

Report

Évaluation par l'approche globale du stock Sénégalais de crevettes profondes, *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1847)

Modou THIAW^{1,*}, Massal FALL¹ et Ndiaga THIAM¹

¹ ISRA/Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye, BP 2241, Dakar, Sénégal

* Correspondance: Tél: (+221) 77 445-23-91 Télécopie : (+221) 33-832-82-62 Courriel: modouth@hotmail.fr (M. Thiaw)

Reçu le 02/09/2012; accepté le 30/07/2013; publié en ligne le 31/07/2013
Oceanraise © MS 53020912

Résumé

La crevette profonde ou crevette gamba (*Parapenaeus longirostris*) fait partie des ressources halieutiques de première importance au niveau socio-économique, elle est fortement exploitée en Afrique de l'Ouest. Il s'agit d'une espèce à vie courte dont l'abondance et la production sont très variables d'une année à l'autre. Au Sénégal, le stock de crevettes profondes se situe aux larges des côtes, il est exclusivement exploité par les chalutiers industriels. La présente étude a eu pour objectifs : (i) de comprendre la dynamique du stock de crevette gamba, (ii) d'analyser l'impact respectif de l'environnement et de la pêche sur l'abondance du stock. Les indices d'abondance annuels du stock ont d'abord été estimés par le modèle linéaire généralisé à partir des données de la pêche industrielle étrangère. Ces indices ont permis d'analyser la dynamique du stock de crevettes au cours de la période 1992 à 2006. Des modèles globaux de production intégrant une variable environnementale ont ensuite été appliqués pour analyser l'impact de la pêche et de l'environnement sur l'abondance du stock, afin d'établir un diagnostic de l'état d'exploitation du stock de gamba. Les résultats de la modélisation linéaire montrent que l'abondance du stock de crevettes varie saisonnièrement et annuellement, avec une nette tendance à la diminution. Les modèles de production attestent qu'une large part de cette diminution de l'abondance du stock est liée à la pêche. Le stock de crevette(s) profonde(s) est donc surexploité, mais semble moins affecté par l'intensité de l'upwelling. La production maximale équilibrée est ainsi estimée en moyenne à 2 500 tonnes par année. Une réduction de l'effort de pêche annuel de 67% permettrait d'accroître les biomasses et d'assurer la durabilité du stock de gamba et de son exploitation. Les captures maximales équilibrées subissent cependant des variations interannuelles selon l'intensité de l'upwelling. Un suivi de l'évolution de l'intensité de l'upwelling aiderait à anticiper les captures pour une gestion efficace du stock de crevettes profondes.

Mots clés: Diagnostic ; dynamique des populations ; crevette profonde ; environnement ; indicateurs ; modélisation ; Sénégal ; Afrique de l'Ouest.

Abstract

In West Africa, the deep shrimp (*Parapenaeus longirostris*) is intensively exploited, because it plays a social and economical role. We used surplus production models including environmental effects to analyse their changes in abundance over the past 15 years and to estimate their Maximum Sustainable Yield (MSY) and the related fishing effort (E_{MSY}). First, yearly abundance indices were estimated from commercial statistics of foreign trawlers using GLM techniques. Then, two environmental indices were alternatively tested in the model: the coastal upwelling intensity from wind speeds provided by the SeaWifs database and the sea surface temperature derived from satellite infrared images. Models were fitted, with or without the environmental effect, to the 1992–2006 time series. They express stock abundance and catches as functions of the fishing effort and the environmental index (when considered). Fishing effort has strongly increased over the past 15 years, while abundance has been reduced 7-fold. The environmental has a significant effect on abundance but only explains a small part of the year-to-year variability. The best fit is obtained using fishing effort ($R^2 = 0.64$), and the

stock is now significantly overfished regardless of environmental conditions. MSY is thus estimated on average at 2 500 tons. A reduction of annual fishing effort of 67% would increase the biomass and ensure the sustainability of the stock and its exploitation. MSY however undergo interannual variations according to the intensity of the upwelling. Monitoring of the evolution of upwelling intensity would also predict in advance catches, for better management of the deep shrimp stock.

Key words: Diagnosis; population dynamics; deep shrimp; environment; indicators; modelling; Senegal; West Africa.

Title: Assessment of Senegalese deep shrimp *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1847) stock using surplus production model.

1. Introduction

L'exploitation des crevettes est en plein essor depuis les années 1950 tout au long de la côte ouest africaine intertropicale (Crosnier *et al.*, 1970 ; De Bondy, 1970). En Afrique de l'Ouest, la surface totale des fonds à crevettes est de 4 000 à 5 000 miles² (1 mile nautique = 1,852 km). En 1981, la production potentielle optimale moyenne était estimée à 10 500 tonnes en mer pour une prise en lagune de l'ordre de 3 000 tonnes (Lhomme, 1981). Deux groupes d'espèces de crevettes sont pêchés le long de la côte ouest africaine : les crevettes profondes (*Parapenaeus longirostris*, *Aristeus varidens*, *Plesionika martia*, *Heterocarpus ensifer* et *Plesiopenaeus edwardsianus*) et les crevettes côtières (*Farfantepenaeus notialis*, *Parapenaeopsis atlantica*, *Melicertus kerathurus* et *Penaeus monodon*). Il est à noter que l'exploitation cible principalement trois espèces de crevettes, par ordre d'importance décroissante, *F. notialis*, *P. longirostris* et *A. varidens*.

Bien que ces espèces soient exploitées depuis longtemps, l'évolution de leurs captures et rendements est assez mal documentée, du moins pour la dernière décennie. Au Sénégal, les seules études réalisées portant sur l'évaluation et l'estimation de l'abondance des stocks exploités concernent les poissons démersaux (thiof *Epinephelus aeneus*, pageot *Pagellus bellottii*, rouget *Pseudupeneus prayensis*, pagre *Pagrus caeruleostictus* et thiékem *Galeoides decadactylus*), la crevette côtière *F. notialis* et le poulpe *Octopus vulgaris*. Ces études révèlent que l'abondance des espèces démersales côtières est en diminution constante depuis au moins trois décennies (Barry *et al.*, 2004 ; Gascuel, 2004 ; Gascuel *et al.*, 2004 ; Sidibé *et al.*, 2004 ; Laurans, 2005 ; Thiaw *et al.*, 2009 ; Thiaw, 2010). Les stocks de poulpe et de crevette côtière, outre la diminution de leur abondance, montrent une variabilité saisonnière et interannuelle de leurs biomasses (Faure, 2000 ; Demarcq & Faure, 2000 ; Laurans, 2005 ; Thiaw *et al.*, 2009 ; Thiaw, 2010 ; Thiaw *et al.*, 2011).

Il est, par conséquent, nécessaire d'assurer le suivi de l'exploitation du stock de gamba (*P. longirostris*) pour une gestion efficace de la pêche de cette ressource. C'est dans ce sens que le Comité des Pêches de l'Atlantique Centre-Est (COPACE/FAO) a organisé en 2007, un groupe de travail pour l'évaluation du stock de crevettes profondes dans la zone sénégalaise (Figure 1 ; FAO, 2007). Les avis scientifiques qui en sont issus, souffrent cependant d'un certain nombre de contraintes ou incertitudes liées à l'estimation de l'abondance du stock. En effet, les résultats des modèles de dynamique des populations ont toujours montré de larges incertitudes, vraisemblablement dues au manque de fiabilité des données de captures par unité d'effort de pêche (CPUE). Or, ces données sont encore utilisées aujourd'hui dans de nombreux travaux d'évaluation des stocks, notamment dans le cadre des expertises internationales.

L'utilisation des CPUE comme indices d'abondance pose cependant un certain nombre de problèmes, car elles résultent à la fois de l'abondance du stock dans une région donnée mais aussi des pratiques de pêche et de leurs contraintes dont la réglementation (Ferraris, 1993). Les séries temporelles de CPUE 'brutes' reflètent l'évolution de ces facteurs sans qu'il soit aisé de quantifier l'influence de chacun d'entre eux (Gascuel, 2008). En conséquence, le développement de méthodes permettant de réduire les incertitudes dans les évaluations des stocks exploités constitue un véritable challenge pour les acteurs en charge de la gestion des pêcheries.

Le présent travail a pour objectifs : (i) d'analyser l'évolution de l'abondance du stock de crevette profonde gamba, (ii) d'analyser l'impact de la pêche et de l'upwelling côtier sur l'abondance du stock et d'établir un diagnostic de son état d'exploitation. L'évolution de l'abondance du stock de crevettes profondes est analysée en premier sur la période 1992 à 2006. Les indices d'abondance utilisés sont estimés par modélisation linéaire de type GLM (Generalized Linear Model ; en français : modèle linéaire généralisé) à partir des données commerciales de la pêche industrielle étrangère fournies par le CRODT pour les mêmes années (Swartzman *et al.*, 1992 ; Maravelias, 1997 ; Bellido *et al.*, 2001). L'analyse de l'évolution de l'abondance du stock de crevette

gamba est réalisée en parallèle à celle de l'évolution des captures commerciales et efforts de pêche. Ces indices montrent la variabilité saisonnière et interannuelle de l'abondance du stock.

Ensuite, sont appliqués les modèles de production de biomasse (MPB) sous l'hypothèse de pseudo-équilibre, *i.e.* les modèles de Schaefer (1954), Pella & Tomlinson (1969) et Fox (1970) aux séries de données annuelles de production et d'abondance de 1992 à 2006 (Gascuel *et al.*, 2004 ; Lanrans, 2005). Ces modèles permettent de déterminer les effets directs de la mortalité par pêche sur l'abondance du stock de crevette gamba. Les modèles de Fréon (1991), qui tiennent compte de l'effet de l'upwelling côtier sur la dynamique des populations de crevette gamba, ont aussi été appliqués. Ces modèles permettent de distinguer les effets directs de la mortalité par pêche de ceux induits par d'autres causes telles que l'upwelling côtier. Ils aboutissent également à un diagnostic de l'état du stock et à une quantification des relations entre la ressource (crevette profonde), l'intensité de l'upwelling côtier et la pêche (Laurans *et al.*, 2002 ; Thiaw *et al.* 2009).

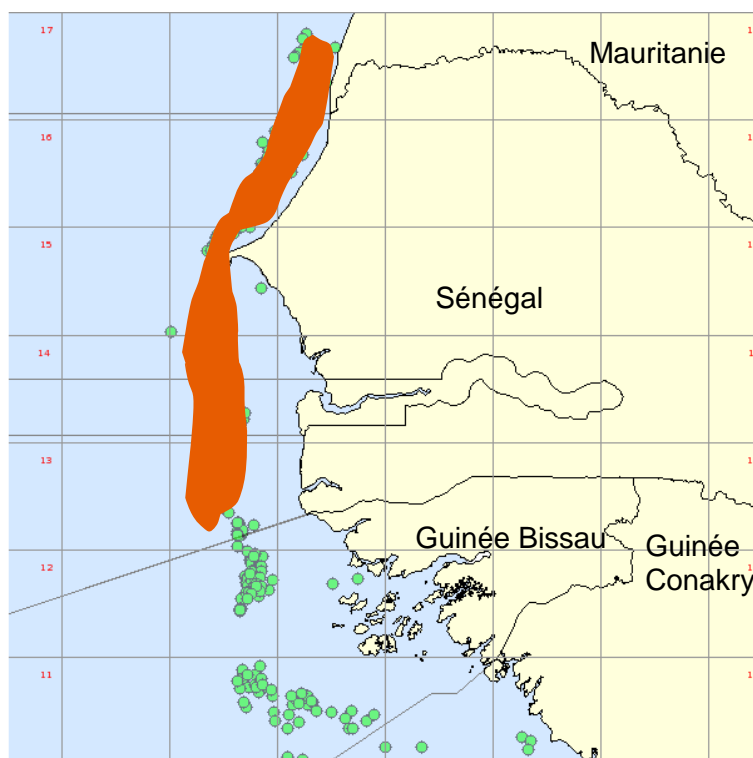


Figure 1. Localisation géographique du stock de crevette profonde gamba au Sénégal (les points verts représentent les lieux de pêche de la crevette gamba par les différentes campagnes scientifiques réalisées par le CRODT, source : <http://www.projet-istam.org/>).

Les modèles globaux sont comparables à ceux utilisés pour l'étude des relations prédateur-proie. Ils considèrent le stock comme une entité dont l'abondance dépend de l'action de prédation exercée par l'homme, ici l'effort de pêche (FAO, 1981). Ces modèles peuvent, ainsi être considérés comme des modèles de compétition intra-spécifique basés sur l'existence de mécanismes de régulation densité dépendants (Gascuel, 2008). Les modèles de production sont des modèles simples appliqués aux données de captures (sans structure d'âge) et d'efforts de pêche. Ils sont destinés à la gestion des pêcheries par quotas de capture ou limitation de l'effort. Ce sont les modèles les plus utilisés pour l'évaluation des stocks de plusieurs pêcheries en Afrique de l'Ouest. Les résultats sont discutés dans une perspective de gestion et d'aménagement durable de la pêcherie de crevette profonde gamba.

2. Données et méthodes

2.1. Sources et nature des données

Les deux principales sources de données halieutiques du Sénégal sont représentées par les cellules statistiques du Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye (CRODT) et de la Direction des Pêches Maritimes (DPM). Le travail de l'étude s'appuie principalement sur les données du CRODT, institution possédant l'information la plus complète et la plus diversifiée sur les ressources (quantités débarquées), qui effectue la collecte de l'information dans un format scientifique adapté aux besoins de l'évaluation des stocks et de l'activité de la pêche : nombre et caractéristiques des bateaux (dimensions, volume, pavillon, types de

licence, engin), temps de mer, etc. Les données de la DPM sont utilisées comme complément d'information pour des besoins de recoupements et de vérifications, en particulier sur les efforts de pêche totaux et les quantités totales débarquées.

Les captures annuelles totales de crevette gamba utilisées dans les modèles globaux (Fox, 1970 ; Fréon, 1991), ont été fournies par le CRODT et couvrent la période 1992-2006. Au Sénégal, la crevette profonde est exploitée exclusivement par les chalutiers congélateurs (Thiam & Fall, 2010). Les indices d'abondance annuels sont estimés à partir des données de la pêche industrielle étrangère de 1992 à 2006. Depuis 2006, les crevettiers étrangers ont cessé leur activité de pêche dans la ZEE (Zone Economique Exclusive) sénégalaise, en raison de l'arrêt des accords de pêche avec l'Union Européenne. Pour la pêche industrielle sénégalaise, les données des différentes espèces de crevettes profondes n'ont pas été saisies séparément dans la base. Pour toutes espèces de crevettes profondes, les données sont insérées dans la rubrique espèce « crevette profonde », empêchant ainsi leur utilisation dans le calcul des indices d'abondance.

Les prises par unité d'effort de la pêche industrielle étrangère côtière et profonde, exprimées en kilogramme par jour de mer, sont utilisées pour estimer des indices d'abondance standardisés et représentatifs de l'abondance du stock de crevettes profondes. Les données de captures sont agrégées par marée et disponibles par année, mois, navire, TJB, nombre de jours de mer, nombre de trait de chalut et zone de pêche, de 1992 à 2006.

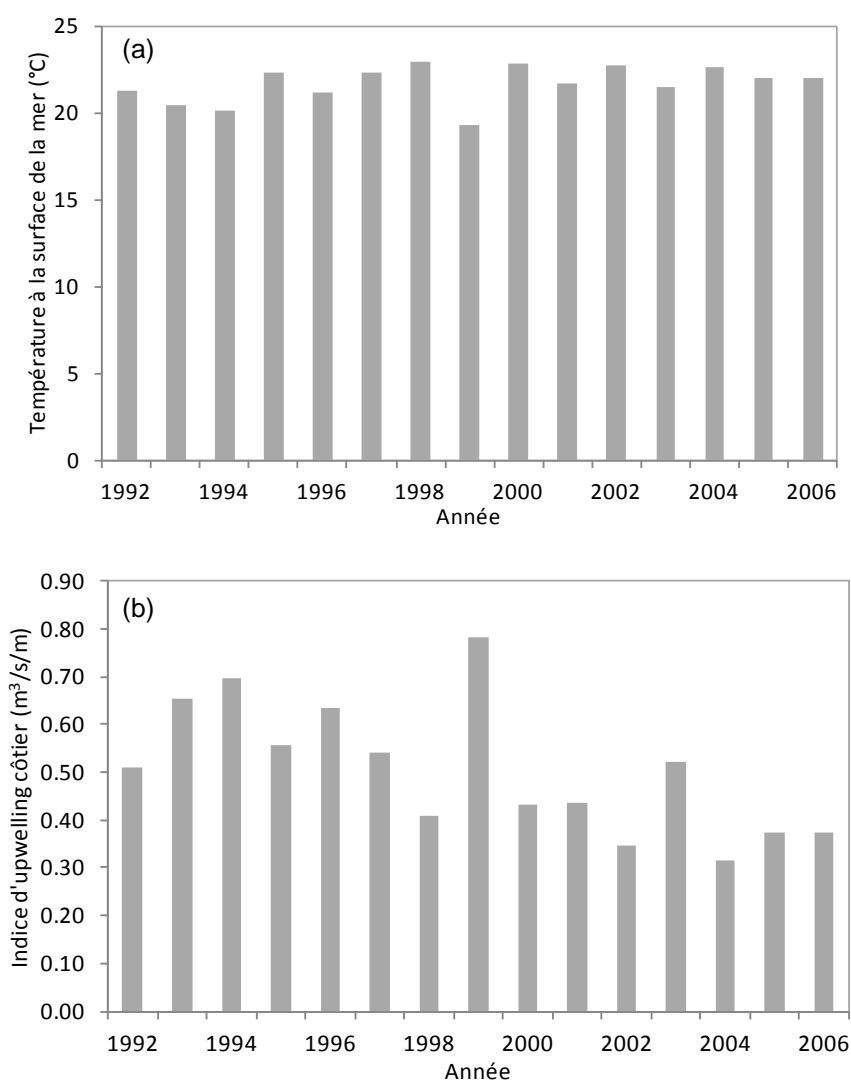


Figure 2. Indices environnementaux utilisés dans les modèles : (a) température à la surface de la mer et (b) indice d'upwelling côtier.

La durée de vie de *P. longirostris* est en moyenne de deux (2) ans (Caverivière, *Com. pers.*). Le déroulement du cycle de migration se déroule comme suit : la ponte a lieu sur le rebord du talus continental, entre les isobathes 200 et 350 m. Au fur et à mesure que les larves évoluent et grandissent, elles s'adaptent à la nage et se dirigent vers la côte où elles se concentrent entre 50 et 150 m de profondeur. Dans la zone côtière, les juvéniles de Gamba subissent fortement l'influence d'environnement. A la fin de la vie larvaire, les crevettes tombent sur le fond et effectuent alors vers le large une migration trophique et de reproduction. Quand elles deviennent adultes, elles descendent vers les grandes profondeurs pour y pondre, et le cycle recommence. La physiologie des crevettes Penaeidae se modifie au cours de leur développement ; leurs facultés d'osmorégulation, en particulier, évoluent (Lhomme & Garcia, 1984).

Pour analyser l'effet de l'intensité de l'upwelling sur l'abondance du stock de gamba, deux facteurs de l'environnement (Figure 2) qui ont une influence importante sur la production primaire printanière et d'été et pouvant potentiellement affecter la survie des premiers stades de vie (Faure *et al.*, 2000 ; Caverivière *et al.*, 2002 ; Bartolino *et al.*, 2008 ; Thiaw *et al.*, 2011) ont été considérés ainsi :

- La série temporelle des valeurs moyennes mensuelles de la température à la surface de la mer (TSM°C) a été obtenue à partir des images de l'agence américaine responsable de l'étude de l'océan et de l'atmosphère (en anglais : National Oceanic and Atmospheric Administration ou NOAA) issues des passages quotidiens du satellite AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Elles sont mensuelles et de résolution spatiale 5 km. Les données sont disponibles pour la période janvier 1985 à décembre 2006 et couvrent entièrement la zone ouest africaine (10°N-36°N).
- L'index upwelling côtier (IUC) est déduit des données de vitesse de vent obtenues du site Internet NOAA/ERD de la division de la recherche environnementale (en anglais : Environmental Research Division ERD, <http://www.pfeg.noaa.gov>). Il correspond à l'effort de vent de direction nord ou nord-est divisé par le paramètre de Coriolis qui est une fonction de la rotation et de la latitude de la terre. Il s'exprime en mètres cube par seconde et par mètre de large et a été calculé pour la ZEE sénégalaise. L'index upwelling côtier est mensuel et va de 1967 à 2007. Toutefois, pour notre étude, nous nous sommes limités à la période 1992-2006.

Les larves de crevette gamba, au cours de leur développement, se dirigent vers la côte où elles se concentrent dans les profondeurs de 50 à 150 m (Thiaw, 2011). Les conditions environnementales produites en hiver et au printemps sont, bien entendu, prises en compte pour leurs possibles effets directs et indirects sur les taux de survie des larves de crevette gamba ; ce qui suppose que les jeunes recrues ainsi que les larves soient abondantes pendant la période printanière.

2.2. Indices d'abondance

Les indices annuels d'abondance utilisés dans les modèles globaux sont estimés par GLM à partir des données de la pêche industrielle étrangère du CRODT. La modélisation linéaire de type GLM conduit à déterminer un schéma de répartition spatio-saisonnier de la crevette gamba et à utiliser ce schéma moyen dans le calcul des indices d'abondance annuels (Gascuel *et al.* 2004 ; Thiaw *et al.* 2009).

La modélisation des CPUE permet de prendre en compte les variations spatio-temporelles de la disponibilité de la ressource. Pour les CPUE commerciales, cette opération différencie les puissances de pêche des catégories de navires qui peuvent avoir des effets significatifs sur la CPUE. Les effets de plusieurs facteurs sont ainsi testés : effet « année », effet « saison », effet « mois », effet « nombre de traits de chaluts », effet « zone de pêche », effet « classe de tonneaux de jauge brute TJB ». Les modalités pour chacune de ces variables sont décrites dans la table 1.

Table 1. Description des variables explicatives associées aux données commerciales « pêche industrielle étrangère ».

Variables explicatives	Modalités	Description des modalités
7 zones	1	Grande Côte
	2	Dakar
	3	Petite Côte
	4	Saloum
	5	Gambie
	6	Casamance
	7	Roxo
2 saisons	1	Novembre à mai
	2	Juin à octobre
3 saisons	1	Janvier à mai
	2	Juin à août
	3	Septembre à décembre
4 saisons	1	Janvier à mars
	2	Avril à juin
	3	Juillet à septembre
	4	Octobre à Décembre
Mois	12 mois	12 mois de chaque année
Classe de tonneaux de jauge brute (TJB)	1	< 50 TJB
	2	50 – 149 TJB
	3	150 – 249 TJB
	4	250 – 499 TJB
	5	≥ 500 TJB
Type de pêche	1	Chalutier congélateur
	2	Chalutier glacier
Nombre de traits de chalut	1	[0 ; 9]
	2	[10 ; 49]
	3	[50 ; 99]
	4	≥ 100

L'importance des enregistrements nuls dans les CPUE (e.g. « zero-inflated data ») empêche souvent l'utilisation d'un modèle linéaire de type LM pour modéliser les effets des différents facteurs (année, saison, zone de pêche, etc.). Pour y remédier, nous avons eu recours à un modèle de type Delta (Le Pape *et al.*, 2003 ; Laurans, 2005). Le modèle GLM est ainsi obtenu en combinant deux sous-modèles : i) le premier pour modéliser l'absence et la présence de l'espèce dans les traits de chalut (modèle binomial) ; ii) le second pour modéliser les valeurs positives des CPUE (modèle Gaussien). Un modèle est ajusté pour chaque série en tenant compte de cette variable, il permet d'estimer l'indice d'abondance annuel.

La décision de retenir ou de rejeter un modèle dépend : (1) de l'analyse de la significativité de l'ajustement du modèle aux données, (2) de l'examen du coefficient de détermination (R^2) et du degré de liberté jusqu'à un niveau raisonnable lié à l'ensemble du modèle et à chaque facteur introduit, (3) de la vérification des hypothèses de base de l'analyse de variance qui correspond à l'analyse des résidus (histogramme de fréquence des résidus, graphique résidus-prédits, graphique variance-prédits et vérification de la normalité des résidus), (4) des critères biologiques et/ou halieutiques liés à la cohérence et à « l'interprétabilité » des résultats obtenus, mais surtout, (5) du critère d'Akaike (AIC, Akaike, 1974) qui compare la qualité des différents modèles testés en vue de choisir le meilleur d'entre eux.

2.3. Modèles de production

A partir d'une série d'abondance, un effort de pêche théorique est estimé en faisant le ratio captures totales sur abondance estimée par GLM (Laurans *et al.*, 2002 ; Thiaw *et al.*, 2009). Le modèle global est ensuite ajusté à la série historique des données d'efforts de pêche théoriques et d'abondance, par les méthodes de

pseudo-équilibre (*i.e.* sous l'hypothèse que l'abondance observée chaque année est en équilibre, en termes d'espérance avec l'effort de pêche correspondant) (Laurans, 2005).

Les trois modèles suivants sont testés :

- le modèle logistique de Schaefer (1954),
- le modèle exponentiel de Fox (1970),
- le modèle généralisé de Pella & Tomlinson (1969).

On en déduit des indicateurs biologiques tels que :

- le potentiel de production du stock de gamba (production maximale équilibrée ou en anglais : Maximum Sustainable Yield, MSY) ;
- l'effort de maximisation de la production (mf_{MSY} , exprimé en multiplicateur d'effort comparativement à la situation actuelle, ici 2006).

Un autre modèle, le modèle de Fréon (1991) qui intègre une variable environnementale peut être aussi testé, en vue (1) d'analyser l'impact de la pêche et de l'environnement sur l'abondance du stock de la crevette profonde gamba et (2) d'établir un diagnostic sur l'état d'exploitation du stock.

Le modèle de Fox (1970) sans effet de l'environnement, après avoir été ajusté à partir des efforts de pêche théoriques (E_i), va estimer la série d'indice d'abondance (IA_i) de la manière suivante :

$$IA_i = b \times e^{a \times E_i} \quad (1)$$

Avec i faisant référence à l'année, et a et b les paramètres du modèle.

Deux autres types de modèles globaux avec effet de l'environnement (upwelling côtier) et basés sur le modèle de Fox sont ensuite testés (Fréon, 1991). Les résultats traduisent un effet de l'intensité de l'upwelling côtier sur l'abondance des stocks de crevettes Penaeidés (Thiaw *et al.*, 2009). Les modèles sont ajustés aux séries de données allant de 1992 à 2006 et expriment l'abondance (IA) de chaque stock comme une fonction de l'effort de pêche (E) et de l'indice environnemental (V), (Fréon, 1991 ; Fréon *et al.*, 1992).

Le premier modèle correspond à un effet linéaire de l'indice d'upwelling :

$$IA_i = (a + b.V_i) \times e^{c \times E_i} \quad (\text{Modèle 1})$$

Avec a , b et c les paramètres du modèle. Les paramètres a et b n'ont pas la même signification que dans le cas du modèle de Fox sans effet de l'environnement.

Le second présente un effet non linéaire :

$$IA_i = (a \times V_i^b) \times e^{c \times E_i} \quad (\text{Modèle 2})$$

Les deux modèles supposent que la variable environnementale n'agit que sur l'abondance du stock de crevette gamba. Compte tenu de la faible longévité des crevettes Penaeidés, de l'ordre de l'année (Caverivière & Thiam, 2002), les modèles ont été ajustés à l'équilibre, sans recourir aux procédures de pondération de l'effort de pêche de Fox (1975).

Ces modèles ont été ajustés sur Excel sur toute la série disponible de 1992 à 2006, en appliquant la méthode des moindres carrés sous l'hypothèse d'une distribution normale des erreurs. Puis, un coefficient de détermination corrigé des degrés de liberté, a été calculé entre les séries d'indices d'abondance prédites par les différents modèles testés et la série d'indices d'abondance observés. Un modèle et une série environnementale ont été finalement retenus. Ce choix correspond à l'association qui permet d'expliquer, au mieux, les années où l'abondance de la crevette profonde est élevée et qui donne le meilleur coefficient de détermination ajusté. Des courbes de production à l'équilibre en fonction du multiplicateur d'effort sont ensuite représentées pour une valeur donnée de la variable environnementale.

L'analyse de sensibilité des résultats obtenus par rapport aux données n'a pas été faite, car le stock de crevettes profondes est exclusivement pêché par un seul métier, les chalutiers crevettiers profonds. Par conséquent, la série des CPUE effectives des crevettiers profonds est utilisée par les différents modèles

globaux. L'étude de sensibilité permet de prendre en compte les résultats obtenus à partir de différentes séries de captures par unité d'effort de pêche effectives provenant de plusieurs métiers (Gascuel *et al.*, 2002).

3. Résultats

3.1. Evolution des captures

Les captures de crevette gamba varient d'une année à l'autre, avec une tendance nette à la hausse de 1992 à 2006 (Figure 3). Les captures les plus élevées ont été observées en 1998 (6 240 tonnes). Les productions annuelles de *P. longirostris* observées sur la période 2001 à 2006 sont supérieures aux débarquements observés entre 1992 et 1997.

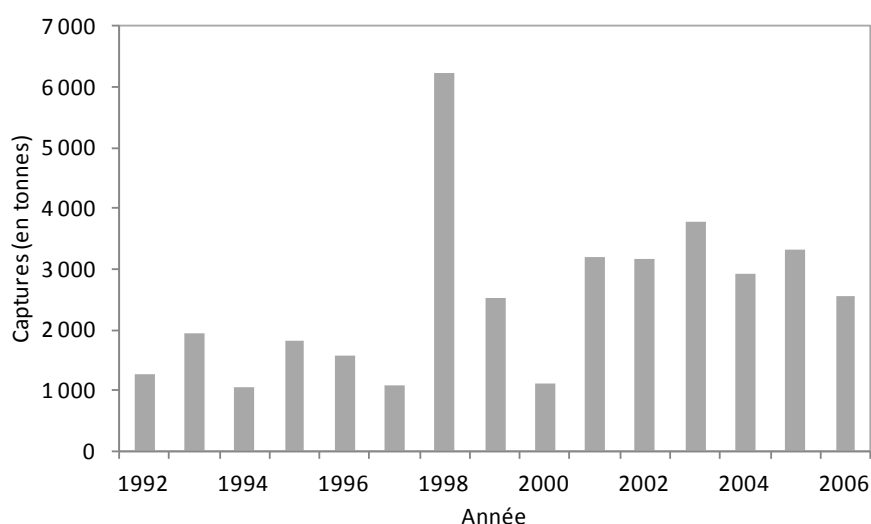


Figure 3. Evolution des captures de crevettes profondes *P. longirostris* de 1992 à 2006 (source : données CRODT).

3.2. Dynamique du stock

L'histogramme des CPUE de la crevette profonde montre une importante proportion de valeurs nulles. Cela justifie l'utilisation d'une loi « Delta » qui caractérise le fait que pour un grand nombre de marées, aucune capture de crevette gamba n'est réalisée. Les résidus en fonction des valeurs observées des modèles retenus sur les valeurs positives, montrent globalement un bon ajustement avec l'absence d'auto-corrélation des résidus, et une distribution assez homogène sur l'ensemble des valeurs. La droite d'Henry (Q-Q plot) qui compare les valeurs des quantiles de la loi empirique aux quantiles de la loi normale centrée réduite, confirme aussi la normalité de la distribution.

Le modèle binomial explique 39.1% de la déviance totale des données de présence/absence (Table 2). Les facteurs retenus sont : l'année, la classe de TJB, la saison, le nombre de traits et le type de conservation (congélateur ou glacier) et la zone de pêche. Les effets statistiques les plus importants, en termes de déviance expliquée, sont le type de conservation (55.1% de la déviance expliquée), le nombre de traits (15.6%), l'année (10.8) et la zone (10.3%). Les probabilités de présence estimées montrent que *P. longirostris* est de moins en moins présent dans les débarquements au cours de la série chronologique. Sa probabilité de présence au cours des années 1990 fluctuait entre 0,4 et 0,75 contre 0,3 en 2006. Les résultats montrent que l'occurrence est particulièrement importante dans les régions nord (Grande Côte et Dakar) et sud (Casamance et Roxo) du Sénégal. La crevette profonde est présente dans la région centre, mais les occurrences sont faibles. L'espèce est présente toute l'année avec des occurrences plus élevées en saison froide. Autrement dit, son occurrence est plus importante durant la période octobre – juin avec un pic important en mai - juin. Par contre, son occurrence est relativement faible en été.

Table 2. Modélisation GLM des CPUE de la crevette profonde Gamba de la pêche industrielle étrangère (sources : données CRODT).

Modèle binomial : Présence/Absence Gamba ~ année + zone de pêche + saison + classe TJB + nombre de trait de chalut + type de pêche.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	% Deviance	P(> Chi)
NULL			9199	12494.2		
Année	15	525.35	9184	11968.9	4.20	2.20E-16
Zone de pêche	6	501.1	9178	11467.8	4.01	2.20E-16
Saison	3	143.26	9175	11324.5	1.15	2.20E-16
Classe TJB	3	263.41	9172	11061.1	2.11	2.20E-16
Nombre de trait de chalut	4	760.3	9168	10300.8	6.09	2.20E-16
Type de pêche	1	2686.59	9167	7614.2	21.50	2.20E-16

Modèle gaussien : CPUE Gamba ~ année + zone de pêche + saison + TJB+ nombre de trait + type de pêche.

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	% Deviance	P(> Chi)
NULL			5370	7158.5		
Année	14	337	5356	6821.5	4.71	< 2.2e-16
Zone de pêche	6	589.11	5350	6232.4	8.23	< 2.2e-16
Mois	11	126.77	5339	6105.6	1.77	< 2.2e-16
Classe TJB	3	15.74	5336	6089.9	0.22	0.0008095
Nombre de trait de chalut	4	959.76	5332	5130.1	13.41	< 2.2e-16
Type de pêche	1	109.66	5331	5020.4	1.53	< 2.2e-16

Pour le modèle gaussien, le modèle retenu intègre les facteurs explicatifs suivants : l'année de la mer, la zone de pêche, le mois, la classe de TJB du navire, le nombre de traits de chalut et son type de conservation. Le modèle explique 29.9% de la déviance. Le nombre de traits de chalut, la zone de pêche et l'année expliquent la part la plus importante de la déviance (Table 2). Les rendements élevés de crevettes profondes sont observés dans la région sud et nord. L'essentiel des captures nationales de crevettes profondes sont issues de ces deux zones d'où l'importance des crevettiers profonds au Nord et au Sud. Le rendement moyen annuel est de l'ordre de 380 Kg/jour de pêche au Nord et de 350 Kg/jour de pêche au Sud. Une analyse mensuelle des rendements de gamba montre que la meilleure saison de pêche se situe de novembre à juin, les rendements faibles étant observés en fin de saison chaude, en septembre (Figure 4).

L'abondance du stock de crevette gamba varie saisonnièrement et d'une année à l'autre, avec une tendance nette à la diminution (Figure 5). Ainsi, *P. Longirostris* est présent en abondance au Sénégal, en saison froide (de la fin de la saison chaude, i.e. au début de la période froide, septembre – octobre, au début de la période de réchauffement, en juin), et les abondances faibles sont observées en juillet et août (saison chaude). L'abondance du stock a été réduite par trois sur les douze dernières années (1994-2006), passant de 340 Kg/jour de mer en 1994 à 56 Kg en 2006. En plus de cette diminution, l'abondance de l'espèce varie d'une année à une autre. L'année 1998 a été particulièrement marquée par des captures élevées. Ces captures s'expliquent par des niveaux de rendements aussi élevés.

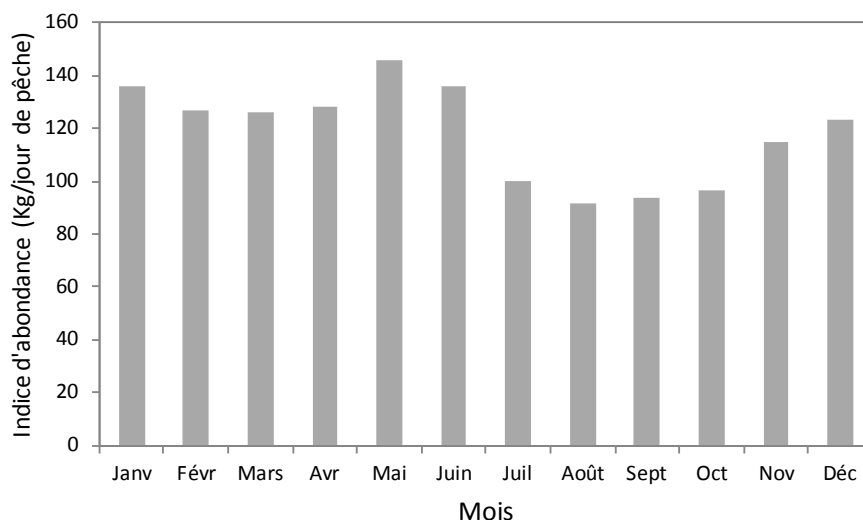


Figure 4 : Variation saisonnière de l'abondance de *P. longirostris* (source : données CRODT).

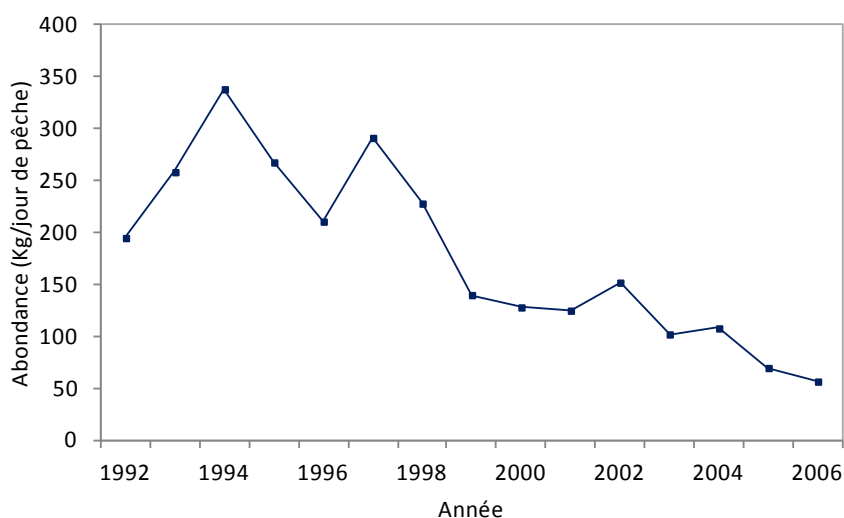


Figure 5. Indices d'abondance de la crevette profonde *P. longirostris* estimée par GLM à partir des données de pêche industrielle étrangère de 1992 à 2006.

3.3. Evolution de l'effort de pêche

Quant à l'effort de pêche, il a considérablement augmenté sur toute la période d'étude, surtout à partir de 1997 (Figure 6). Cette évolution correspond bien à ce qui est connu de cette pêcherie : l'accroissement de la pression de pêche sur cette ressource s'explique par une forte demande de ce produit par les pays occidentaux, entraînant ainsi une rentabilité élevée de la pêcherie.

3.4. Etat d'exploitation et potentiel de production

Le modèle de Fox comparé aux modèles de Schaefer, de Pella & Tomlinson (Table 3) donne la meilleure corrélation avec les abondances observées. Les modèles de Fox et de Fréon ajustés « prédisent » bien les abondances annuelles observées (Table 3). Le modèle de Fox (impact de la pêche) exprime cependant la meilleure prédiction (R^2 corrigé = 0.64). L'accroissement de la pression de pêche sur le stock de crevette gamba explique une large part de la diminution des abondances observées sur la période 1992 à 2006 (Figure 7).

Table 3. Coefficients de détermination corrigés R^2 entre les indices d'abondance observés (IA) et ceux prédits par les modèles globaux sans effet de l'environnement (Modèles de Schaefer, de Pella & Tomlinson et de Fox) et les modèles de Fréon (avec effet de l'environnement : température à la surface de la mer (TSM) ou l'intensité de l'upwelling côtier IUC, Modèle 1).

R ² corrigé	Modèles globaux (sans effet de l'environnement)			Modèles de Fréon	
	IA Schaefer	IA Pella & Tomlinson	IA Fox	IA IUC	IA TSM
IA observé	0.60	0.61	0.64	0.53	0.53
	0.60	0.61	0.64	0.56	0.53

Le diagnostic indique que le stock de crevette gamba est dans une situation de surexploitation (Figure 8). La production maximale équilibrée ou MSY du stock de crevettes profondes est estimée en moyenne à 2500 tonnes, les captures actuelles (2006), sont elles, estimées à 2200 tonnes. La surexploitation conduit ainsi à une perte de capture estimée à 16% du potentiel théoriquement disponible, avec un excédent d'effort de pêche estimé à 67% (Table 4), ceci, indépendamment de l'intensité de l'upwelling.

Table 4. Paramètres et quantités estimés par les modèles de Fox et de Fréon appliqués au stock de crevettes du Sénégal.

Paramètres	Signification	Fox model
a		-1.71
b		305.64
MSY (en tonnes)	production maximale équilibrée	2 560
mE_{MSY}	multiplicateur d'effort correspondant au MSY	0.60
E_{MSY} (en nombre de jours de mer)	effort correspondant au MSY	23 406
E_{actuel}	effort actuel	39 010
E_{actuel}/E_{MSY}	Etat du stock: surexploitation	1.67
$(E_{actuel} - E_{MSY})/E_{MSY}$	Excédent effort	0.67
Ye_{actuel} (en tonnes)	capture actuelle équilibrée	2 152
Ye_{actuel}/MSY	proportion du potentiel capturée	0.84
$(Ye_{actuel} - MSY)/MSY$	perte de capture	-0.16
R ² corrigé	coefficient de détermination	0.64

Quant aux modèles de Fréon, les deux modèles ajustés donnent des résultats semblables avec de meilleurs résultats obtenus pour le modèle 1. Les résultats montrent qu'il peut y avoir des changements significatifs des captures prédites suivant l'intensité de l'upwelling (Table 3). Ainsi, d'une année à l'autre, la pêche peut montrer de fortes fluctuations en termes d'effort de pêche et surtout de captures, lesquelles pouvant être expliquées par les variations interannuelles de l'intensité de l'upwelling côtier.

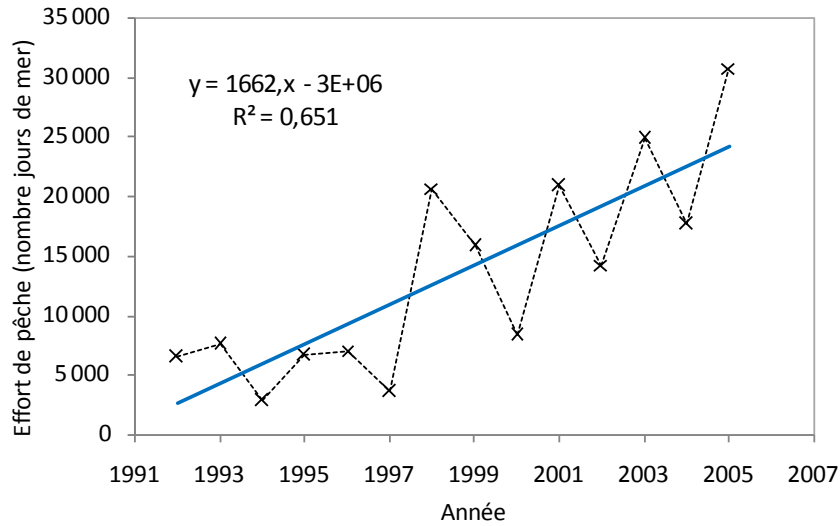


Figure 6. Evolution de l'effort de pêche théorique moyen annuel sur la période 1992 – 2006.

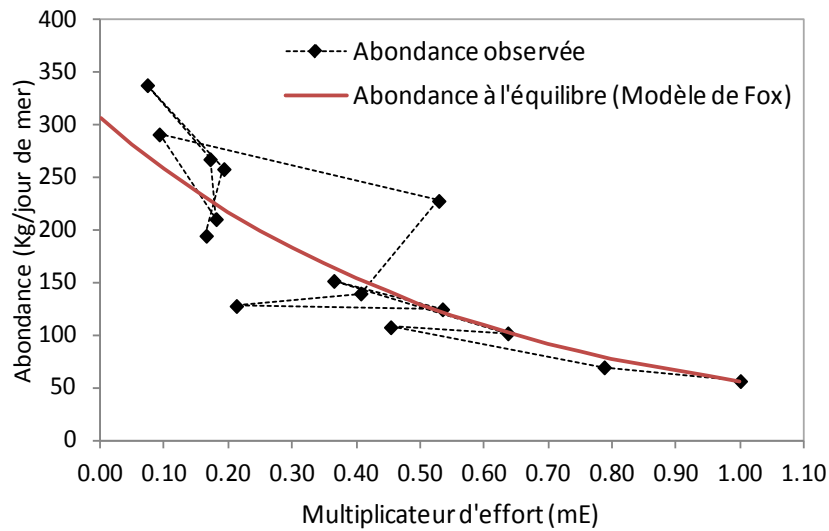


Figure 7. Courbes des abondances observées et à l'équilibre en fonction du multiplicateur de l'effort (mE).

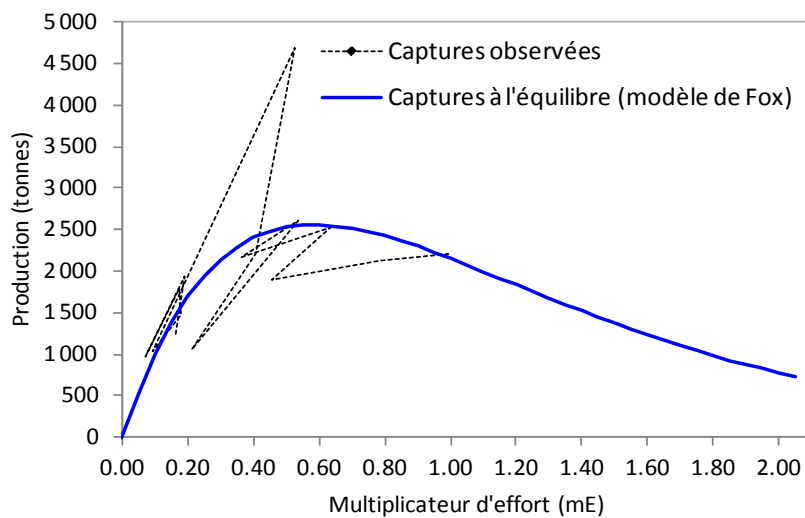


Figure 8. Courbes des captures observées et de production à l'équilibre en fonction du multiplicateur de l'effort (mE).

4. Discussions

La dynamique des populations de la crevette profonde gamba est variable d'une année à l'autre, entraînant ainsi une forte variabilité interannuelle des captures. L'abondance varie d'une année à l'autre, avec une nette tendance à la diminution. Cette diminution régulière des rendements de la crevette gamba avec le temps peut être reliée à l'augmentation de l'effort de pêche. Le développement de cette pêcherie est, pour partie, lié à la situation actuelle de surexploitation des stocks de crevettes côtières (*Farfantepenaeus notialis*, Thiaw et al., 2009) et de poissons démersaux côtiers (Barry et al., 2004 ; Gascuel et al., 2004 ; Laurans et al., 2004) auparavant fortement recherchés.

Les résultats du modèle global de Fox (1970) montrent que l'abondance varie d'une année à l'autre avec une nette tendance à la diminution en raison de la division par deux sur les quinze dernières années de l'abondance du stock. Ce modèle indique que le stock de crevette gamba est dans un état de surexploitation avéré avec une influence moindre de l'intensité de l'upwelling sur l'abondance. Le surplus de l'effort de pêche pour l'année la plus récente (2006) est estimé au-delà de 67% comparativement au mE_{MSY} , cependant il faut rester prudent quant à l'interprétation de cet indicateur pour les espèces à vie courte.

Au regard des intérêts potentiels de ce travail, l'éventuelle utilisation des résultats obtenus comme outils permettra de faciliter les discussions entre les acteurs de la pêche. Cette étude démontre l'intérêt du suivi de l'évolution de l'effort de pêche appliqué à ce stock, car la pêche a fortement influencé l'abondance du stock de crevettes profondes. Aussi, il paraît possible de rentabiliser l'exploitation en diminuant la pression de pêche de 67%, tout en augmentant la production. Cette information pourrait être importante en terme économique si elle permet de maximiser la rentabilité, comme par exemple, la réduction des coûts d'exploitation. C'est un point sensible au Sénégal car les produits de la pêche, en particulier les crevettes, représentent un poids important dans la balance commerciale nationale (Thiaw, 2010).

Les relations ressource/pêche/environnement identifiées ici, doivent être prises en compte dans l'évaluation du stock de crevette gamba, surtout dans la mise en place de plans d'aménagement pour cette espèce dont l'intérêt économique est avéré. Les résultats obtenus vont permettre la réalisation d'une mesure de gestion de la pêcherie de crevette profonde gamba, fondée sur la gestion de l'effort de pêche qui tiendra compte également de l'intensité de l'upwelling. Cette mesure faciliterait par exemple, l'obtention d'une production maximale du stock. A notre connaissance, la gestion durable des ressources basée sur l'effort de pêche demeure la méthode la plus appropriée pour limiter l'impact de la pêche sur les stocks exploités (Gascuel, 2004), en particulier pour ceux des crevettes qui ont atteint un état de surexploitation (Barry et al., 2004 ; Gascuel et al., 2004 ; Thiaw et al., 2009). Dans l'avenir, les futurs plans d'aménagement qui seront élaborés pour ces espèces devraient, en principe, intégrer la gestion de l'effort de pêche et l'évolution de l'intensité de l'upwelling côtier.

Les rendements de crevettes peuvent être améliorés en réduisant aussi l'effort de pêche global et en utilisant les données de la pêche industrielle qui exploite exclusivement ce stock. La surexploitation du stock de crevettes profondes sans interruption toutes les années jouera probablement un rôle dans l'écosystème marin. Pour de nombreuses espèces marines, la surexploitation contribue à fragiliser les espèces qui deviennent plus sensibles aux modifications du milieu (Gascuel et al., 2007). Cette diminution de la pression de pêche occasionnerait des conséquences nulles ou positives sur les captures, mais induirait une baisse des coûts de production et une hausse des rendements. Elle permettrait en effet un accroissement de la biomasse du stock de crevettes et une diminution de l'impact de la pêche sur le reste de l'écosystème (dégradation des habitats et effets sur les autres poissons commerciaux).

5. Conclusion

Nos résultats montrent que l'abondance du stock de crevette gamba varie saisonnièrement et annuellement, avec une nette tendance à la diminution. La pêche explique une large part de cette diminution de l'abondance du stock. Le stock de *P. longirostris* est donc en état de surexploitation. Une réduction de l'effort de pêche annuel de 67 % permettrait d'accroître les biomasses et d'assurer la durabilité du stock et de son exploitation. La production maximale équilibrée (MSY) est estimée en moyenne à 2 500 tonnes par année. Les captures maximales équilibrées subissent cependant des variations interannuelles selon l'intensité de l'upwelling. Un suivi de l'évolution de l'intensité de l'upwelling permettrait, dans une moindre mesure, de prédire les captures, pour une meilleure gestion du stock de crevette profonde.

Références

- AKAIKE, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716-723.
- BARRY, M., LAURANS, M., THIAO, D., & GASCUEL, D., 2004. « Diagnostic de l'état d'exploitation de cinq espèces démersales côtières sénégalaises », In: Chavance P., Bah M., Gascuel D., Vakily M., Pauly D. (Eds.), "Pêcheries maritimes, écosystèmes et sociétés en Afrique de l'Ouest : un demi-siècle de changements". Dakar, Sénégal, juin 2002. pp. 183-194.
- BARTOLINO, V., COLLOCA, F., SARTOR, P., & ARDIZONNE, G., 2008. Modelling recruitment dynamics of hake, *Merluccius merluccius*, in the central Mediterranean in relation to key environmental variables. *Fisheries Research*, 92(2-3), 277-288.
- BELLIDO, J.-M., PIERCE, G.-J., & WANG, J., 2001. Modelling intra-annual variation in abundance of squid *Loligo forbesi* in Scottish waters using generalised additive models. *Fisheries Research*, 52, 23-39.
- BENKABOUCHE BEKADJA, I., MOUFFOK, S., KHERRAZ, A., & BOUTIBA, Z., 2009. Etude Préliminaire sur la Biologie et la Dynamique des Populations de la Crevette Profonde *Parapenaeus Longirostris* (LUCAS, 1846) de la Façade Maritime Oranaise. *European Journal of Scientific Research*, 1(36), 134-144.
- CAVERIVIÈRE A., & THIAM D., 2002. Trente ans de pêche de la crevette rose *Penaeus notialis* dans la région Sénégal-Guinée Bissau. Actes du symposium international, Dakar, 24-28 juin 2002, 171-178.
- CAVERIVIÈRE, A., THIAM, M., THIAM, D., & LOPEZ, A.-L., 1986. Rapport de synthèse des quatre campagnes conjointes hispano-sénégalaises de chalutages sur les stocks profonds du Sénégal (1982-1984). Archive CRODT, Dakar, 233p.
- CROSNIER, A., FONTANA, A., LE GUEN, J.-C., & WISE, J.-P., 1970. Ponte et croissance de la crevette pénéide *Parapenaeus longirostris* (Lucas) dans la région de Pointe-Noire (République du Congo). Cahier ORSTOM., VIII, 4, 89-102.
- DE BONDY, E.-T., 1970. Note sur les ressources de *Penaeus duorarum* au Sénégal. Document Scientifique. Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye, Dakar, 16, 128-131.
- DEMARCO, H., & FAURE, V., 2000. Coastal upwelling and associated retention indices derived from satellite SST. Application to *Octopus vulgaris* recruitment. *Oceanologica Acta*, 23, 391-408.
- FAO., 2007. Report of the FAO Working Group on the Assessment of Small Pelagic Fish off Northwest Africa. Agadir, Morocco, 17-26 April 2007. Rapport du Groupe de travail de la FAO sur l'évaluation des petits pélagiques au large de l'Afrique nord-occidentale. Agadir, Maroc, 17-26 avril 2007. FAO Fisheries Report/FAO Rapport sur les pêches. No. 849. Rome, FAO, 238p.
- FAURE, V., 2000. Dynamiques spatiale et temporelle des populations de poulpes (*Octopus vulgaris*) en Afrique de l'Ouest : Influence des fluctuations environnementales et des relations interspécifiques. Thèse doc., univ. Montpellier-II, 403p.
- FAURE, V., INEJIH, C.-A., DEMARCO, H., & CURY, P., 2000. The importance of retention processes in upwelling areas for recruitment of *Octopus vulgaris*: the example of the Arguin Bank (Mauritania). *Fisheries Oceanography*, 9, 343-355.
- FERRARIS J., 1993. Les indices d'abondance de la pêche artisanale sénégalaise. Quelques points de réflexion. Symposium 8 au 13 février 1993: L'évaluation des ressources exploitées par la pêche artisanale au Sénégal, Dakar, Sénégal.
- FOX, W.-W., 1970. An exponential yield model for optimizing exploited fish populations. *Transactions of the American Fisheries Society*, 99, 80-88.
- FREON, P., 1991. L'introduction d'une variable climatique dans les modèles globaux de production. In : Cury P., Roy C., (éds.): Pêcheries ouest-africaines, Variabilité, Instabilité et Changement. Orstom éditions, Paris, pp. 395-424.
- FREON, P., KWIECINSKI, B., & LOPEZ, D., 1992. Utilité du système expert Climprod pour la connaissance du déterminisme du recrutement. *Annales de l'Institut Océanographique*, 68(1-2), 193-210.

- GASCUEL, D., 2004. 50 ans d'évolution des captures et biomasses dans l'Atlantique Centre-Est: analyse par les spectres trophiques de captures et de biomasses. In: Chavance P., Bah M., Gascuel D., Vakily M., Pauly D. (éds.), *Pêcheries maritimes, écosystèmes et sociétés en Afrique de l'Ouest : un demi-siècle de changements*. Dakar, Sénégal, juin 2002, 415-420.
- GASCUEL, D., 2008. Dynamique des populations et gestion des stocks halieutiques. Support de cours en ligne, Agrocampus Ouest/Campus numérique ENVAM éd., Rennes, 128p.
- GASCUEL, D., BARRY, M., LAURANS, M., SIDIBE, A., 2002. Evaluations des stocks démersaux en Afrique du Nord-Ouest. Travaux du groupe "Analyses monospécifiques" du projet SIAP. Projet de document COPACE/PACE n° 03/65, 113p.
- GASCUEL, D., LAURANS, M., SIDIBE, A., & BARRY, M.-D., 2004. Diagnostic comparatif de l'état des stocks et évolution d'abondance des ressources démersales, dans les pays de la C.S.R.P., In: Chavance P., Bah M., Gascuel D., Vakily M., Pauly D. (éds., 2004) "*Pêcheries maritimes, écosystèmes et sociétés en Afrique de l'Ouest : un demi-siècle de changements*". Dakar, Sénégal, juin 2002, 205-222.
- GASCUEL D., THIAM M., 1994. Evolution de l'abondance des ressources démersales sénégalaises : estimation par modélisation linéaire des CPUE. In : Barry-Gérard M., Diouf T., Fonteneau A. (éds.): *L'évaluation des ressources exploitables par la pêche artisanale sénégalaise*. Paris, Orstom, coll. Colloques et séminaires, tome II : 245-256.
- LAURANS, M., 2005. Evaluation des ressources halieutiques en Afrique de l'ouest : dynamique des populations et variabilité écologique. Thèse pour l'obtention du Diplôme de docteur de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, mention Halieutique, Rennes, 233p.
- LAURANS M., GASCUEL D., CAVERIVIERE A., 2002. Application d'un modèle global avec effet de l'environnement au stock de poulpe du Sénégal. In Caverivière A., Thiam M. and Jouffre D. (éds) *Le poulpe commun *Octopus vulgaris*. Sénégal et côtes nord-ouest africaines*. Editions IRD, Paris, Colloques et séminaires, 255-267.
- LAURENT, A.-G., 1963. Lognormal distribution and the translation method: description and estimation problems. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 231-235.
- LE PAPE, O., CHAUVET, F., MAHEVAS, S., LAZURE, P., GUEREAULT, D., & DESAUNAY, Y., 2003. Quantitative description of habitat suitability for the juvenile common sole (*Solea solea* L) in the Bay of Biscay (France) and the contribution of different habitats to the adult population. *Journal of Sea Research*, 50, 139-149.
- LHOMME, L., GARCIA, S., 1984. Biologie et exploitation de la crevette pénaeide *Penaeus notialis* (Pérez Farfante, 1967) au Sénégal. In: Gulland, J.A., Rothschild, B.J. (Eds.), pp. 111-141.
- MARAVELIAS, C.-D., 1997. Trends in abundance and geographic distribution of North Sea herring in relation to environmental factors. *Marine Ecology Progress Series*, 159, 151-164.
- PELLA, J.-J., & TOMLINSON, P.-K., 1969. A generalized stock production model. *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, 13, 420-496.
- POPE, J.-G., 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *ICNAF Research Bulletin*, 9, 65-74.
- SCHAEFER, M.-B., 1954. Some aspects of the dynamics of populations important for the management of the commercial marine fisheries. *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, 1, 27-56.
- SIDIBÉ, A., DOMAIN, F., & GASCUEL, D., 2004. Evaluation et diagnostic par l'approche globale et structurale de quatre stocks de poissons démersaux côtiers de Guinée *Galeoides decadactylus*, *Pseudotolithus elongatus*, *P. senegalensis* et *P. typus*. In: Chavance P., Bah M., Gascuel D., Vakily M., Pauly D. (Eds. 2004), "*Pêcheries maritimes, écosystèmes et sociétés en Afrique de l'Ouest : un demi-siècle de changements*". Dakar, Sénégal, juin 2002, 387-392.
- SWARTZMAN, G., HUANG, C.-H., KALUZNY, S., 1992. Spatial analysis of Bering Sea groundfish survey data using generalized additive models. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49 (7), 1366-1378.
- THIAM, N., & FALL, M., 2010. Prises accessoires des pêcheries crevettières profondes au Sénégal: variations nyctémérales et saisonnières des captures. *Journal des Sciences Halieutique et Aquatique*, 1, 49-53.

- THIAW, M., 2010. Dynamique des ressources halieutiques à durée de vie courte: cas des stocks de poulpe et de crevettes exploités au Sénégal. Thèse pour l'obtention du Diplôme de docteur de l'Agrocampus Ouest, mention Halieutique, Rennes, 194p.
- THIAW M., 2011. Evaluation par l'approche globale du stock de crevettes profondes, *Parapenaeus longirostris*, du Sénégal. Mémoire de confirmation au CRODT, CRODT/ISRA, 55p.
- THIAW, M., GASCUEL, D., JOUFFRE, D., & THIAW, O.-T., 2009. A surplus production model including the effect of environment : application to the white shrimps stocks in Senegal. *Progress in Oceanography*, 83, 351-360.
- THIAW, M., GASCUEL, D., THIAO, D., THIAW, O.-T., & JOUFFRE A., 2009. Analysing environmental and fishing effects on a short-lived species stock: the dynamics of octopus *Octopus vulgaris* population in Senegalese waters. *African Journal of Marine Science*, 33(2), 209-222.