



INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
(ISRA)



CENTRE DE RECHERCHES OCEANOGRAPHIQUES DE DAKAR – THIAROYE
(CRODT)

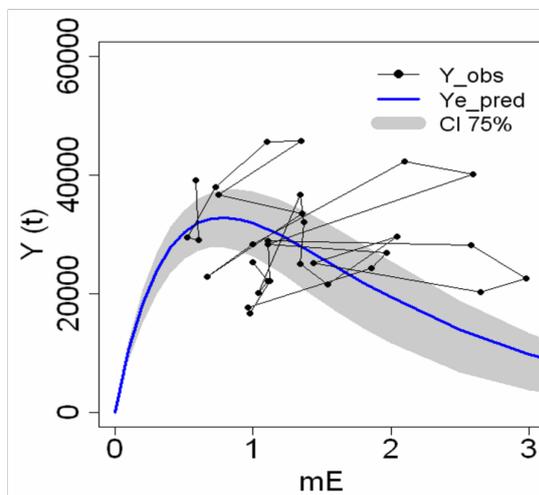
Boîte Postale 2241 – Dakar, SENEGAL – g
Téléphone : + 221 30 108 11 04 – Fax : + 221 33 832 82 62



Aménagement Durable des Pêches au Sénégal (ADUPES)

Document technique

Evaluation des principaux stocks démersaux exploités au Sénégal



Equipe de recherche :

Beyah MEISSA¹, Massal FALL², Ndiaga THIAM², Modou THIAW², Kamarel BA², Jean Michel SARR², Modou THIAM², Fambaye NGOME²

Groupe de travail N°2 (11 au 15 avril 2016)

Vol. 11, N°4 - Série ETUDES ET DOCUMENTS ISRA – ISSN 0850-9933

¹Consultant Projet ADUPES ; beyahem@yahoo.fr

²CRODT, ISRA-Sénégal, Pôle de Recherche de l'ISRA/Hann, BP 2241 - Dakar, Sénégal.



INSTITUT SENEGALAIS DE RECHERCHES AGRICOLES
(ISRA)



CENTRE DE RECHERCHES OCEANOGRAPHIQUES DE DAKAR – THIAROYE
(CRODT)

Boîte Postale 2241 – Dakar, SENEGAL – g
Téléphone : + 221 30 108 11 04 – Fax : + 221 33 832 82 62

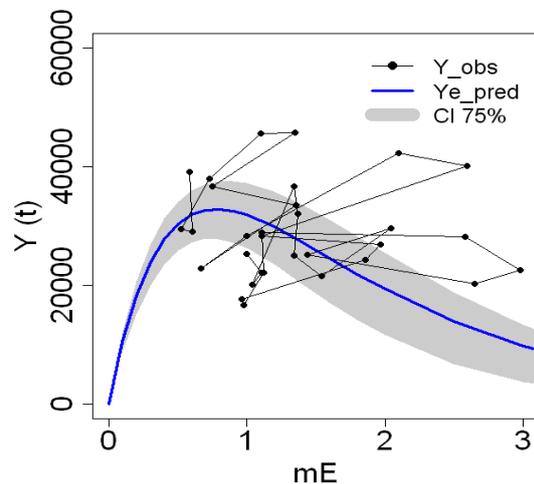


Aménagement Durable des Pêches au Sénégal (ADUPES)

Groupe de travail N°2 (11 au 15 avril 2016)

Note technique

Evaluation des principaux stocks démersaux exploités au Sénégal



Equipe de recherche :

Beyah MEISSA¹, Massal FALL², Ndiaga THIAM², Modou THIAW², Kamarel BA², Jean Michel SARR², Modou THIAM², Fambaye NGOME²

¹Consultant Projet ADUPES ; beyahem@yahoo.fr

²CRODT, ISRA-Sénégal, Pôle de Recherche de l'ISRA/Hann, BP 2241 - Dakar, Sénégal.

Table des matières

Table des matières	3
Résumé	5
1. Introduction	6
1. Introduction	6
2. Description des pêcheries démersales	7
2.1. Pêcheries démersales profondes	7
2.2. Pêcheries démersales côtières	8
3. Evaluation des stocks	10
3.1. Données et méthodes	10
3.1.1. Données d'abondance	10
3.1.2. Modèles de production de biomasse	11
3.2.1. Diagnostic du stock de poulpe	13
3.2.2. Diagnostic du stock de gamba	16
3.2.3. Diagnostic des autres stocks démersaux	19
4. Conclusion	20
5. Liste des références citées	22

Liste des figures

Figure 1 : Evolution des captures de poulpe et de gamba sur la période 1985-2014	8
Figure 2 : Evolution des captures en tonnes des principales espèces de poissons démersaux sur la période 1971-2013	9
Figure 3 : Captures totales et abondances du stock de poulpe sur la période 1985-2014 à partir des données des pêcheries artisanale et industrielle.	13
Figure 4: Evolution de la biomasse du poulpe (en boîte à moustaches) par rapport à BMSY (en pointillé rouge)	15
Figure 5 : Diagnostic de l'état d'exploitation du stock de poulpe au Sénégal. Gauche : indice d'abondance (IA) observé et IA prédit par l'ajustement du modèle dynamique de production de biomasse de Fox ; Droite : captures observées (Y_obs) et captures prédites à l'équilibre (Ye_pred) par le modèle (la valeur mE=1 correspond à l'effort de pêche de l'année 2014 ; la plage grise correspond à l'incertitude de l'estimation).	15
Figure 6: Capture totale et indice d'abondance de la gamba sur la période 1992-2014..	17
Figure 7 : Evolution de la biomasse de gamba estimée par le modèle dynamique sur la période 1992-2014	18
Figure 8 : <i>Diagnostic de l'état d'exploitation du stock de gambae au Sénégal. Gauche : indice d'abondance (IA) observé et IA prédit par l'ajustement du modèle dynamique de production de biomasse de Fox ; Droite : captures observées (Y_obs) et captures prédites à</i>	

<i>l'équilibre (Ye_pred) par le modèle (la valeur mE=1 correspond à l'effort de pêche de l'année 2014 ; la plage grisée correspond à l'incertitude de l'estimation).</i>	18
Figure 9 : Priors et posteriors des paramètres du modèle bayésien appliqué sur la gamba	30
Figure 10 : Priors et posteriors des paramètres du modèle bayésien appliqué sur le poulpe	32

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résumé statistique des paramètres du modèle et indicateurs d'exploitations estimés pour le poulpe	16
Tableau 2 : Résumé statistique des paramètres du modèle et indicateurs d'exploitations estimés pour la gamba	19
Tableau 3 : Estimation des potentiels exploitables (MSY) de cinq espèces démersales exploités au Sénégal	20
Tableau 4 : Données de capture et d'indice d'abondance (IA) du poulpe et de la gamba.	24
Tableau 5 : Données de capture et d'indice d'abondance (IA) des principales espèces démersales	25

Résumé

Ce rapport fait suite au deuxième groupe de travail du projet « Aménagement Durable des Pêcheries du Sénégal » (ADUPES) qui a eu lieu du 11 au 15 Avril 2016 au Centre de Recherches Océanographiques de Dakar – Thiaroye (CRODT/ ISRA). Il avait pour objectifs (i) d'évaluer les stocks de poulpe (*Octopus vulgaris*), de la crevette profonde, gamba (*Parapenaeus longirostris*), des espèces démersales côtières d'intérêt commercial et (ii) de produire des avis scientifiques quant à la gestion de ces stocks (Etat d'exploitation, TAC, scénarii d'exploitation, etc.).

Ce groupe de travail a mobilisé deux experts en modélisation biologique et bioéconomique, des chercheurs du CRODT, un représentant des armateurs de la pêche, le coordinateur et l'équipe du projet au Ministère tutelle. Ce document représente la contribution de l'expert biologiste et les chercheurs du CRODT.

Les travaux du groupe ont permis la mise à jour des évaluations des principaux stocks et d'émètre des avis scientifiques appropriés. Les résultats ont été obtenus par une modélisation de type GLM pour estimer les indices d'abondance et par l'application d'une nouvelle approche dite bayésienne particulièrement nécessaire pour améliorer et optimiser l'estimation des paramètres recherchés (points de références biologiques) et de donner leurs incertitudes.

Les résultats montrent que le stock de poulpe serait légèrement surexploité en terme de biomasse et son potentiel exploitable est estimé à 9631 tonnes par an. Cependant le stock de la crevette profonde (gamba) serait dans un état de plein-exploitation et son potentiel exploitable est estimé à 2 663 tonnes. Globalement le niveau actuel de l'effort de pêche dirigé sur ces deux stocks se trouve à un niveau permettant le rétablissement des deux stocks.

Pour le poulpe après une forte variabilité de son abondance dans les années 80 son stock a connu une stabilité avec un redressement dans les années récentes. Concernant la gamba bien que sa biomasse a sensiblement diminuée sur la période 1999-2006, elle connaît aussi une stabilité depuis 2006.

1. Introduction

Au Sénégal, l'état des principaux stocks halieutiques exploités a été évalué à plusieurs reprises par les modèles globaux et analytiques, en particulier lors des groupes de travail (GT) du Comité des Pêches de l'Atlantique Centre - Est (COPACE), et plus récemment durant le 1er groupe de travail du projet Aménagement Durable des Pêcheries du Sénégal ADUPES qui a eu lieu du 02 au 05 février 2015.

Ce deuxième groupe de travail ADUPES, tenu du 11 au 15 avril 2016, s'est attaché à évaluer prioritairement les stocks de poulpe (*Octopus vulgaris*) et de la crevette profonde gamba (*Parapenaeus longirostris*) et secondairement d'autres stocks démersaux côtiers, thiof (*Epinephelus aeneus*), pagre à points bleus (*Pagrus caeruleostictus*), pageot (*Pagellus bellottii*), rouget (*Pseudupeneus prayensis*), thiékem (*Galeoides decadactylus*) par l'application de modèles de production de biomasse, dans un cadre bayésien. Pour l'évaluation du stock de poulpe, un modèle structuré par âge avec prise en compte de l'effet de l'environnement, a été aussi appliqué avec une analyse de la variabilité spatiale de la structure de taille au niveau de Kayar et de Mbour.

Les axes de travail du 2^{ème} GT ADUPES ont porté sur :

- l'analyse descriptive de la pêche,
- la synthèse des précédents résultats d'évaluation du stock de poulpe sénégalais,
- l'analyse des données et l'actualisation des séries statistiques
- l'estimation des indices d'abondance par modélisation linéaire généralisée (GLM, en anglais)
- l'application de l'Analyse Virtuelle des Populations (VPA, en anglais)
- l'application de modèles de production de biomasse (modèles globaux) sur les principaux stocks (notamment le poulpe et la gamba) dans un contexte bayésien à l'échelle de la ZEE sénégalaise.

Les analyses de VPA sont présentées dans un rapport ultérieur, étant donné que ce rapport reflète la contribution du consultant biologiste.

2. Description des pêcheries démersales

2.1. Pêcheries démersales profondes

La base des données du CRODT sur les ressources profondes débute en 1978. Avant il était exclu dans les conventions d'accord de pêche liant le Sénégal et le pavillon espagnol, la fourniture de statistiques de pêche. Mais depuis 1977, les conventions signées incluent la fourniture des statistiques de pêche au Sénégal. Au CRODT, les données éparses des crevettiers de 1978 à 1979 ont été considérablement améliorées qualitativement et quantitativement à partir de 1980. En outre, depuis 1982, des observateurs embarquent à bord des navires de pêche étrangers et un certain nombre de navires espagnols ont pris la nationalité sénégalaise, marquant ainsi la naissance de la flottille chalutière nationale d'exploitation des ressources du talus entre 150 et 800 m de profondeur.

Ces pêcheries démersales profondes peuvent être regroupées en deux entités bien distinctes : d'une part la pêche effectuée par des chalutiers de pêche fraîche qui ont pour espèces cibles, les merlus noirs (*Merluccius senegalensis* et *Merluccius polli*), et d'autre part, la pêche effectuée par les congélateurs qui rejettent le plus souvent les merlus et dont les principales espèces cibles sont la crevette rose du large *Parapenaeus longirostris*, plus connue sous sa dénomination espagnole « gamba » et la crevette « alistado » *Aristeus varidens*.

Le chalut des navires de pêche fraîche, du fait de la dimension des mailles (70 mm) au niveau de la poche, ne peut pas retenir la crevette gamba. Pour les crevettiers, le maillage réglementaire est de 40 mm.

L'effectif de la flottille nationale des chalutiers profonds a connu de nos jours une nette augmentation. Du fait du gel de l'effort de pêche des navires exploitant les ressources démersales côtières, les nouvelles demandes de licence ne sont autorisées que sur les ressources du talus (gamba et merlus noirs). De plus, la dynamique accrue de création de société mixte hispano-sénégalaise a conduit à la naturalisation sous le pavillon sénégalais de nombreux navires espagnols travaillant jadis sous le pavillon de l'Union Européenne.

Les crevettiers profonds ciblant la gamba réalisent d'importantes captures accessoires d'espèces d'intérêt commercial (merlus, saint-pierre, brotule, etc.). La stratégie de pêche est conditionnée par les variations nyctémérales d'abondance de la gamba d'une part et de l'association de la crevette alistado avec les crabes rouges profonds (*Geryon maritae*) d'autre part. Cette stratégie reste toujours la même pour tous les crevettiers profonds (dispositif en gréement floridien avec deux chaluts traînés avec des tangons pour la pêche à la gamba, et un chalut en pêche arrière ciblant l'alistado et accessoirement le géryon).

Les débarquements de la flottille sénégalaise sont irréguliers avec un pic important en 1998 (figure 1) correspondant au début de la période de gel des licences de pêche sur le plateau continental et le transfert de l'effort de nombreux ex-chalutiers espagnols vers l'effort de la flotte sénégalaise.

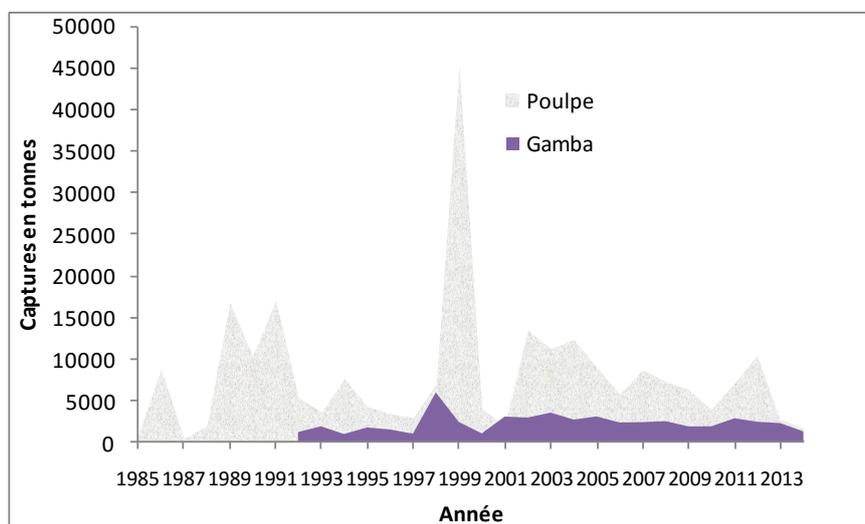


Figure 1 : Evolution des captures de poulpe et de gamba sur la période 1985-2014

2.2. Pêcheries démersales côtières

Au Sénégal, les ressources démersales côtières sont exploitées par la pêche industrielle côtière et la pêche artisanale. La pêcherie industrielle cible à la fois les espèces de poissons démersaux côtiers et les céphalopodes. Les engins de la pêche artisanale ciblant les céphalopodes sont principalement la turlutte (pour le poulpe), le casier et le trémail (pour la seiche). L'exploitation de la principale espèce céphalopode 'le poulpe' a commencé de façon effective avec son apparition massive en 1986, année suivie d'une diminution considérable de la capture en 1987 puis d'une augmentation irrégulière jusqu'en 1991. A partir de cette année, les captures diminuent nettement jusqu'en 1997, avec tout de même une légère hausse en 1994 et 1998 (figure 1).

Pour les autres espèces démersales côtières (thiof, pageot, pagre à points bleus, rouget et thiékem), les captures annuelles totales présentent une tendance globale à la hausse sur la période 1971-1987 (figure 2) avec un pic en 1987 (33 000 tonnes). Entre 1986 et 2003, la tendance générale des débarquements est à la baisse avec, cependant, quelques pics en 1990 (28 000 tonnes) et 1997 (24 000 tonnes). Les captures les plus élevées sont observées en 1987 et 2009, années de forte abondance. Les captures ont ensuite diminué en 2011 et 2012 pour atteindre les 17 207 tonnes en 2012 avant d'augmenter en 2013 avec 20 460 tonnes. Sur toute la série, la tendance générale des captures

cumulées des principales espèces démersales est à la hausse avec une capture moyenne générale de 19 260 tonnes.

Sur la période 1971-1987, les captures du thiof (*Epinephelus aeneus*) présentent une tendance à la hausse avec deux pics en 1984 et 1987 (captures totales envoisinant les 4 000 tonnes pour ces années-là). Depuis 1987, la tendance des captures est nettement à la baisse avec un minimum en 2007 (760 tonnes). Entre 2010-2013, les captures moyennes annuelles sont de 1 350 tonnes alors qu'elles sont de 1 600 tonnes sur toute la série 1971-2013.

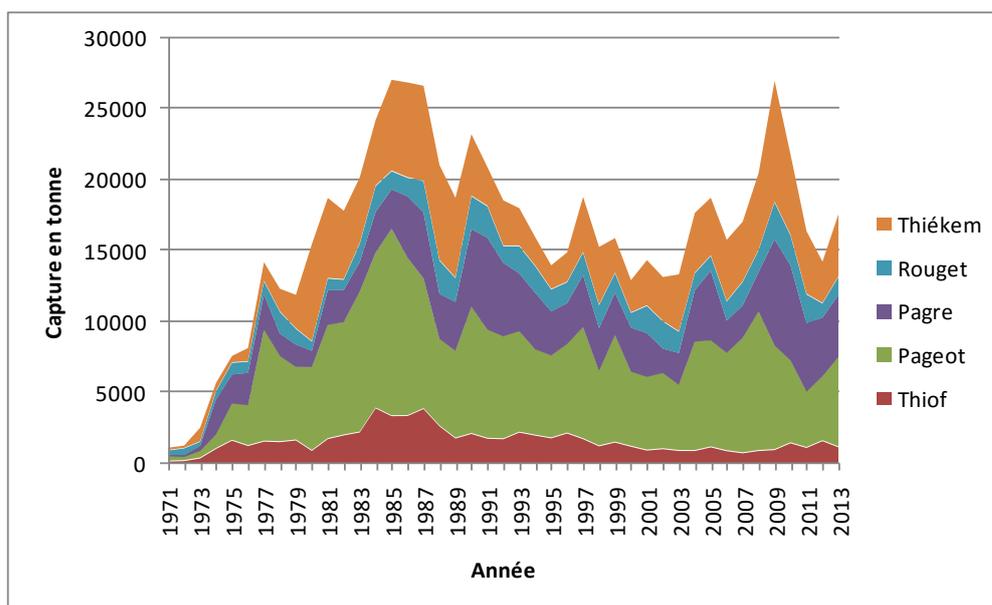


Figure 2 : Evolution des captures en tonnes des principales espèces de poissons démersaux sur la période 1971-2013

Pour le Pageot (*Pagellus bellottii*), l'évolution des captures montre une tendance à la hausse sur la période 1971-1985 avec deux pics, l'un en 1977 avec 7 900 tonnes et l'autre en 1985 avec 13 200 tonnes. Depuis lors, les captures sont à la baisse avec un pic en 2008 (9 800 tonnes). Sur la période 1971-2013, les captures moyennes avoisinent les 6 400 tonnes.

Les captures annuelles du pagre à points bleus (*Pagrus caeruleosticus*) ont augmenté sur la période 1971-1991 avec plusieurs pics, notamment en 1974, 1977, 1981 et 1987 avant de culminer en 1991 avec 6 500 tonnes. De 1991 à 2002, les captures baissent de manière régulière avec des captures faibles en 2002 (1 700 tonnes). Entre 2002 et 2009, les captures montrent encore une tendance à la hausse avec deux pics en 2005 (4 900

tonnes) et 2009 (7500 tonnes). Depuis lors, les captures baissent à nouveau avec une moyenne de 4 500 tonnes sur les trois dernières années.

Quant au rouget (*Pseudupenaeus prayensis*), les captures montrent une tendance globale à la hausse avec de fortes variations interannuelles. Sur toute la période 1971-2013, les captures moyennes annuelles avoisinent les 1 400 tonnes. Plusieurs pics sont notés avec un maximum de captures en 2009 (2 600 tonnes). Depuis cette année, les captures ont beaucoup diminué avec des captures faibles qui avoisinent 1 000 tonnes en 2012.

Les captures du thiékem (*Galeoides decadactylus*) présentent une tendance à la hausse sur toute la période 1971-2013. De 1971 à 1980, les captures augmentent de manière exponentielle atteignant ainsi 6 800 tonnes en 1980. Entre 1980 et 1988, les captures diminuent légèrement jusqu'à atteindre 4 600 tonnes avant d'augmenter à nouveau et atteindre un plateau de 6 700 tonnes sur la période 1985-1988. Depuis 1988, les captures ont de nouveau augmenté avec des pics en 1998 (4 000 tonnes) et en 2009 année où les captures étaient les plus élevées (8 500 tonnes).

3. Evaluation des stocks

3.1. Données et méthodes

3.1.1. Données d'abondance

Les indices d'abondance estimés par GLM sont obtenus à partir des captures par unité d'effort (CPUE) des flottilles commerciales industrielles et artisanales. Le GLM utilisé prend en compte les facteurs susceptibles d'affecter les rendements, notamment la saison et la puissance de pêche des navires..

L'indice d'abondance du stock de poulpe est une synthèse des CPUEs des unités de pêche artisanales utilisant les lignes poulpe comme engins de pêche et de celles des chalutiers de la pêche industrielle. Les facteurs retenus dans le modèle de standardisation sont l'année, le mois, la zone, la puissance en cheval -vapeur et le tonnage de jauge brut (TJB, en tonneaux).

Pour le stock de gamba, l'indice d'abondance estimé en 2015 par le GT - 1 ADUPES sur la période 1996-2013 a été réutilisé. Mais cet indice a été actualisé avec l'estimation pour l'année 2014 par la moyenne des deux dernières années de la série 2012 - 2013. Cet indice d'abondance est obtenu par deux estimations séparées (Thiaw et al. 2013). La première est une estimation des indices annuels d'abondance du stock de gamba par GLM à partir des données de la pêche industrielle étrangère du CRODT pour la période 1992-2006 et la deuxième pour la période 2007-2013 à partir des données de la pêche industrielle sénégalaise. En effet, pour la pêche industrielle sénégalaise, les données n'ont pas été saisies au même format que celles des données de pêche industrielle

étrangère (cf. Rapport du 1er GT ADUPES en 2015). Autrement dit, pour les données de pêche industrielle étrangère, les données sont obtenues par trait de chalut alors que les données de pêche industrielle sénégalaise, les données sont obtenues par marée de pêche.

3.1.2. Modèles de production de biomasse

Cette nouvelle approche probabiliste bayésienne permet la prise en compte des incertitudes et offre un cadre flexible de modélisation. Aussi, un grand intérêt de la théorie bayésienne est la possibilité de la prise en compte des connaissances expertes à travers les lois à priori des paramètres du modèle. Le choix de la loi a priori est donc crucial. La distribution à priori représente la connaissance que l'on a autour de chaque inconnue avant l'analyse des données et l'approche bayésienne permet de passer du prior au posterior grâce à une mise à jour apportée par les données via le modèle (Meyer and Millar 1999; Ono 2012). Le modèle dynamique relaxe l'hypothèse de pseudo-équilibre, mais il comporte un plus grand nombre de paramètres, pour partie auto-corrélés, ce qui peut rendre l'ajustement délicat (Meissa et al. 2013, Meissa and Gascuel 2014). Il est ici mis en œuvre dans un cadre stochastique à espace d'état (Meyer et Millar, 1999).

Les difficultés d'ajustement du modèle dynamique peuvent être au moins partiellement résolues en recourant à ce cadre d'ajustement bayésien, dans lequel des contraintes sur les valeurs de ces paramètres sont introduites sous forme de priors.

En notant η le vecteur des inconnues du modèle, la distribution à posteriori de η notée $\rho(\eta/\text{Data})$, s'obtient en combinant la distribution à priori $\rho(\eta)$ et la distribution conditionnelle des données $\rho(\text{Data}/\eta)$ (= vraisemblance) par la formule de Bayes.

Le processus stochastique calcule la biomasse au temps t+1 à partir de la biomasse au temps t, avec une incertitude de processus autour de la fonction de production de biomasse (Bt). Le modèle s'exprime sous une forme discrète sur un pas de temps annuel :

$$B(t+1) = \left[B(t) + rB(t) \left(1 - \frac{\log(B(t))}{\log(K)} \right) - C(t) \right] \times e^{\varepsilon_1(t)}$$

avec : C(t) la capture observée l'année t et $e^{\varepsilon_1(t)}$ l'erreur de processus (sigma) où $\varepsilon_1(t) \sim N(0, \delta^2(\text{processus}))$.

Le modèle est ajusté sur les indices d'abondance estimés en considérant une incertitude d'observation log-normale :

$$\hat{A}I_t(mE_t) = q \cdot B_t \cdot e^{\varepsilon_2(t)}$$

avec q la capturabilité et $e^{\varepsilon_2(t)}$ l'erreur d'observation (τ) où $\varepsilon_2(t) \sim N(0, (\tau^2)$ observation).

L'hypothèse du ratio des variances égale à 1 pour les deux types d'erreur est retenue pour faciliter l'ajustement du modèle (Ono 2007, Meissa et al. 2013). Les distributions de probabilité des paramètres du modèle sont estimées à partir des méthodes de simulations MCMC (Monte Carlo Markov Chain) et R à l'aide de la librairie BRugs.

L'ajustement est réalisé à partir des valeurs de paramètres et priors définis. Un test de convergence de trois chaînes de MCMC est mené en réalisant 100 000 itérations. La qualité d'ajustement du modèle est jugée à l'aide du critère DIC (Spiegelhalter et al. 2002) qui s'interprète comme un analogue bayésien du critère d'information d'Akaike (AIC).

Ce modèle permet de calculer les principaux points de références biologiques (BMSY, MSY, mEMSY, fMSY) et de donner les incertitudes autour de ces valeurs. Les résultats aboutissent dans un premier temps à la proposition de TACs biologiques pour les deux principaux stocks (le poulpe et la gamba), objets de ce groupe de travail.

Pour l'évaluation du stock de poulpe, elle prend en compte les données de captures de l'ensemble des flottilles opérant au Sénégal fournies par le CRODT et un indice d'abondance synthétique obtenu par GLM sur la base des données de la pêche artisanale et de la pêche industrielle, sur la période 1985-2014. Pour le choix des « priors » une distribution a priori informative est proposée pour le paramètre r (taux intrinsèque d'accroissement naturel) et une autre distribution informative sur le taux de déplétion de la biomasse initiale (α), les autres paramètres (K , q , ε_1 et ε_2) étant distribués à priori selon des lois uniformes comme suit :

$$r \sim \text{dlnorm}(\text{mode}=2.7, \text{sd}=0.9)$$

$$K \sim \text{dunif}(10\ 000, 3\ 000\ 000)$$

$$iq \sim \text{dunif}(1.0E-2, 10)$$

$$\alpha \sim \text{dunif}(0.3, 0.7)$$

$$\text{logsigma} \sim \text{dunif}(-10, 10)$$

$$\text{logtau} \sim \text{dunif}(-10, 10)$$

Aussi pour la gamba, une distribution à priori informative est également proposée pour le paramètre r et une autre distribution peu informative sur le taux de déplétion de la biomasse initiale (α), les autres paramètres (K , q , ε_1 et ε_2) étant distribués à priori selon des lois uniformes comme suit :

$$r \sim \text{dlnorm}(\text{mode}=2.71, \text{sd}=2.78)$$

$$K \sim \text{dunif}(9\ 000, 100\ 000)$$

$$iq \sim \text{dunif}(1.0E-2, 10)$$

$\alpha \sim \text{dunif}(0.4, 0.9)$

$\text{logsigma} \sim \text{dunif}(-10, 10)$

$\text{logtau} \sim \text{dunif}(-10, 10)$

Globalement cette stratégie méthodologique a été adoptée pour l'ensemble des espèces évaluées.

3.2. Résultats et discussion

L'estimation Bayésienne fournit une distribution de probabilité a posteriori des paramètres du modèle. Étant donné que les distributions « a posteriori » obtenues sont asymétriques, la médiane est choisie comme valeur centrale, car elle est moins sensible aux valeurs extrêmes. En effet, la médiane est la mesure de la tendance centrale qui permet de définir la valeur qui coupe la distribution en deux parties, chacune ayant le même nombre de distribution et elle n'est pas affectée par les valeurs extrêmes d'où son avantage pour certains cas. Elle est ici utilisée comme référence et les valeurs moyennes obtenues sont discutées par rapport aux médianes dans les cas où la différence entre ces valeurs centrales (moyenne et médiane) est significative.

3.2.1. Diagnostic du stock de poulpe

L'abondance du stock de poulpe varie d'une année à l'autre avec un pic important en 1999 (Figure 3). Cependant en 2000-2001, le stock a connu une forte diminution. Entre 2002 et 2003, les abondances ont encore légèrement augmenté mais diminuent brusquement pour l'année 2004. Depuis 2006, l'abondance a de nouveau augmenté légèrement avant de chuter en 2013-2014.

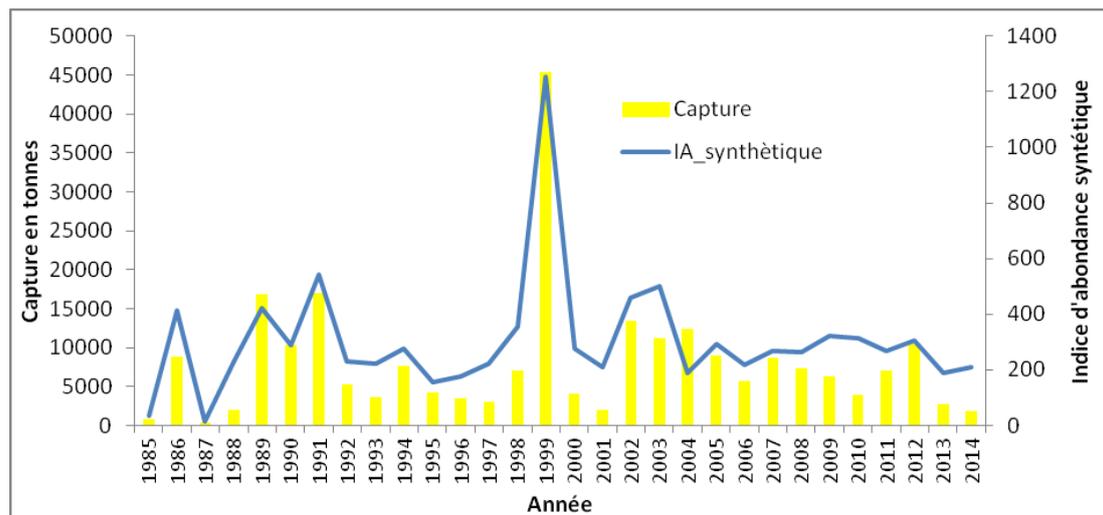


Figure 3 : Captures totales et abondances du stock de poulpe sur la période 1985-2014 à partir des données des pêcheries artisanale et industrielle.

Le diagnostic sur l'état du stock pour la dernière année connue (2014), est établi en recourant à un modèle dynamique de production de biomasse de Fox, ajusté dans un cadre bayésien aux données de captures et d'indices d'abondance de la période 1985-2014. L'information contenue dans la série de données (captures et indices d'abondance) conduit à « mettre à jour » les lois de distribution à *posteriori* des paramètres r , K et q qui sont plus resserrées autour de la moyenne que les distributions a priori (Annexe). Le modèle permet également d'estimer les lois à *posteriori* sur le MSY et le multiplicateur d'effort de maximisation (mE_{MSY}), ainsi que les biomasses prédites par année.

Le modèle s'ajuste de manière très significative aux données ($r=0,89$, $p<0.05$), confirmant ainsi que les changements d'abondance observés peuvent être expliqués par les modifications d'effort de pêche prises en compte dans le modèle. L'ajustement met en évidence une situation de légère surexploitation voire de pleine exploitation de la biomasse en 2014 par rapport au B_{MSY} et un niveau d'effort de pêche relativement faible comparativement au mE_{MSY} .

Relativement à l'évolution des biomasses estimées par le modèle par rapport à la biomasse correspondante au niveau du MSY (B_{MSY}), on peut distinguer trois périodes de forte diminution de biomasse correspondantes à des périodes de surexploitation de la B_{MSY} du poulpe: la première en 1987-1988, la deuxième entre 1995 et 1997 et la troisième en 2005 (Figure 4). Ces périodes correspondent à des périodes d'accroissement de l'effort de pêche des unités de pêche utilisant notamment la ligne simple motorisée LSM et le filet dormant FD (cf. Thiaw et al. 2015). Depuis 2006 la biomasse connaît une amélioration continue et son niveau en 2015 (année prédite par le modèle) est proche de celui de B_{MSY} . Ce redressement de la biomasse a permis au stock du poulpe de retrouver presque son niveau des années 2000-2002.

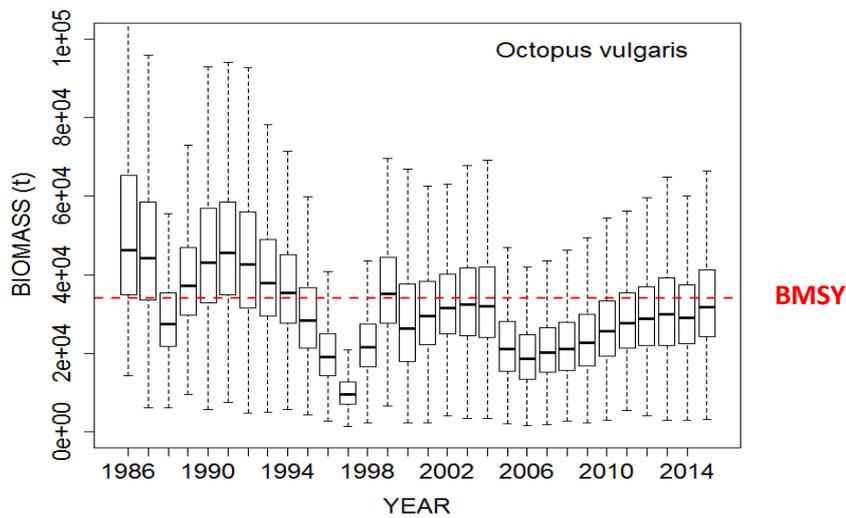


Figure 4: Evolution de la biomasse du poulpe (en boîte à moustaches) par rapport à BMSY (en pointillé rouge)

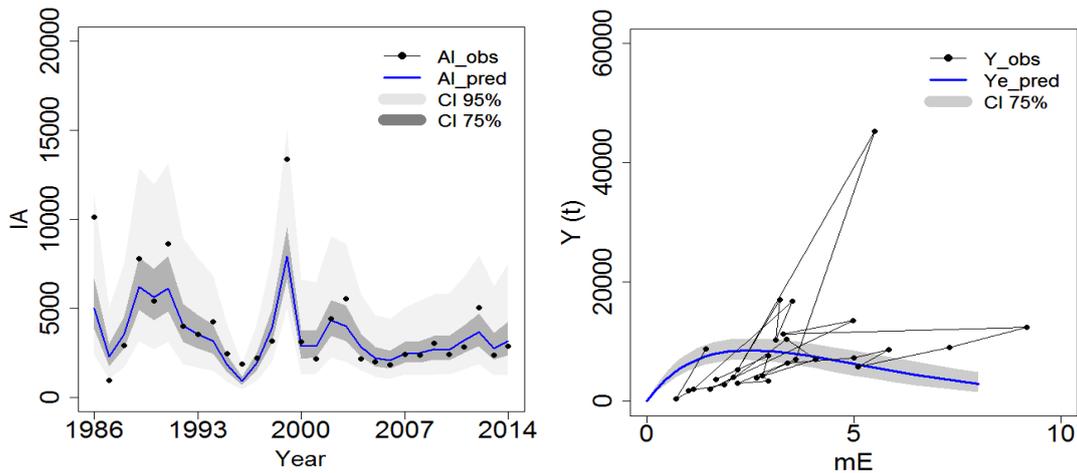


Figure 5 : Diagnostic de l'état d'exploitation du stock de poulpe au Sénégal. Gauche : indice d'abondance (IA) observé et IA prédit par l'ajustement du modèle dynamique de production de biomasse de Fox ; Droite : captures observées (Y_{obs}) et captures prédites à l'équilibre (Y_{e_pred}) par le modèle (la valeur $mE=1$ correspond à l'effort de pêche de l'année 2014 ; la plage grise correspond à l'incertitude de l'estimation).

Le potentiel exploitable (MSY) du poulpe est estimé à 9 631 tonnes et les intervalles de confiances de cette estimation sont donnés au tableau 1. La biomasse actuelle (B) est légèrement inférieure à celle de maximisation B_{MSY} ($B / B_{MSY} = 0.93$). Par rapport à l'état initial (début de l'exploitation), la biomasse actuelle du stock de poulpe représente 34% de la biomasse vierge et 68% de la biomasse de l'année 1986 (première année de la série de données utilisée). Cependant, l'effort actuel reste à un niveau faible comparativement à l'effort de maximisation. Les intervalles de confiance représentent la

fourchette de valeurs à l'intérieur de laquelle nous sommes certains à 95% de trouver la vraie valeur recherchée.

Tableau 1 : Résumé statistique des paramètres du modèle et indicateurs d'exploitations estimés pour le poulpe

Paramètre	moyenne	écart type	IC 2.5%	médiane	IC 97.5%
K	112900	74440	47550	92710	302400
r	3.218	0.9242	1.75	3.098	5.325
q	0.1208	0.0202	0.1006	0.1147	0.1742
mE_{MSY}	2.378	0.7924	1.174	2.259	4.262
MSY	10510	4493	5033	9631	21430
F_{MSY}	0.282	0.0878	0.0004	0.1447	0.2701
B/B_{MSY}	0.89	0.12	0.45	0.93	1.45
B/K	0.31	0.04	0.17	0.34	0.55
B/B_{1986}	0.56	0.031	0.371	0.68	1.639
mE/E_{MSY}	0.41	0.02	0.23	0.44	0.519

En conclusion, le stock de poulpe serait légèrement surexploité en terme de biomasse et le maintien de l'effort actuel favorise le rétablissement de la biomasse observé depuis 2007 et qui continue d'augmenter encore.

On note que l'évaluation du stock reste naturellement entachée d'une certaine incertitude liée non seulement à la qualité statistique de l'ajustement du modèle, mais également à la qualité des données disponibles. En particulier, les données de captures diffèrent entre celles de la Direction des Pêches Maritimes (DPM) et le CRODT même si les tendances et ordres de grandeurs restent comparables sauf pour l'année 2014 où la capture enregistrée dans la base de données du CRODT est trois fois plus faible que celle communiquée par la DPM.

Le diagnostic établi, marqué par une légère surexploitation de biomasse avec un effort relativement faible, est différent de celui obtenu l'année passé. Cette différence est due principalement à la différence de l'indice d'abondance utilisé. En effet, dans l'actuelle évaluation aucune hypothèse d'accroissement de puissance de pêche n'a été appliquée contrairement à l'indice utilisé l'année passée. Cependant, l'actuel diagnostic semble être proche de celui obtenu par le groupe COPACE de 2013.

3.2.2. Diagnostic du stock de gamba

Les données utilisées sont les captures totales de la pêche industrielle opérant dans la ZEEsénégalaise fournies par le CRODT et un indice d'abondance estimé par GLM à partir des données de pêche industrielle ciblant cette espèce sur la période 1992-2014.

L'indice d'abondance estimé pour la gamba montre deux tendances : une première en diminution sur la période 1995-2006 et une deuxième en légère amélioration sur la période récente 2007-2014 (Fig. 6). Par contre, les captures semblent être faibles au début de la période avant 1998, l'année où on enregistre le pic de 6000 tonnes environ et depuis 1999 ces captures fluctuent autour de 2500 tonnes environ. La dernière année, 2014, affiche un niveau de capture relativement faible de 1328 tonnes contrairement aux données présentées par l'armement pendant le groupe.

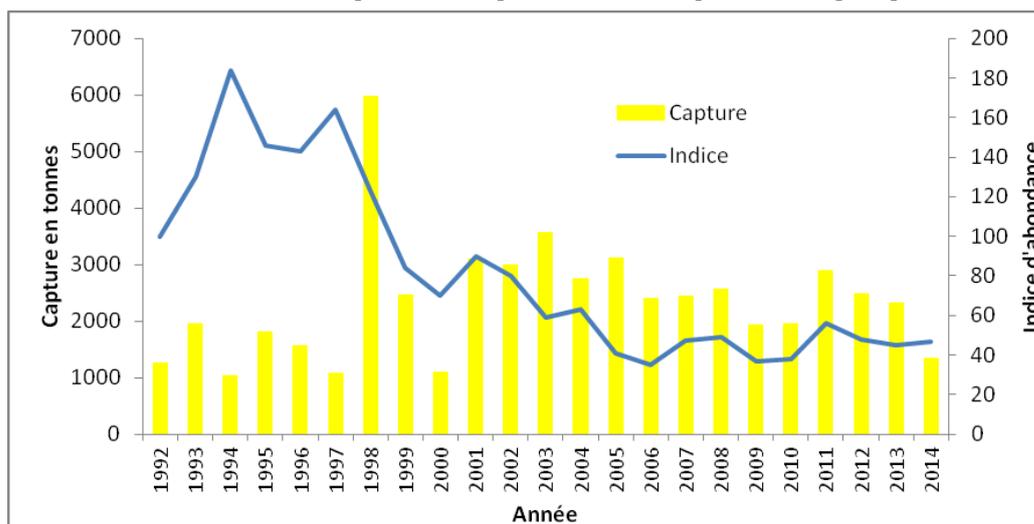


Figure 6: Capture totale et indice d'abondance de la gamba sur la période 1992-2014

Le modèle s'ajuste de manière significative aux données ($r=0,93$, t-Student $p<0.05$).

Le diagnostic du stock montre une situation de pleine exploitation de la biomasse au MSY ($B/B_{MSY}=1.16$, Fig. 6) et un dépassement de 40% en terme de mortalité par pêche ($mE_{MSY} = 0.6$). Par contre, sur la base de la moyenne l'effort actuel serait optimum ($mE/mE_{MSY} = 1.08$).

L'évolution des biomasses par rapport à la biomasse correspondante au niveau du MSY (B_{MSY}) montre que le stock de la gamba était sous-exploité avant 2006 et que les meilleurs niveaux de biomasse ont été observés sur la période 1994-1999. Sur la période 2007-2011 ce stock était légèrement surexploité et depuis 2012 une amélioration de la biomasse est constatée (Fig. 7).

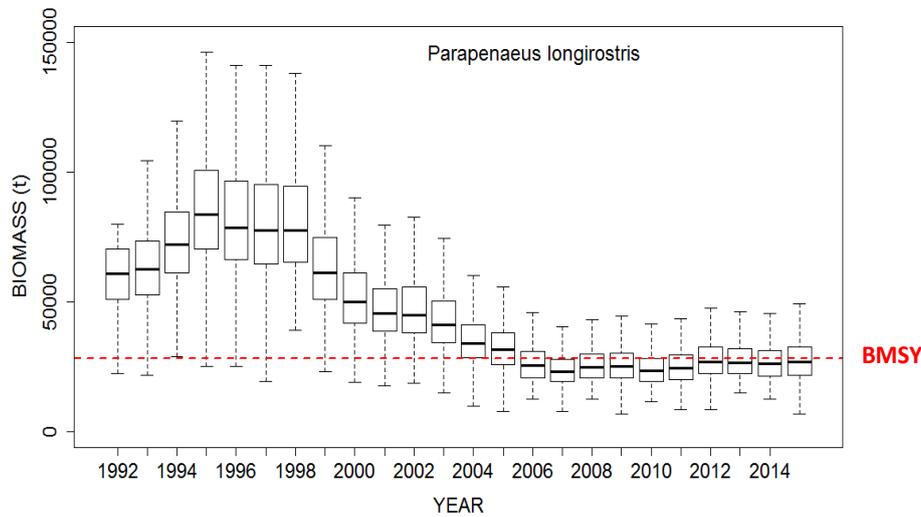


Figure 7 : Evolution de la biomasse de gamba estimée par le modèle dynamique sur la période 1992-2014

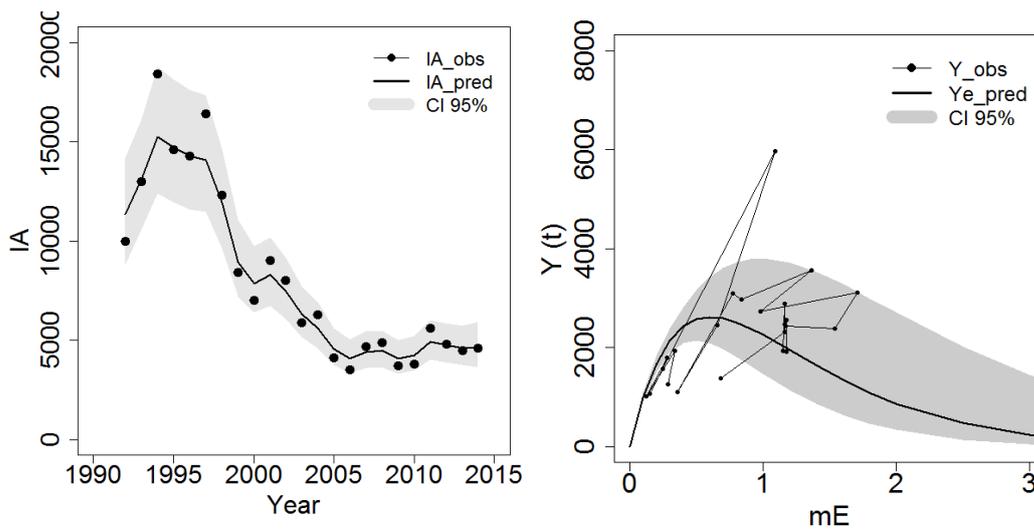


Figure 8 : Diagnostic de l'état d'exploitation du stock de gambae au Sénégal. Gauche : indice d'abondance (IA) observé et IA prédit par l'ajustement du modèle dynamique de production de biomasse de Fox ; Droite : captures observées (Y_{obs}) et captures prédites à l'équilibre (Y_{e_pred}) par le modèle (la valeur $mE=1$ correspond à l'effort de pêche de l'année 2014 ; la plage grisée correspond à l'incertitude de l'estimation).

Le potentiel exploitable (MSY) de la gamba est estimé à 2 663 tonnes et les intervalles de confiances de cette estimation sont donnés dans le tableau 2. Ce potentiel peut aller jusqu'à 3338 tonnes si on raisonne par rapport à la moyenne au lieu de la médiane.

Le cas de la gamba révèle l'importance de l'utilisation de l'approche bayésienne qui ressort d'une manière explicite les incertitudes autour des évaluations (moyenne, médiane, intervalle de confiance), ce qui constitue une amélioration sensible comparativement au modèle classique.

Tableau 2 : Résumé statistique des paramètres du modèle et indicateurs d'exploitations estimés pour la gamba

Paramètre	moyenne	écart type	IC 2.5%	médiane	IC 97.5%
K	77220	50430	19110	61880	188800
r	1.612	0.7882	0.50	1.47	3.538
q	0.2506	0.1929	0.0512	0.18	0.7319
E_{MSY}	0.9227	0.7639	0.3007	0.60	3.077
MSY	3338	1933	1345	2 664	8734
F_{MSY}	0.1499	0.0817	0.0431	0.13	0.3564
B/ B_{MSY}	1.06	0.42	0.68	1.16	2.45
B/K	0.34	0.14	0.17	0.42	0.95
B/ B_{1992}	0.42	0.135	0.19	0.45	1.139
mE/E_{MSY}	1.08	0.12	0.53	1.66	2.181

Par rapport à l'état initial (début de l'exploitation) et à la médiane, la biomasse actuelle de la gamba représente 42 % de la biomasse vierge et 45 % de la biomasse de l'année 1992, ce qui représente environ une division par deux par rapport au début de l'exploitation de cette espèce.

3.2.3. Diagnostic des autres stocks démersaux

Les autres stocks démersaux (Thiof, Pageot, Pagne, Rouget et Thiékem) ont fait l'objet d'une évaluation préliminaire avec le modèle bayésien. Les données utilisées sont celles du groupe ADUPES 2015. Ces évaluations doivent être approfondies et validées prochainement. Les estimations des MSY obtenus sont résumées dans le tableau ci dessous.

Pour le stock de pageot, le niveau de MSY est estimé à 7 375 tonnes (Tableau 3). Son abondance a connu une légère amélioration entre 2007 et 2010 puis une amélioration significative en 2013 et le diagnostic serait sensible à la donnée de cette année. En effet, la biomasse serait à un niveau acceptable par rapport au B_{MSY} et légèrement surexploitée avant 2013. La capture totale la plus élevée a été observée en 1985 (13 200 tonnes toutes pêcheries comprises) et l'année 2013 a enregistré une capture totale de 6 300 tonnes, ce qui représente une légère amélioration par rapport à la période 2009-2012 où les captures sont inférieures à 5 000 tonnes).

Le stock de thiof serait fortement surexploité avec un niveau de MSY de 1 074 tonnes seulement (Tableau 3), et les captures seraient élevées sur toute la période, notamment

celle de 1984-1987. Depuis 2007, on observe une amélioration des captures qui seraient probablement dominées par des tailles juvéniles. Une réduction de l'effort ciblé sur cette espèce aurait sans doute un impact positif sur sa biomasse.

Le pagre à points bleus enregistre des captures totales de 4 380 tonnes en 2013 contre un MSY de 3 331 tonnes (Tableau 3). L'ajustement du modèle indique une légère surexploitation de la biomasse. Depuis 2001, on note une nette amélioration au niveau de l'abondance de cette espèce. Mais en 2012-2013, l'abondance a connu une baisse. En effet, le stock serait pleinement exploité entre 2006 et 2011. L'année 2009 a enregistré le pic de production (7 495 tonnes) sur toute la série de données.

Le rouget qui est pêché principalement par la flottille industrielle fait l'objet de prises croissantes, et son abondance a augmenté depuis le début des années 1990. Ce stock serait dans une situation de sous exploitation, et l'effort de pêche dirigé serait en progression. Le potentiel exploitable de cette espèce se situerait autour de 1 627 tonnes contre 1 270 tonnes débarquées en 2013 (Tableau 3).

Le thiékem ou petit capitaine enregistre en 2013 des captures totales de 4 375 tonnes, supérieures au potentiel exploitable estimé à 3 755 tonnes, même si la moyenne indique un MSY de 4 335 tonnes donc presque égale aux captures de 2013 (Tableau 3). Le diagnostic indique, comme dans le cas du rouget, une situation de sous exploitation.

Tableau 3 : Estimation des potentiels exploitables (MSY) de cinq espèces démersales exploités au Sénégal

Espèce	MSY Moyenne	sd	MC_error	val2.5pc	MSY Médiane	val97.5pc
Pageot	7582	1614	12.26	6185	7375	10230
Thiof	2028	3096	32.55	95.87	1074	9962
Pagre	3348	845.4	12.18	1729	3331	5040
Rouget	1729	894.7	11.53	354.7	1627	3734
Thiékem	4335	2569	101.25	957	3755	10675

4. Conclusion

Les résultats obtenus pour les cinq dernières espèces montrent des états d'exploitation différents : le stock de thiof se trouve dans un état de surexploitation intense, les stocks de pagre et pageot seraient légèrement surexploités voire pleinement exploités alors que l'état des stocks de rouget et thiékem ne semble pas inquiétant.

Pour le stock de poulpe, un maintien de l'effort actuel favoriserait le rétablissement progressif de la biomasse observé depuis 2007. Un TAC biologique de 9 630 tonnes serait concevable sur ce stock.

Quant au stock de gamba, une diminution progressive de l'effort de pêche allant de 15 à 40% contribuerait significativement au rétablissement de la biomasse, permettant d'extraire durablement chaque année un potentiel allant de 2 664 à 3 338 tonnes.

Ces résultats confirment ceux obtenus par beaucoup d'auteurs qui ont eu à travailler dans la ZEE sénégalaise (Barry et al. 2004 ; Gascuel et al. 2004 ; Thiam, 2008; Thiam et Fall, 2010, Thiaw et al. 2009 ; Thiaw, 2010 ; Thiaw et al. 2011 ; Thiao et al. 2012 ; Thiaw et al. 2013).

La dynamique des stocks de poulpe et de crevette gamba est très variable d'une année à une autre, entraînant ainsi une forte variabilité interannuelle des captures (Thiaw, 2010). Il a été montré que l'intensité de l'upwelling côtier explique une large part de la variabilité interannuelle de l'abondance des stocks de poulpe et de crevettes (Thiaw et al. 2009 ; Thiaw, 2011 ; Thiaw et al. 2011). Après cette forte variabilité les deux stocks ont connu une stabilité dans les années récentes avec un redressement dans le cas du poulpe.

5. Liste des références citées

- 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.
- Gascuel D., Laurans M., Sidibé 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 et al. (éds., 2004) : 205-222.
- Gascuel D., Ménard F. 1997. Assessment of a multispecies fishery in Senegal, using production models and diversity indices. *Aquatic Living Resources*, 10: 281-288.
- 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.
- Meissa B. & Gascuel D. 2014. Overfishing of marine resources: some lessons from the assessment of demersal stocks off Mauritania – *ICES Journal of Marine Science* 01/2015; 72(2):414-427.
- Meissa B., Gascuel D. & Rivot E. 2013. Assessing stocks in data-poor African fisheries: a case study on the white grouper *Epinephelus aeneus* of Mauritania, *African Journal of Marine Science*, 35:2, 253-267.
- Meyer R. & Millar R.B. 1999. BUGS in bayesian stock assessments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56: 1078-1086.
- Meyer, R. and Millar, R.B. 1999. Bayesian stock assessment using a state-space implementation of the delay difference model. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56:37-52.
- Ono K., Punt A. & Rivot E. 2012. Model performance analysis for Bayesian biomass dynamics models using bias, precision and reliability metrics. *Fisheries Research*, 125-126: 173-183.
- 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.
- Thiao D., Chaboud C., Samba A., Laloë F. & Cury P.M. 2012. Economic dimension of the collapse of the 'false cod' *Epinephelus aeneus* in a context of ineffective management of the small-scale fisheries in Senegal, *African Journal of Marine Science*, 34:3, 305-311.
- 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, France, 228 pp.
- Thiaw M. 2011. Evaluation par l'approche globale du stock de crevettes profondes, *Parapenaeus longirostris*, du Sénégal. Mémoire de confirmation au CRODT, CRODT/ISRA, 55 p.
- Thiaw M., Fall M. & Thiam N. 2013. Évaluation par l'approche globale du stock sénégalais de crevettes profondes, *Parapenaeus longirostris* (Lucas, 1847). *Journal des sciences Halieutique et Aquaculture*, 7: 255-270.

- 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 D. 2011. Analysing environmental and fishing effects on a short-lived species stock: the dynamics of the octopus *Octopus vulgaris* population in Senegalese waters. *African Journal of Marine Science* 2011, 33 (2): 209-222.
- Thomas A., O'Hara B., Ligges U. & Sturtz S. 2006. "Making BUGS Open." *R News*, 6 (1), 12-17. URL <http://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>.

ANNEXE

Annexe 1 : Données utilisées

Tableau 4 : Données de capture et d'indice d'abondance (IA) du poulpe et de la gamba

Année	Poulpe		Gamba	
	Capture en t.	IA	Capture en t.	IA
1985	834	36		
1986	8806	413		
1987	410	14		
1988	2008	231		
1989	16784	423		
1990	10345	290		
1991	17057	543		
1992	5334	230	1257	100
1993	3630	222	1941	130
1994	7646	277	1026	184
1995	4255	156	1804	146
1996	3421	176	1568	143
1997	2980	221	1069	164
1998	6975	357	5973	123
1999	45325	1252	2457	84
2000	4007	277	1102	70
2001	2009	212	3097	90
2002	13488	459	2983	80
2003	11263	500	3570	59
2004	12348	188	2740	63
2005	9028	293	3114	41
2006	5731	217	2395	35
2007	8713	269	2438	47
2008	7309	265	2558	49
2009	6354	324	1928	37
2010	3935	315	1945	38
2011	7065	270	2895	56
2012	10409	306	2481	48
2013	2735	187	2318	45
2014	1783	210	1328	47

Tableau 5 : Données de capture et d'indice d'abondance (IA) des principales espèces démersales

Année	Thiof		Pageot		Pagre		Rouget		Thiékem	
	Captures	IA								
1971	179	20.43	352	20.78	97	6.74	322	5.34		
1972	208	14.54	278	16.7	146	5.07	466	3.36	157	14.5
1973	394	10.7	511	19.49	370	8.2	287	2.6	955	37.88
1974	1069	10.54	1005	16.84	2494	11.32	563	4.75	553	25.05
1975	1650	10.78	2611	18.03	2056	10.57	824	4.2	436	18.24
1976	1272	9.73	2863	20.65	2288	10.36	793	3.46	920	26.01
1977	1586	10.75	7873	30.82	2504	7.97	924	3.37	1300	29.97
1978	1548	10.48	6059	25.02	1597	5.63	1525	3.98	1587	33.58
1979	1668	10.02	5179	20.37	1580	5.06	1112	3.13	2350	36.05
1980	928	7.14	5907	27.77	1148	6.62	651	1.66	6825	46.79
1981	1762	7.96	8046	35.65	2463	6.12	814	2.11	5641	51.67
1982	2024	9.02	7988	33.61	2278	5.22	711	1.83	4818	47.62
1983	2232	9.47	9922	31.14	2103	5.23	1286	2.46	4623	50.47
1984	3933	8.99	10988	30.91	2882	4.05	1815	2.69	4610	48.31
1985	3385	8.46	13209	39.43	2795	4.83	1274	2.31	6393	47.3
1986	3394	7.07	11157	25.55	4343	4.47	1300	1.44	6672	44.53
1987	3887	6.22	9218	19.75	4664	3.84	2196	1.83	6673	44.16
1988	2666	5.92	6151	14.45	3191	3.74	2345	2.01	6693	41.09
1989	1805	4.19	6176	11.32	3460	3.81	1672	1.95	5624	29.58
1990	2127	3.67	8961	15.87	5493	4.87	2312	2.98	4326	22.63
1991	1789	2.95	7690	12.93	6501	5.26	2204	3.11	2715	14.42
1992	1753	3.53	7246	14	5201	5	1175	3.36	3175	20.81
1993	2222	3.79	7140	13.82	4092	4.5	1917	3.9	2628	16.36
1994	2009	3.69	6076	14.15	4001	4.76	1870	4.28	1999	12.02
1995	1816	3.12	5834	13.63	3125	4.09	1542	3.47	1656	8.19
1996	2159	2.85	6298	15.03	2897	3.32	1475	3.04	2053	11.14
1997	1758	2.61	7890	14.36	3687	3.84	1585	3.1	3879	17.84
1998	1251	3.19	5280	17.39	3050	3.73	1622	4.06	4066	26.53
1999	1518	2.36	7569	15.36	2994	3.17	1380	3.71	2429	9.23
2000	1224	1.66	5280	20.16	3115	3.89	1043	4.1	2260	8.9
2001	953	1.63	5187	12.92	3101	3.99	1915	5.12	3182	19.56
2002	1049	2.77	5365	16.25	1724	4.68	1920	5.72	3086	13.83
2003	924	1.85	4649	16.35	2259	4.45	1496	5.35	4005	12.43
2004	922	2.18	7704	15.91	3631	4.72	1204	6.9	4208	17.97
2005	1180	1.99	7534	16.3	4925	6	1040	7.46	4062	32.63
2006	909	2.14	6925	18.29	2283	5.53	1349	8.8	4304	25.11
2007	759	2.46	8131	22.65	2298	5.44	1661	8.23	4202	31.43
2008	921	2.39	9838	24.48	2800	4.52	1534	8.13	5401	37.81
2009	987	2.86	7372	26.3	7495	5.76	2612	10.22	8515	21.18
2010	1466	3	5835	24.88	6726	5.99	2099	10.01	5649	27.99
2011	1139	2.72	3953	21.5	4859	5.72	2018	10.87	4411	26.03
2012	1616	1.39	4556	16.68	4160	4.21	1000	10.58	2899	24.77
2013	1183	1.85	6365	36.17	4380	4.27	1267	11.92	4375	20.87

Annexe 2 : Script R du modèle Bayésien appliqué aux différents stocks

Script du modèle

```
{
#q prior
iq ~dunif(1.0E-2,10)
q <- 1/iq
iq_p~dunif(1.0E-2,10)
q_p<- 1/iq_p
#r,K and B0 (alpha) priors
r~dlnorm(val_r,var_r)
r_p~dlnorm(val_r,var_r)
alpha~dunif(val_a,var_a)
alpha_p~dunif(val_a,var_a)
K~dunif(5000,70000)
K_p~dunif(5000,70000)

#MSY
MSY_p <-r_p*K_p/(exp(1)*log(K_p))
#Fishing effort at MSY
EMSY_p <- (MSY_p/(K_p/exp(1)))/q_p
# Process error variance
logsigma~dunif(-100,10)
sigma <- exp(logsigma)
isigma <- 1/sigma
# Measurement error variance
#logtau~dunif(-10,10)
#tau <- exp(logtau)
#itau <- 1/tau
itau<- isigma
#Biomass
Btruem[1] <-alpha*K;
for(i in 1 : (n))
{
Btruem[i + 1] <-max(Btrue[i] - Cobs[i] + r*Btrue[i]*(1 - log(Btrue[i])/log(K)), 0.01)
}
for (i in 1 :n+1)
{
logBtruem[i] <-log(Btruem[i])
Btrue[i] <-exp(logBtrue[i])
}
# Predicted abundance indices
for (i in 1 :n)
{
logItrue[i] <- log(Btrue[i]*q)
logIobs[i] <- log(Iobs[i])
residuals[i] <- logItrue[i]-logIobs[i]
Itrue[i] <-exp(logItrue[i])
}
}
```

```

#Quantities of Interest
# Maximum surplus production
MSY <- r*K/(exp(1)*log(K))
for (i in 1:n.mf)
{
Ye[i] <- q*K * mf[i] * exp(-q*log(K) * mf[i]/r)
}
#Fishing mortality at MSY
FMSY <-MSY/BMSY
#Fishing effort at MSY
EMSY <- FMSY/q;
# abundance indices at equilibrium
for (i in 1:n.mf)
{
Ie[i] <- q*K*exp(-q*log(K) * mf[i]/r)
}
# biomass at equilibrium
for (i in 1:n.mf)
{
Be[i] <- K*exp(-q*log(K) * mf[i]/r)
}
} #end of model

```

Annexe 3 : Sorties du modèle bayésien appliqué sur la Gamba

mean	sd	MC_error	val2.5pc	median	val97.5pc
BMSY	28410	18550	1161	7028	22760
Btruem[1]	73490	48150	3015	18070	58910
Btruem[2]	76630	54430	3467	15970	60030
Btruem[3]	88040	65050	4145	16520	68350
Btruem[4]	102700	76660	4880	19120	79500
Btruem[5]	98930	74620	4753	17880	76400
Btruem[6]	96720	72980	4652	17680	74440
Btruem[7]	95830	71750	4574	18230	73860
Btruem[8]	77130	60630	3864	11830	58210
Btruem[9]	63280	48730	3107	10920	48250
Btruem[10]	57410	42950	2741	11170	44000
Btruem[11]	57240	43570	2777	10420	43470
Btruem[12]	52270	39950	2547	9439	39730
Btruem[13]	44070	34410	2193	7442	33060
Btruem[14]	40440	31460	2003	7121	30360
Btruem[15]	32720	25850	1644	5383	24450
Btruem[16]	30090	23500	1493	5335	22610
Btruem[17]	32320	25150	1597	5754	24330
Btruem[18]	32520	25370	1610	5734	24400
Btruem[19]	30450	23410	1487	5719	22960
Btruem[20]	31490	24050	1529	6097	23840
Btruem[21]	35180	27370	1741	6311	26360
Btruem[22]	34660	26980	1715	6242	26020
Btruem[23]	33940	26420	1678	6250	25570
Btruem[24]	35200	26910	1700	7114	26290
EMSY	0.9227	0.7639	0.05858	0.3007	0.6016
EMSY_p	15.58	17.21	0.07466	0.4962	10.5
FMSY	0.1499	0.08167	0.004449	0.04312	0.1317
Fcur	0.2506	0.1929	0.01261	0.05117	0.1823
K	77220	50430	3157	19110	61880
K_p	101200	57130	238.8	6951	101100
MFMSY	0.9227	0.7639	0.05858	0.3007	0.6016
MSY	3338	1933	88.13	1345	2664
MSY_p	11090	11630	53.65	594.9	7667
Ye[2]	994.5	158.9	4.286	700.7	989.3
Ye[3]	1685	271.8	4.813	1157	1680
Ye[4]	2155	415.1	10.19	1314	2148
Ye[5]	2464	593.5	19.46	1282	2433
Ye[6]	2656	789.2	30.14	1159	2576
Ye[7]	2762	987	41.13	1001	2618
Ye[8]	2807	1177	51.82	837	2589
Ye[9]	2808	1354	61.84	681.2	2511
Ye[10]	2778	1516	71	545.2	2396

Ye[11]	2727	1660	79.21	435.5	2258
Ye[12]	2586	1899	92.66	267.2	1948
Ye[13]	2421	2076	102.4	158.9	1636
Ye[14]	2252	2202	109.1	92.5	1344
Ye[15]	2088	2287	113.1	52.25	1088
Ye[16]	1934	2338	115.1	29.2	869.1
Ye[17]	1599	2363	114	6.617	477.3
Ye[18]	1331	2301	108	1.441	250.7
Ye[19]	1116	2193	99.84	0.3104	128.3
Ye[20]	941.5	2066	91.04	0.0638	64.46
Ye[21]	799	1931	82.35	0.01302	31.81
Ye[22]	681.4	1796	74.12	0.002674	15.57
Ye[23]	583.5	1666	66.52	0.000536	7.533
Ye[24]	501.5	1542	59.59	0.0001073	3.614
Ye[25]	432.5	1426	53.34	2.13E-05	1.72
Ye[26]	374.1	1317	47.72	4.16E-06	0.8138
Ye[27]	324.4	1217	42.69	8.05E-07	0.3826
Ye[28]	282.1	1124	38.2	1.56E-07	0.1792
Ye[29]	246	1038	34.2	3.01E-08	0.08335
alpha	0.9507	0.02883	0.0002163	0.9027	0.9511
alpha_p	0.9501	0.02898	0.0001289	0.9025	0.9502
q	0.2506	0.1929	0.01261	0.05117	0.1823
q_p	0.0693	0.3063	0.001406	0.01025	0.02011
r	1.612	0.7882	0.04052	0.5035	1.469
r_p	3.487	2.785	0.01284	0.6825	2.711
BeqcurK	0.2514	0.1784	0.009066	0.03305	0.193
BobcurK	0.4228	0.09663	0.003966	0.2726	0.4083
BprcurK	0.4136	0.09145	0.003435	0.2722	0.4003
BstartK	0.4447	0.1006	0.004091	0.2881	0.4299

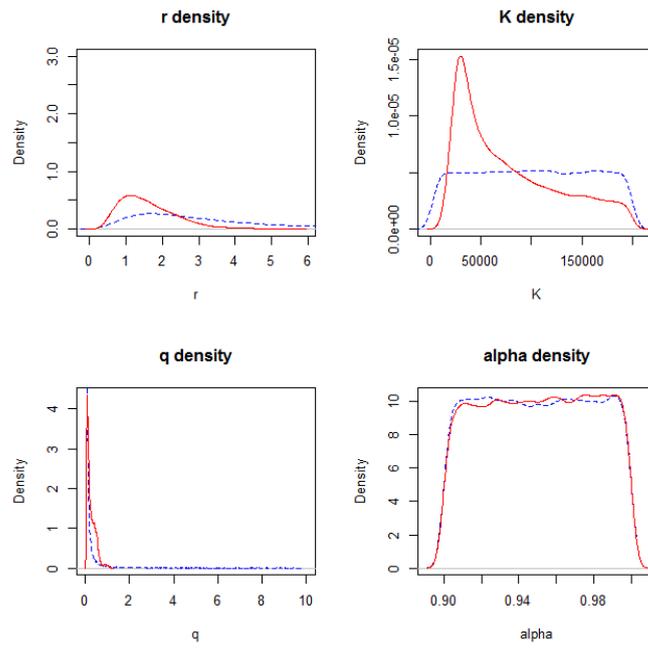


Figure 9 : Priors et posteriors des paramètres du modèle bayésien appliqué sur la gamba

Annexe 4 : Sorties du modèle bayésien appliqué sur le Poulpe

	mean	sd	MC_error	val2.5pc	median
BMSY	41550	27390	136	17490	34110
Btruem[1]	56470	37220	184.9	23770	46360
Btruem[2]	48600	22330	135.5	19000	44310
Btruem[3]	29400	11010	70.29	13420	27600
Btruem[4]	39510	14090	88.05	18740	37280
Btruem[5]	46490	19700	122.4	17940	43200
Btruem[6]	48440	19620	124.2	19820	45440
Btruem[7]	45700	20580	144.2	16050	42360
Btruem[8]	40310	16210	107.9	16370	37820
Btruem[9]	37630	14440	92.27	16400	35410
Btruem[10]	30140	12940	90.41	10990	28130
Btruem[11]	20350	8730	54.15	7489	18990
Btruem[12]	10260	4461	29.23	3840	9510
Btruem[13]	22590	8707	57.31	9632	21260
Btruem[14]	36920	13490	88.29	16850	34870
Btruem[15]	29350	17060	115.6	7534	25770
Btruem[16]	31090	13060	95.34	12180	28990
Btruem[17]	33200	12170	77.78	15140	31330
Btruem[18]	34190	14610	97.45	12990	31850
Btruem[19]	34080	14620	99.65	12880	31710
Btruem[20]	22220	10390	71.72	7488	20580
Btruem[21]	19560	9143	64.71	6601	18050
Btruem[22]	21080	9032	63.03	7988	19640
Btruem[23]	22230	9862	66.95	7895	20620
Btruem[24]	23780	10280	68.36	8552	22190
Btruem[25]	26840	11350	75.93	10190	25120
Btruem[26]	29100	11460	75.88	11990	27440
Btruem[27]	30500	12340	81.67	12120	28600
Btruem[28]	31730	14080	97.52	10960	29590
Btruem[29]	30590	12150	80.09	12520	28760
Btruem[30]	33880	14040	84.45	13530	31660
EMSY	2.378	0.7924	0.004494	1.174	2.259
EMSY_p	1.03	0.7112	0.003045	0.049	0.9323
FMSY	0.282	0.08781	0.0004244	0.1447	0.2701
K	112900	74440	369.7	47550	92710
K_p	1513000	867500	3770	81590	1512000
MFMSY	2.378	0.7924	0.004494	1.174	2.259
MSY	10510	4493	22.34	5033	9631
MSY_p	110700	73330	334.6	6886	101100
Ye[2]	1285	831.2	4.375	528.8	1059
Ye[3]	2438	1531	8.031	1023	2025
Ye[4]	3471	2118	11.07	1486	2903
Ye[5]	4393	2606	13.57	1913	3699
Ye[6]	5214	3009	15.6	2311	4417

Ye[7]	5943	3339	17.25	2679	5068
Ye[8]	6588	3607	18.55	3014	5652
Ye[9]	7156	3821	19.57	3319	6178
Ye[10]	7653	3988	20.35	3596	6643
Ye[11]	8087	4117	20.92	3845	7052
Ye[12]	8784	4280	21.57	4253	7738
Ye[13]	9286	4350	21.76	4535	8242
Ye[14]	9628	4356	21.65	4723	8623
Ye[15]	9835	4321	21.37	4814	8872
Ye[16]	9934	4260	21	4791	9035
Ye[17]	9824	4068	20.07	4441	9091
Ye[18]	9379	3884	19.41	3835	8799
Ye[19]	8753	3732	19.04	3130	8287
Ye[20]	8041	3607	18.8	2444	7631
Ye[21]	7306	3493	18.55	1879	6919
Ye[22]	6585	3380	18.21	1409	6181
Ye[23]	5900	3260	17.75	1030	5467
Ye[24]	5263	3131	17.16	751.6	4791
Ye[25]	4680	2993	16.47	536.1	4161
Ye[26]	4151	2849	15.69	379.8	3593
Ye[27]	3676	2699	14.86	268.6	3090
Ye[28]	3250	2547	14	189.1	2643
q	0.1208	0.02022	0.0002187	0.1006	0.1147
q_p	0.6952	3.105	0.01403	0.1026	0.1993
r	3.218	0.9242	0.004445	1.75	3.098
r_p	2.86	0.9277	0.004378	1.461	2.719

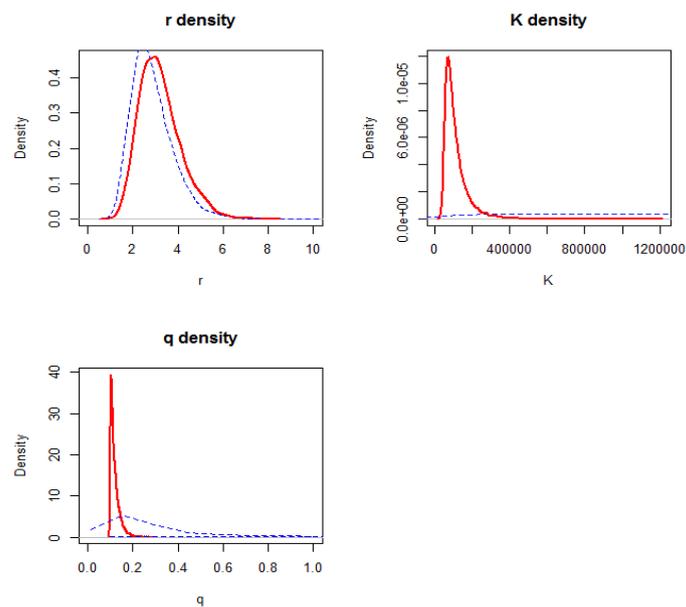


Figure 10 : Priors et posteriors des paramètres du modèle bayésien appliqué sur le poule