations précédentes :

$$\mathbf{Rne_ap_imp}_x = \mathbf{Rne}_x - \mathbf{Impbénéf}_x \quad (43)$$

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 pêche, 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 pêche.

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 $VABD_x$ par segment est la différence entre le CA (équ. 32) et les CI (équ. 36) cumulés (en ignorant l'indice zone z) :

$$VABD_x = CA_x - CI_x \quad (45)$$

La valeur ajoutée nette directe s'obtient en retirant la valeur des amortissements :

$$VAND_x = VABD_x - Amt_x \quad (46)$$

Les consommations intermédiaires locales CIL_x sont le produit des consommations intermédiaires $CI_{x\ nom}$ et du taux de contenu en consommations intermédiaires locales $T_x CI_{x\ nom}$, spécifiés par segment x et poste de nomenclature nom .

$$CIL_x = \sum_{nom} (CI_{x\ nom} \cdot T_x CI_{x\ nom}) \quad (47)$$

Les importations directes $IMPdir$ sont égales à la différence entre les CI et les CIL :

$$IMPdir_x = CI_x - CIL_x \quad (48)$$

Les importations indirectes $IMPindir_x$ sont calculées à partir des CIL et de leur taux d'importation par poste de nomenclature ($T_x IMPincl_{x\ nom}$).

$$IMPindir_x = \sum_{nom} (CI_{x\ nom} \cdot T_x IMPincl_{x\ nom}) \quad (49)$$

Les importations incluses sont enfin la somme des importations directes et indirectes :

$$IMPincl_x = IMPdir_x + IMPindir_x \quad (50)$$

La valeur ajoutée brute indirecte ($VABI_x$) est égale à la différence entre les CIL et les importations incluses :

$$VABI_x = CIL_x - IMPincl_x \quad (51)$$

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 $\mathbf{txImpmén}$ 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 $\mathbf{RevEtat}$ comprennent la fiscalité directe sur les bénéfices des firmes $\mathbf{Impbénéf}$, les droits de pêche \mathbf{Redev} , la fiscalité directe sur les ménages $\mathbf{Impmén}$ et les taxes sur les intrants importés \mathbf{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.

$$\begin{aligned} \mathbf{EmploiBord}_x &= \int_{t_0}^{t_{\max}} \left(\sum_{\text{qualif}} \mathbf{equip}_x \cdot \mathbf{Batautor}_x \right) dt \quad \text{si } x \in \{\mathbf{PI}\} \quad (56) \\ &= \int_{t_0}^{t_{\max}} (\mathbf{equip}_x \cdot \mathbf{Batautor}_x) dt \quad \text{si } x \in \{\mathbf{PA}\} \\ &= \int_{t_0}^{t_{\max}} (\mathbf{equip}_x \cdot \mathbf{Batact}_x) dt \quad \text{si } x \in \{\mathbf{PT}\} \end{aligned}$$

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 pêche par une réduction de flotte. 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 pêche, qui peuvent être comparés au RBE du secteur privé qui représente 15% du CA de la pêche. 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 pêche (**Emploi**) est obtenu par sommation des éléments précédents :

$$\text{Emploi} = \sum_x \text{EmploiBord}_x + \sum_z [\text{Emploitrans}_z + \text{Emploistock}_z + \text{Emploigest}_z] \quad (57)$$

Indicateurs de durabilité de la pêche

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 indicateurs⁷². 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 crevette. 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 crevette. 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 pêche	Rente	7 milliards ariary
	Les recettes publiques totales nettes obtenues de la pêche	RevEtat	11 milliards ariary
	Le taux de VAB primaire	VABP/CA	0,67
	La contribution nette de la pêche 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	$\sum_x W_{tot_x}$ $x \in \{PA \cup PI\}$	11,1 milliards ariary
Sociale	La rémunération des ménages du secteur traditionnel	$\sum_x W_{tot_x}$ $x \in \{PT\}$	3 milliards ariary
	L'emploi total dans la pêche	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	$\int B_{act_x} \cdot H_{c_x} dt$	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 équivaldrait 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 multicritères 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 pêche : 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 $\mathbf{E}(\mathbf{S}_p)$ égale à 1.

$$\mathbf{P}_{stoch} = \mathbf{P}_{det} \cdot \mathbf{S}_p \quad \text{avec } \mathbf{E}(\mathbf{S}_p) = 1$$

Nous avons choisi pour \mathbf{S}_p une distribution dissymétrique Log-normale, $\text{Log}(\mathbf{S}_p)$ suit une loi de distribution $N(\mathbf{m}_p, \sigma_p)$, il est démontré (voir par exemple LAUREC *et al.*, 1980) que $\mathbf{E}(\mathbf{S}_p) = e^{[\mathbf{m}_p + (\sigma_p^2/2)]}$. Et $\mathbf{E}(\mathbf{S}_p) = 1 \Rightarrow \mathbf{m}_p = -\sigma_p^2/2$. Le seul paramètre caractérisant le phénomène stochastique reste donc σ_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, \dots, 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, \dots, 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 σ_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 flotte 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 flotte 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 pêche.

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 gestion⁷³ 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 crevette ? 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.

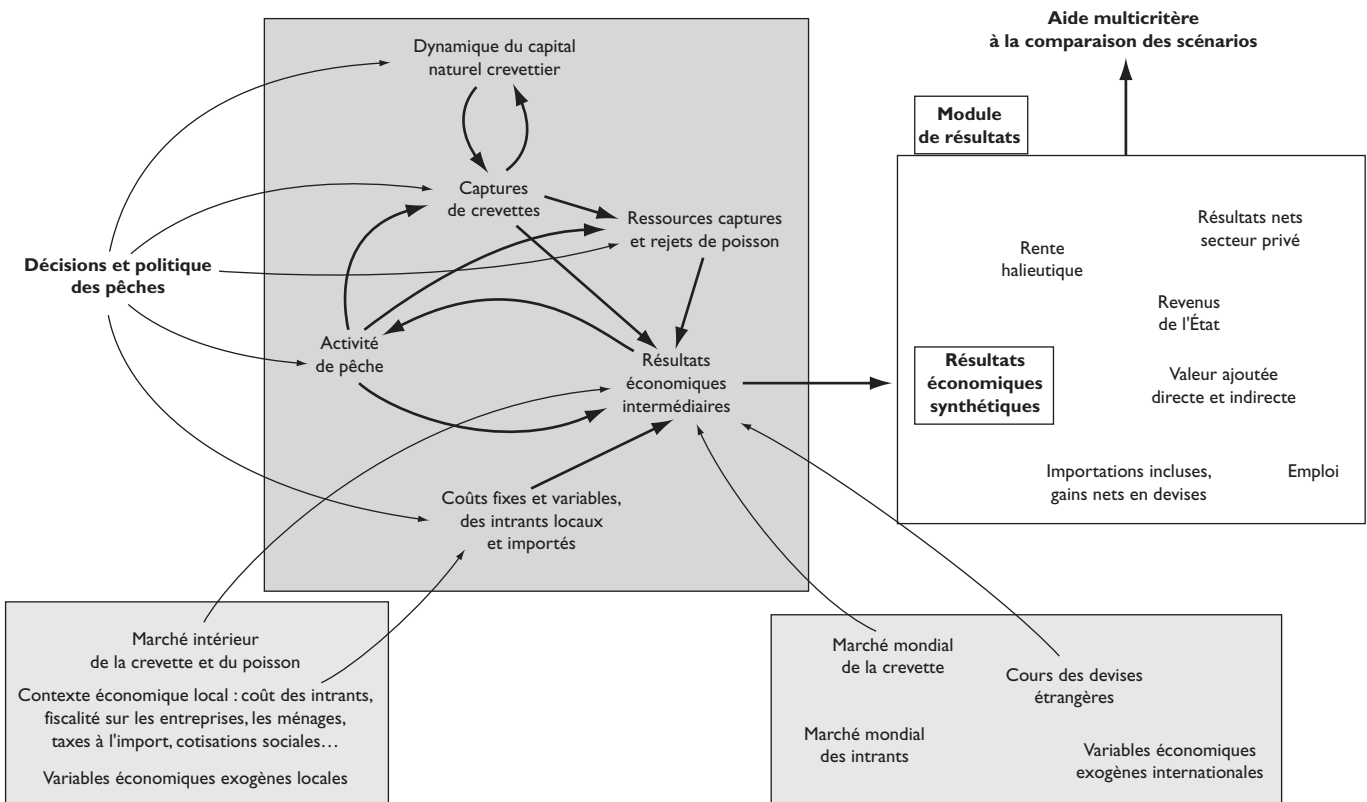
Certains groupes verticalement intégrés disposent de diverses sources d'approvisionnement dont les rentabilités respectives diffèrent selon les conditions locales de production et de dotation en facteurs de production (travail, capital économique et capital naturel). Si l'objectif d'une firme transnationale 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 pêche malgache, présentée ici, a permis de mettre en évidence les hypothèses, la structure et les principaux résultats d'un modèle bioéconomique appliqué à une pêche 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 pêche.

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, HLS1 60, HL61 70, HL71 90, HL91UP, DEC21 40, DEC41 60, DEC61 90, DEC91 UP	Calibres commerciaux crevettes Sous-ensembles : calibreHO <i>calibre HL</i> <i>calibre DEC</i>
Cohorte	C	cohortemoins6, cohortemoins5, cohortemoins4, cohortemoins3, cohortemoins2, cohortemoins1, ohortel1, 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 pêche
Devises	dev	EUR, USD, JPY	Principales devises dans lesquelles sont exprimés les prix des exportations de crevettes et des importations d'intrants
Espèces	i	<i>F. indicus</i> , <i>M. monoceros</i>	Espèces de crevettes retenues dans le modèle
Mois	mois	mois1, mois2...mois12	
Nomenclature coût	nom	<i>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</i>	Nomenclature des coûts d'exploitation des activités de pêche Sous-ensembles : <i>consommables</i> <i>prestations de service</i>
Qualification marin pêche industrielle	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 <i>Type traditionnel</i> <u>Type artisanal</u>
Zone	z	zone a, zone b, zone c, zone d.	Sous-ensembles : Côte ouest <i>Côte est</i>

Annexe 3

Compte d'exploitation général de la pêche issue 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 imputations 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