

**Laboratoire d'Ecologie Halieutique**  
Agrocampus Ouest Centre de Rennes



**Laboratoire RAP**  
IRD Dakar



---

**Mémoire de fin d'études**  
**Spécialisation halieutique d'Agrocampus Ouest**

**Analyse de l'impact d'une Aire Marine Protégée (AMP) sur le  
fonctionnement trophique d'un écosystème :**  
Modélisation Ecopath/EcoTroph de la réserve du bolong de  
Bamboung, Sénégal



**Présenté par :**

COLLETER Mathieu

**Soutenu le :**

16/09/2010



**Laboratoire d'Ecologie Halieutique**  
Agrocampus Ouest Centre de Rennes



**Laboratoire RAP**  
IRD Dakar



**Mémoire de fin d'études**  
**Spécialisation halieutique d'Agrocampus Ouest**

**Analyse de l'impact d'une Aire Marine Protégée (AMP) sur le  
fonctionnement trophique d'un écosystème :**  
Modélisation Ecopath/EcoTroph de la réserve du bolong de  
Bamboung, Sénégal

**Présenté par :** COLLETER Mathieu

**Soutenu le :** 16/09/2010

**Devant le Jury**

M. ABELLARD Olivier, Agence des Aires Marines Protégées.  
Mme. CHING VILLANUEVA Maria, Ifremer.  
M. LE PAPE Olivier, Laboratoire d'écologie halieutique, Agrocampus Ouest.  
M. GASCUEL Didier, Laboratoire d'écologie halieutique, Agrocampus Ouest.  
M. TITO DE MORAIS Luis, IRD.



# Diffusion du mémoire

A remplir par l'auteur avec le maître de stage.

Aucune confidentialité ne sera prise en compte si la durée n'en est pas précisée.

## Préciser les limites de la confidentialité <sup>(1)</sup> :

Mémoire de fin d'études

Consultable sur place : ☒ oui ☐ non

Reproduction autorisée : ☒ oui ☐ non

Prêt autorisé : ☒ oui ☐ non

Confidentialité absolue : ☐ oui ☒ non  
(ni consultation, ni prêt)

Diffusion de la version numérique : ☒ oui ☐ non

*Je soussigné Gascuel Didier, propriétaire des droits de reproduction de la dite version, autorise toutes les sources bibliographiques à le signaler et le publier.*

Fiche de résumé du mémoire de fin d'études :

Résumé diffusable : ☒ oui ☐ non

Si oui, l'auteur complète l'autorisation suivante :

*Je soussigné Colléter Mathieu, propriétaire des droits de reproduction dudit résumé, autorise toutes les sources bibliographiques à le signaler et le publier.*

Date : Signature :

---

Rennes, le

Le Maître de stage <sup>(2)</sup>,

L'auteur,

L'Enseignant responsable <sup>(2)</sup>,

---

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation du Pôle Agronomique de Rennes s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme.



## Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier les membres de l'unité RAP de l'IRD Dakar pour leur accueil lors de mon passage au Sénégal. J'adresse plus particulièrement des remerciements à Luis Tito de Morais, co-encadrant de ce stage, pour sa disponibilité, ses conseils judicieux et l'opportunité qu'il m'a donné d'aller sur le terrain. Je tiens aussi à remercier Jean-Marc Ecoutin pour m'avoir guidé dans la consultation des thèses et publications, mais aussi aider dans ma modélisation.

Merci également à Oumar Sadio, Jean Raffray, Gaspard Bertrand et François Sanséo pour leur bonne humeur et leur soutien au quotidien. Je tenais à remercier toute l'équipe du Diassanga pour m'avoir initié à la pêche scientifique et au TiepbouDien fait avec du poisson pêché du matin. Enfin merci à tous les stagiaires, doctorants, chercheurs de l'IRD que j'ai pu rencontrer à Dakar, dans les cases de passage ou à la Paillote, et qui m'ont très bien accueilli (Céline, Clem, Rachel, Agnès, Nico...)

Je souhaite ensuite remercier les membres du Pôle Halieutique d'Agrocampus Ouest, centre de Rennes, où j'ai réalisé la seconde partie de mon stage.

Merci à Didier Gascuel, encadrant principal de mon stage, pour sa patience et ses conseils avisés tout au long de mon stage.

Merci également à Sylvie Guénette pour m'avoir aidé dans mes efforts pour construire une routine Ecosim. Le résultat n'a pas été au rendez-vous mais ses conseils ont été très instructifs.

Merci aussi aux stagiaires avec qui j'ai passé de bons moments, studieux ou non ; à l'ensemble des membres du Pôle pour leur soutien et leur bonne humeur. Un merci tout particulier à Sébastien Rochette pour m'avoir accueilli dans son bureau, et répondu à toutes mes questions (quelle patience !). Merci enfin à Catherine Le Penven et Laura Mars pour avoir passé de très bons moments avec elles, les pauses clopes auraient été bien solitaires sans ces deux « Drôles de Dames ».

Pour finir, je remercie toutes les personnes que j'ai pu rencontrer pendant mon stage et qui m'ont aidé à améliorer mon travail. Merci aux copains de l'ENSAR (Thieu, Fabrega, Melou, Alexis, Caro, Sam....). Merci à ma chère et tendre Laurène pour m'avoir soutenu tout le long de mon stage.





## Table des matières

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I. Introduction.....                                                                 | 1  |
| II. Matériels et Méthodes.....                                                       | 3  |
| 1. Présentation de l'AMP – Protocole de suivi scientifique.....                      | 3  |
| 2. Présentation des modèles trophodynamiques.....                                    | 6  |
| 3. Construction d'une série temporelle d'indices d'abondance par approche delta..... | 9  |
| 4. Construction du modèle Ecopath Bamboung de référence (2003).....                  | 12 |
| 5. Modèles dérivés et simulations.....                                               | 16 |
| III. Résultats.....                                                                  | 19 |
| 1. Evolution de l'abondance des différents groupes sur la période 2003/2009.....     | 19 |
| 2. Fonctionnement trophique de l'écosystème : Modèle référence Bamboung 2003.....    | 21 |
| 3. Effet réserve sur les biomasses et les indices écologiques.....                   | 25 |
| 4. Résultats des simulations EcoTroph.....                                           | 28 |
| IV. Discussion.....                                                                  | 33 |
| 1. Discussion sur les données manquantes et les choix méthodologiques.....           | 33 |
| 2. Discussion sur l'effet réserve.....                                               | 34 |
| V. Conclusion.....                                                                   | 36 |
| Bibliographie.....                                                                   | 37 |



## **I. Introduction**

Les écosystèmes marins ont connu de profonds bouleversements durant les dernières décennies, et ce notamment par une augmentation de la pression anthropique. Cette pression se matérialise par divers effets comme la fréquentation croissante du littoral, la dégradation des habitats halieutiques ou encore la surexploitation des ressources (Bianchi & Morri, 2000). La pêche a ainsi un impact direct sur les ressources, avec notamment la diminution de la biomasse des grands prédateurs, qui ne serait aujourd'hui plus qu'à 10% du niveau préindustriel (Christensen et al, 2003 ; Myers & Worm, 2003). Mais la pêche a également des effets indirects importants puisque la surexploitation d'une ressource se répercute sur l'ensemble de l'écosystème via les réseaux trophiques. Ainsi, depuis les années 50, le niveau trophique moyen des espèces exploitées a diminué, correspondant à une diminution des captures de haut niveau trophique tandis que les prises de bas niveau trophique type petits pélagiques tendaient à augmenter. Ceci est désigné par l'expression « Fishing down marine food webs » (Pauly et al, 1998).

Face à ce constat alarmant, de nombreux Etats se sont engagés à mettre en place une Approche Ecosystémique des Pêches (AEP) afin de mieux gérer les ressources, en prenant en compte les impacts anthropiques sur l'ensemble des compartiments d'un écosystème (Sommet Mondial pour le Développement Durable, Johannesburg, 2002). Au sein de cette politique de gestion, l'utilisation des Aires Marines Protégées (AMP) pour sauvegarder et gérer les écosystèmes s'est imposée comme un outil efficace. Les AMP sont « des espaces délimités en mer, sur lesquels sont fixés des objectifs de protection de la nature à long terme. Ces objectifs sont rarement exclusifs : ils sont souvent, soit associés à un objectif local de développement socio-économique, soit articulés avec une gestion durable des ressources. En général, le pilotage est confié à une instance locale dans laquelle sont représentées les différentes parties prenantes. » (Agence des aires marines protégées, 2007). Plusieurs études ont déjà démontré que les réserves avaient des effets positifs directs sur les populations protégées (Gell & Roberts, 2003 ; Halpern, 2003), ceci passant notamment par une augmentation de la taille moyenne des individus, de leur biomasse totale et de leur densité (Lester et al, 2009). En revanche, l'intérêt des AMP comme outil de gestion des stocks halieutiques, et comme méthode de minimisation de l'impact de la pêche à l'échelle d'un écosystème global, reste mal connu. Dans cette optique, il est donc aujourd'hui intéressant de mettre en place des méthodes d'évaluation de l'efficacité de ces AMP, afin de définir des conditions nécessaires à leur création. C'est un des objectifs du projet de recherche « Aires Marines Protégées et gestion Halieutique par Optimisation des Ressources et des Ecosystèmes » (AMPHORE), financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), et dans lequel s'insère notre étude.

Afin de répondre aux attentes de ce projet, nous utiliserons des modèles trophodynamiques permettant d'analyser et quantifier l'effet d'une aire marine protégée sur la dynamique trophique d'un écosystème, en allant de la production primaire jusqu'aux grands prédateurs. Ces modèles sont de plus en plus utilisés, notamment Ecopath, modèle abouti et simple d'utilisation développé au sein du Fisheries Centre de Vancouver (Christensen et al, 2005 ; Christensen & Lai, 2007 ; Christensen & Pauly, 1992 ; 1993 ; Pauly et al, 2000). C'est ce modèle que nous avons sélectionné pour évaluer notre cas d'étude, la réserve du Bolong de Bamboung au Sénégal.

Cette étude vise donc à répondre à la problématique suivante : Quel est l'impact de la mise en place d'une AMP sur le fonctionnement trophique de l'écosystème du bolong de Bamboung au Sénégal?

Pour cela, notre étude comprend les étapes suivantes :

1. Construction d'une série d'indices d'abondance pour les différents groupes d'espèces
2. Construction d'un modèle Ecopath de référence pour l'année 2003 (avant mise en réserve)
3. Construction de modèles dérivés et simulations sous Ecosim et EcoTroph

Après avoir présenté la zone d'étude et exposé les méthodes de construction, nous présenterons les résultats obtenus que nous discuterons par la suite.

## **II. Matériels et méthodes**

### **1. Présentation de l'AMP – Protocole de suivi scientifique**

#### **1.1. Le site d'étude**

L'AMP de Bamboung a été créée en 2002 grâce au projet Narou Heuleuk (la part de demain en wolof) financé par le Fond Français pour l'Environnement Mondial (FFEM). Proposé et piloté par « l'Océanium », association sénégalaise de protection de l'environnement et centre de plongée, le projet a à l'origine un double objectif : sensibiliser les populations à une gestion durable des ressources halieutiques et mettre en place localement quatre AMP communautaires présentant des problématiques spécifiques. Dans le cas du bolong de Bamboung, il s'agissait de s'attaquer à des problèmes de capture des juvéniles et de protection des milieux sensibles de mangrove. En effet, le bolong fait partie de la Réserve de Biosphère du Delta du Saloum, zone d'estuaire inverse qui sert de nourricerie, lieu de reproduction pour de nombreuses espèces (Albaret, 1999). La biodiversité y est réputée importante pour l'ensemble des compartiments (oiseaux, poissons et mammifères marins). De par ces caractéristiques, c'est aussi une zone de pêche majoritairement artisanale.

C'est en Octobre 2002 que le Conseil de la communauté rurale de Toubacouta a décidé la création de l'AMP, validée par un décret présidentiel en 2004, année de fermeture de la pêche. Le bolong de Bamboung est un chenal d'eau salée, affluent du Diomboss, un des trois bras principaux de l'estuaire (Figure 1). L'AMP couvre une superficie de 6800 hectares dont environ 4,5 km<sup>2</sup> de zone marine et le reste de zone terrestre. Le bolong lui-même est d'une longueur de 15 kilomètres à partir du confluent avec le Diomboss jusqu'aux vasières de la forêt de Kolé. Sa largeur varie de 50 à 500 mètres et sa profondeur de 0 à 15 mètres (Albaret, 2003).

Le choix de cette zone a été fait en concertation entre les différentes parties prenantes et s'est accompagné de la mise en place d'un campement écologique, Keur Bamboung, permettant de pérenniser l'aire. Les bénéfices générés sont répartis entre l'entretien du campement, le fonctionnement de l'AMP, qui est autonome financièrement, et le développement de la communauté rurale.

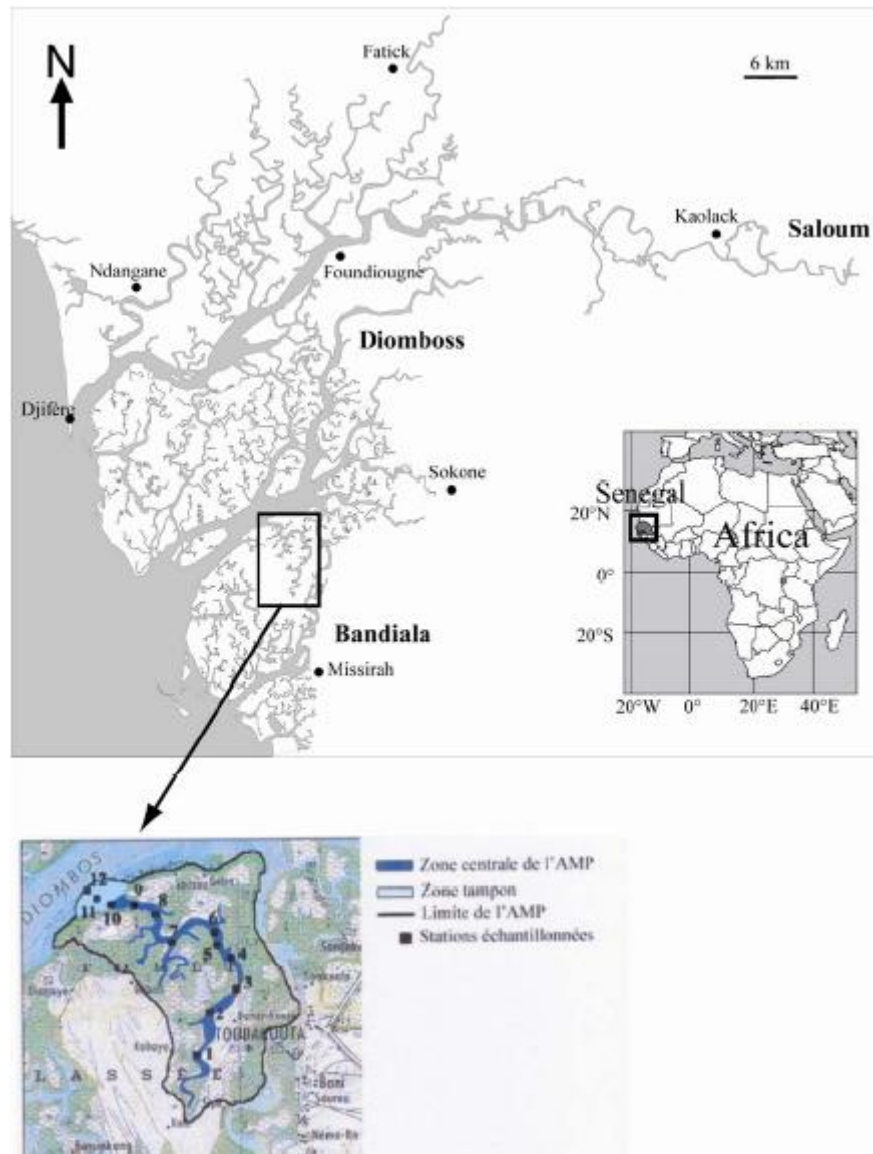


Figure 1 : Situation géographique et carte du delta du Sine-Saloum (Sénégal), et localisation de l'AMP du bolong de Bamboung (Albaret, 2005)

## 1.2. Mise en place des campagnes d'observation scientifique et stations d'échantillonnage

Cette AMP est l'un des sites d'étude du projet AMPHORE et fait l'objet d'un suivi scientifique depuis 2003 (année sans pêche). Nous avons donc une situation intéressante de BACI (Before/After and Control/Impact, Underwood, 1992) qui permet ici de comparer une situation avec et sans pêche. Le suivi scientifique se compose de pêche ainsi que de mesures des paramètres abiotiques de l'environnement aquatique. Il est réalisé par l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) en collaboration avec le Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye (CRODT). Dans le cadre du stage de Master 2 et à l'occasion d'un séjour de un mois au sein de l'IRD Dakar, j'ai pu participer à une de ces campagnes.

Trois campagnes sont réalisées par an correspondant aux différentes saisons :

- 1<sup>ère</sup> campagne : mars/avril (saison sèche fraîche)
- 2<sup>ème</sup> campagne : mai/juin (saison sèche chaude)
- 3<sup>ème</sup> campagne : octobre (fin de saison des pluies)

Ceci permet de prendre en compte les variations saisonnières des peuplements en intégrant un cycle saisonnier complet (Albaret, 2003).

Lors de chaque campagne, des pêches sont réalisées sur 12 stations d'échantillonnage (Figure 1) correspondant à différentes zones écologiques. En effet, le bolong étant d'une longueur de 15km, les conditions varient de l'amont à l'aval et les peuplements ne sont pas forcément les mêmes. A partir de 2008, le plan d'échantillonnage s'est élargi au Diomboss et au bolong de Sangako, un bolong proche du Bamboung mais pêché. Depuis cette date, seules six stations sont échantillonnées dans le Bamboung, quatre dans le Diomboss à la sortie de l'AMP, et enfin six dans le Sangako.

### 1.3. Techniques d'échantillonnage : la senne tournante

Les pêches sont réalisées à la senne tournante coulissante sans recherche de bancs mais à chaque sortie aux mêmes endroits. La senne est d'une longueur de 250m, d'une hauteur de 20m et d'une maille de 14mm. Cette technique permet d'échantillonner dans les différents sites, et ce malgré la réduction de la largeur du bolong en remontant vers l'amont. C'est la même équipe de pêcheurs, formés à l'échantillonnage scientifique, qui réalise les pêches depuis 2003. On peut donc considérer un coup de pêche comme une unité d'effort (Albaret, 2005).



Figure 2 : Photo de la mise en place de la senne tournante par les pêcheurs lors d'une campagne scientifique (source personnelle)

Après chaque coup de pêche, l'ensemble des captures est ramené sur le bateau-mère, le Diassanga, pour être trié et analysé.

#### 1.4. Données recueillies

La pêche est triée par espèce. Pour chaque espèce, les individus sont mesurés et pesés. Si l'effectif est trop important (type clupéidés), trente individus sont pesés et mesurés, le reste est juste pesé ce qui permet d'estimer un effectif à partir du poids moyen calculé. De plus, une dissection est réalisée pour déterminer la maturité sexuelle du poisson. Des contenus stomacaux sont également analysés. L'ensemble de ces données permet de caractériser le peuplement de l'écosystème.

La salinité, la conductivité, la température, le taux d'oxygène ainsi que la turbidité de l'eau sont mesurés à chaque station, en surface et au fond. Les conditions de marée sont aussi enregistrées. Enfin, des informations concernant le coup de pêche sont renseignées : la position du coup dans le bolong, l'échappement de poissons et la qualité du coup de pêche.

Notons que des méthodes d'observation acoustique sont aussi mises place depuis 2003 (Sow & Guillard, 2004, 2005). Ces données ne sont pas utilisées dans le présent mémoire et ne seront donc pas détaillées ici.

## 2. Présentation des modèles trophodynamiques

### 2.1. Présentation d'EwE

#### 2.1.1. Principes généraux

Le modèle trophodynamique Ecopath permet de comprendre l'organisation et le fonctionnement trophique d'un écosystème en le considérant dans sa totalité. L'ensemble de la biomasse de l'écosystème est ainsi répartie entre différentes boîtes trophiques, définissant les groupes fonctionnels du modèle. Chaque boîte regroupe les espèces (ou stades biologiques) qui ont sensiblement les mêmes proies, les mêmes prédateurs et les mêmes caractéristiques biologiques (production, consommation, mortalité...). Le modèle permet de représenter et quantifier les interactions et flux trophiques entre différents groupes trophiques, en supposant un état d'équilibre des masses. Ce modèle peut être utilisé pour (Christensen et al, 2005):

- Poser des questions d'ordre écologique
- Evaluer les impacts de la pêche sur tout l'écosystème
- Explorer des options de gestion sur une zone
- Evaluer l'impact et la position d'AMP
- Evaluer l'impact de changements environnementaux

Ecopath repose sur deux équations clés.



### 2.1.2. Equation de production (ou flux sortants)

**Production = Prédation + Captures + Accumulation de biomasse + Exportations + Autres mortalités**

La production d'un compartiment est égale aux pertes de ce même compartiment, à l'accumulation de biomasse et à la migration. C'est l'équation des flux sortant. Soit :

$$B_i \times \frac{P}{B_i} \times EE_i = \sum_j^{\text{prédateurs}} B_i \times \frac{Q}{B_i} \times DC_{ij} + Y_i + BA_i + E_i$$

Avec :

|                |                                                                                              |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Indice $i$     | Compartiment du réseau trophique                                                             |
| Indice $j$     | Prédateurs du compartiment $i$                                                               |
| $B_i$          | Biomasse                                                                                     |
| $P/B_i$        | Productivité                                                                                 |
| $EE_i$         | Efficacité écotrophique (proportion de la production qui n'alimente pas la boîte détritique) |
| $Q/B_{ij}$     | Consommation relative du prédateur $j$                                                       |
| $DC_{ij}$      | Proportion de $i$ dans le régime alimentaire du prédateur $j$                                |
| $Y_i$          | Capture                                                                                      |
| $BA_i$         | Accumulation de biomasse                                                                     |
| $E_i$          | Migration nette                                                                              |
| $P_i*(1-EE_i)$ | Autres mortalités                                                                            |

### 2.1.3. Equation de consommation

C'est l'équation des flux entrants, elle indique comment est utilisée la consommation de chaque boîte :

**Consommation = Production hétérotrophe + Respiration + Nourriture non assimilée**

Cette équation s'écrit aussi sous la forme (Valls, 2009) :

$$Q_i = Ph_i + Resp_i + \frac{U}{Q_i} \times Q_i$$

Avec :

|        |                                                                                             |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Q$    | Consommation                                                                                |
| $Ph$   | Production hétérotrophe (quantité de biomasse produite non issue de la production primaire) |
| $Resp$ | Respiration                                                                                 |
| $U/Q$  | Rapport de l'alimentation non assimilée sur la consommation                                 |

$Ph$  s'écrit aussi :  $Ph = P \times (1 - PP)$

On obtient ainsi :

$$Resp_i = -\frac{P}{B_i} \times B_i \times (1 - PP_i) + \frac{Q}{B_i} \times B_i \times \left(1 - \frac{U}{Q_i}\right)$$

Une fois les compartiments définis, trois des quatre paramètres suivants doivent être entrés dans le modèle : la biomasse  $B$ , la productivité  $P/B$ , le taux de consommation  $Q/B$  et l'efficacité écotrophique  $EE$ . Le paramètre manquant est estimé par le modèle utilisant les deux équations énoncées ci-dessus. Le modèle nécessite également en entrée une matrice des régimes alimentaires et une estimation des captures.

## 2.2. Présentation d'EcoTroph

EcoTroph est un modèle récemment incorporé à la famille des modèles Ecopath (Gascuel, 2001 ; 2005 ; Gascuel et al., 2008 ; 2009). Il comprend deux outils, ET-Transpose et ET-Diagnosis, permettant d'analyser l'impact de la pêche en utilisant les sorties d'un modèle Ecopath.

### 2.2.1. L'outil ET-Transpose

Afin de construire un modèle EcoTroph, il est nécessaire d'utiliser des paramètres estimés ou entrés dans le modèle Ecopath : le niveau trophique moyen  $\tau_i$  de chaque groupe fonctionnel, sa biomasse  $B_i$ , sa productivité  $(P/B)_i$  et les captures  $Y_i$ . L'outil ET-Transpose permet de construire des spectres trophiques de biomasse, de production et de captures, en les redistribuant sur une plage de niveaux trophiques (Figure 3). Ces paramètres sont donc représentés graphiquement en fonction du niveau trophique. Ceci permet de modéliser les flux de biomasse entre les niveaux trophiques

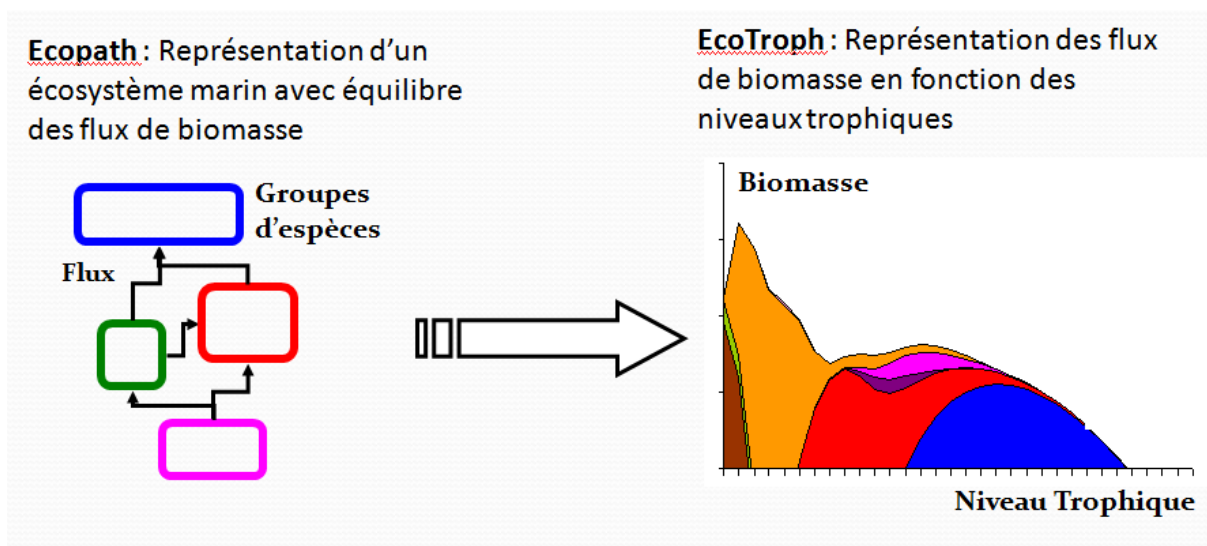


Figure 3 : Représentation schématique du principe d'EcoTroph (source personnelle)

Ces spectres permettent également de calculer des valeurs de vitesse de transit  $V\tau = P\tau/B\tau$ , de mortalité par pêche  $F\tau = Y\tau/B\tau$ , et de pertes par pêche  $\phi\tau = Y\tau/P\tau$  pour chaque classe trophique.

### 2.2.2. L'outil ET-Diagnosis

L'outil ET-Diagnosis est utilisé pour simuler l'effet de différents scénarii de gestion sur les spectres trophiques issus de l'outil ET-Transpose. Pour cela, plusieurs multiplicateurs d'effort mF allant de 0 à 5 sont appliqués à la mortalité par pêche  $F\tau$  initiale. Un mF de 0 correspond à un arrêt de la pêche. Il est nécessaire de renseigner un paramètre d'accessibilité de la biomasse  $B$  pour chaque groupe trophique, défini comme la proportion de la biomasse qui est accessible par la pêche. Ce paramètre est fixé à 0.8 pour tous les groupes pêchés dans notre présente étude. En effet, une partie du bolong est une zone de mangrove, qui constitue un abri non atteignable par les pêcheurs. Ainsi une partie de la biomasse n'est pas accessible à la pêche.

Des équations de flux permettent de calculer pour chaque mF les biomasses  $B\tau$ , les productions  $P\tau$  et les captures  $Y\tau$  obtenues à l'équilibre. On obtient ainsi des spectres trophiques représentant la situation à l'équilibre pour chaque mF. Cette démarche nécessite de renseigner plusieurs paramètres nécessaires aux équations de flux, dont le paramètre de contrôle Top-Down sur lequel nous faisons une analyse de sensibilité.

## 3. Construction d'une série d'indices d'abondance par approche delta

Cette méthode est utilisée pour analyser l'évolution de l'abondance des différents groupes trophiques au cours de la période 2003/2009 (avant/après mise en réserve), et identifier les éventuels effets de l'AMP. Les séries obtenues ont aussi été utilisées pour tester l'ajustement d'un modèle Ecosim (passage en dynamique d'un modèle Ecopath) qui s'est finalement révélé peu fructueux.

### 3.1. Principe de l'approche delta

L'approche delta est une méthode statistique permettant de traiter les jeux de données comprenant beaucoup de zéros, « zero-inflated data » (Stefansson, 1996). C'est notre cas pour les données de capture pour lesquelles les groupes ne sont pas capturés à chaque coup de pêche et ceux malgré des regroupements d'espèces. Dans cette situation, la mise en place d'un modèle GLM, avec une distribution normale du log des captures pour calculer des indices d'abondance, est faussée par les zéros. En outre, la déviance expliquée par les variables choisies est alors faible.

L'approche delta a l'avantage de coupler une distribution binomiale pour la présence/absence avec la distribution normale du log des captures positives. Cette approche nécessite de mettre en œuvre deux modèles GLM, l'un pour les valeurs présence/absence (0 pour absence, 1 pour présence) et l'autre pour les valeurs positives (in Le Pape et al, 2003). Les captures peuvent être assimilées à des CPUE puisque un coup de senne est une unité d'effort stable.

- Modèle binomial pour la présence/absence :

$$CPUE_{0/1} \sim \Sigma Effets + \varepsilon_{0/1}$$

$\varepsilon_{0/1}$  représente les résidus, leur distribution est supposée binomiale.

Par la suite, nous utilisons la fonction de lien logit pour calculer la probabilité des valeurs positives. Cette fonction permet la transformation suivante :  $\theta \in [0,1] \rightarrow \text{logit}(\theta) \in [-\infty, +\infty]$ .

Ceci permet d'obtenir des valeurs pour les probabilités de présence comprises entre 0 et 1. Ainsi :

$$\text{Logit}(IA_{0/1}) = \Sigma \mu Effets$$

Puis nous pouvons obtenir  $IA_{0/1}$  en utilisant la fonction de lien. Une valeur est calculée pour chaque croisement de variables explicatives.

- Modèle Gaussien pour les valeurs positives

Une première étape est de vérifier que les données correspondent bien à une loi lognormale. Le logarithme des  $CPUE$  est la variable expliquée d'un modèle GLM avec une distribution gaussienne et la fonction de lien identité. Ainsi :

$$\text{Ln}(CPUE_{+}) \sim \Sigma Effets + \varepsilon_{+}$$

$\varepsilon_{+}$  représente les résidus, leur distribution est supposée normale.

Pour calculer les indices d'abondance positive, nous procédons pareillement qu'avec le modèle binomial mais avec la fonction de lien identité. Dans le cas d'une distribution lognormale, la moyenne n'est pas égale à la valeur la plus probable comme c'est le cas pour une loi normale :  $E(\exp(X)) \neq \exp(E(X))$ . Nous appliquons donc la correction de Laurent permettant de calculer la moyenne d'une loi lognormale sachant la moyenne et la variance de la loi normale ayant servi à la construire (Laurent, 1963) :

Soit  $X \sim N(E(X), s)$  et  $Y = \exp(X)$ , alors  $E(Y) = \exp(E(X) + 0.5 * s^2)$

D'où :

$$IA_{i+} = \exp(\ln(IA_{i+}) + 0.5 * \sigma^2)$$

- Couplage des deux modèles

L'indice d'abondance final  $IA$  est la combinaison des deux modèles précédents, le produit d'une probabilité de présence et d'un indice d'abondance estimé pour les valeurs positives

$$IA = IA_{0/1} * IA_{+}$$

### 3.2. Choix des variables explicatives et mise en œuvre

Afin de mettre en œuvre l'approche delta de manière parcimonieuse, il faut sélectionner des variables explicatives rassemblant le plus d'information possible. Plusieurs choix s'offrent à nous, les variables abiotiques et les facteurs Année, Saison et Station.

Tout d'abord, nous vérifions la corrélation entre les variables abiotiques, notamment entre les mesures de surface et de fond. Puis nous vérifions la redondance de l'information des variables grâce à des modèles linéaires simples entre les variables abiotiques et les facteurs Année, Saison et Station. Ces modèles ont été mis en place pour la salinité, la température, l'oxygène et la turbidité.

Une telle approche permet de sélectionner les facteurs retenus dans l'approche delta. Dans notre cas, trois facteurs sont sélectionnés : l'année, la saison et le secteur (Tableau 1). Le secteur correspond à un rassemblement de stations possédant les mêmes caractéristiques physiques. Trois secteurs sont définis et nous vérifions que l'information contenue dans la variable station est bien contenue dans la variable secteur (i.e. peu de différences significatives entre les stations d'un même secteur). Ceci permet de diminuer le nombre de degré de liberté imparti au modèle et d'améliorer la parcimonie. En effet, douze stations ont été collectées, et cette information est rassemblée dans un facteur secteur à trois modalités.

Nous obtenons au final un modèle avec potentiellement trois facteurs explicatifs (Tableau 1). La sélection des facteurs dans les modèles GLM est faite grâce à un stepAIC permettant de retenir les combinaisons de facteurs améliorant le critère D'Akaike du modèle. La significativité de ces facteurs est ensuite testée par une ANOVA et un test du Chi<sup>2</sup> (Annexe 1). Un indice d'abondance annuel est calculé à partir des indices par saison et par secteur. Il s'exprime comme la moyenne de ces indices, pondérée par la surface des secteurs et la durée des saisons.

Enfin, pour obtenir une estimation de l'abondance brute (en tonnes) sur tout le Bamboung, on multiplie les prédictions obtenues par un rapport de surface :  $S_{Bamboung}/S_{senne}$ . On prend aussi en compte la capturabilité des groupes d'espèces. Sur la base de la biologie des espèces et de leur répartition bathymétrique, et en s'appuyant sur les dires d'experts (Tito de Morais, comm. pers.), la capturabilité est conventionnellement fixée à 0.5, mais est différente pour les groupes Machôirons (0.7), Petit capitaine (0.4), Gerres (0.3), Mulets (0.4) et Sole-langue (0.2). Ces valeurs seront discutées plus loin.

Tableau 1 : Liste des effets et de leurs modalités testés dans l'approche delta

| Effets  | Modalités                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Année   | De 2003 à 2009, sept années sont prises en compte                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Saison  | Pour chaque année, le facteur a trois modalités correspondant à l'alternance des trois saisons :<br>-Saison 1 : saison sèche fraîche, dure 5 mois (durée=5/12 an)<br>-Saison 2 : saison sèche chaude, dure 3 mois (durée=0.25 an)<br>-Saison 3 : saison des pluies, dure 4 mois (durée=1/3 an)                            |
| Secteur | Pour chaque année, le facteur a trois modalités :<br>-Secteur 1 : Stations 8, 9, 10, 11, 12 (surface du secteur 1 : $S_1=0.503*S_{Bamboung}$ )<br>-Secteur 2 : Stations 3, 4, 5, 6, 7 (surface du secteur 2 : $S_2=0.341*S_{Bamboung}$ )<br>-Secteur 3 : Stations 1, 2 (surface du secteur 3 : $S_3=0.156*S_{Bamboung}$ ) |

#### 4. Construction du modèle Ecopath de référence (2003)

2003 correspond à la dernière année où la pêche est présente dans le bolong. Il est intéressant de considérer ce modèle comme référence pour pouvoir, par la suite, faire des modélisations dynamiques pour reconstituer les évolutions de la période 2003/2009. Le modèle est construit sur la version 5 du logiciel Ecopath en prenant comme unité d'énergie le poids humide en tonnes par km<sup>2</sup> (t/km<sup>2</sup>). Le pas de temps utilisé est l'année. Par hypothèse, nous considérons notre système comme fermé (ou fonctionnant avec des imports égaux aux exports, ce qui revient au même). En effet nous ne possédons pas de données sur les flux entre le Bamboung et l'extérieur. Même si cette hypothèse est peu réaliste (un peu plus réaliste dans la période pré-AMP), un tel modèle est déjà informatif et permet, dans un second temps, d'analyser les exports et imports.

##### 4.1. Construction des groupes trophiques

L'un des objectifs de la présente étude est de prendre en compte l'ensemble de l'écosystème dans la modélisation. Il est donc important de considérer l'ensemble des espèces intervenant dans le réseau trophique, du détritus jusqu'au grand prédateur. C'est pourquoi il faut tout d'abord établir une liste de ces espèces et de leurs caractéristiques.

##### 4.1.1. Liste de références des espèces

La liste des espèces capturées dans le Bamboung est extraite de la base de données des pêches expérimentales. 83 espèces de poissons sont recensées dans le Bamboung (Annexe2). Les captures comportent également des crevettes, des crabes, des seiches, des mollusques mais en occurrence beaucoup plus faible. En effet, la maille de 14mm ne permet pas de capturer de manière efficace les petits poissons et les invertébrés. De plus, les informations sur le benthos sont faibles. De ce fait, les données utilisées pour ces compartiments proviennent d'un modèle Ecopath fait sur l'ensemble du Sine-Saloum (Villanueva, 2004).

Concernant le plancton, aucune campagne de mesure n'a été effectuée dans le Bamboung. Nous utilisons donc également les informations présentes dans la littérature spécifique au Sine-Saloum (Villanueva, 2004 ; Diouf, 1996). Enfin un groupe oiseaux est construit à partir d'observations ornithologiques faites sur le Saloum.

##### 4.1.2. Paramètres pris en compte dans la construction des groupes

Plusieurs paramètres sont pris en compte dans la construction des groupes trophiques de poissons : la catégorie écologique (Albaret, 1999), la catégorie trophique (base données Pechexp, Simer et al, 2003), la taille maximale  $L_{max}$  issue de Fishbase (Froese & Pauly, Fishbase, 2009), la taille asymptotique  $L_{\infty}$  calculée à partir de la taille maximale observée dans le Bamboung et le niveau trophique issu de Fishbase (Froese & Binohlan, 2000) (Annexe 2). Les catégories trophiques et écologiques sont issues de travaux antérieurs faits sur le Sine-Saloum et d'autres estuaires Ouest-africains. La catégorie écologique prend en compte le degré d'euryhalinité des espèces ainsi que leur cycle bio-écologique et leur abondance. Le but étant de rassembler des

espèces possédant les mêmes caractéristiques trophiques, le niveau trophique et la catégorie trophique permettent d'effectuer un premier tri, affiné ensuite par la prise en compte des tailles asymptotiques et des catégories écologiques.

Au final, 21 groupes trophiques de poissons sont identifiés. Deux groupes dauphins et oiseaux sont également construits. Les groupes d'invertébrés (allant des crevettes aux détritus) sont repris de modèles Ecopath relatifs à l'ensemble du Saloum (Vignot, 2007 ; Villanueva, 2004) (Annexe 2).

#### 4.2. Détermination des paramètres d'entrée

Pour chaque groupe trophique, il faut déterminer trois paramètres d'entrée parmi les quatre suivants : la biomasse B, le rapport production sur biomasse P/B, le rapport consommation sur biomasse Q/B et l'efficacité écotrophique EE.

##### - Biomasse :

Le paramètre Biomasse B provient de l'estimation des séries d'abondance par approche delta (exprimée en t/km<sup>2</sup>). Il est disponible pour 19 groupes de poissons sur 21. En effet, les captures de petits benthophages sont trop faibles pour pouvoir en tirer une estimation solide. Par ailleurs, concernant le groupe Requins, la biomasse est rentrée avec une valeur non calculée mais définie de manière experte. En effet, le modèle nécessite d'être renseigné concernant les biomasses pour les hauts niveaux trophiques. Si aucune biomasse n'est renseignée, Ecopath peut les calculer mais cela conduit souvent à des erreurs. C'est pourquoi nous avons choisi d'entrer une valeur de 0.004t/km<sup>2</sup> ce qui correspond à un gros requin dans le Bamboung à l'année ou deux requins moyens.

La biomasse des oiseaux est également estimée à partir d'un dénombrement fait sur le fleuve Sénégal (Triplet et al., 1995), d'une liste d'espèces observées dans le Sine-Saloum (Reynaud, comm. pers.) et de poids moyens issus de travaux faits sur la Guinée (Gascuel et al, 2009). Même si cette méthode rassemble des données non issues du Saloum, elle permet de fixer un ordre de grandeur réaliste pour ce groupe oiseaux et améliore donc le modèle.

##### - Détermination des ratios P/B et Q/B :

En situation d'équilibre, le ratio P/B est égal à la mortalité totale Z (Allen, 1971). On peut donc calculer P/B par la méthode suivante :  $P/B = Z = F + M$  avec F la mortalité par pêche et M la mortalité naturelle.

Le calcul de la mortalité par pêche se fait à partir des captures Y et de la biomasse B :  $F = Y/B$ . Le calcul de la mortalité naturelle se fait espèce par espèce à partir de deux relations empiriques : l'équation de Gascuel (2008) et celle de Hoenig (1983). La première utilise le niveau trophique et le paramètre de croissance K, qui sont ici issus des modèles disponibles sur le Sine-Saloum (Villanueva, 2004 ; Vignot, 2007). La seconde prend uniquement en compte les paramètres de croissance issus de Fishbase (Froese & Pauly, Fishbase, 2009). Elle n'est utilisée que lorsque les données requises par la première équation ne sont pas disponibles (Annexe 3). A partir des estimations par espèce, on calcule une moyenne pondérée par les biomasses totales au sein du groupe. Ceci permet d'obtenir un M global pour chaque groupe de poissons. On ajoute à

ce calcul la mortalité par pêche qui fait l'objet de plusieurs scénarii comme nous le verrons après. On obtient ainsi le rapport P/B utilisé dans le modèle.

Le ratio Q/B est lui issu d'une seule relation empirique (Palomares & Pauly, 1998). On procède de la même manière que pour la mortalité naturelle concernant le choix des données et la moyenne pondérée.

- Détermination des efficacités écotrophiques :

Le plus souvent, c'est ce paramètre qui n'est pas renseigné pour les groupes de poissons. Son estimation par le modèle est informative de la qualité du modèle (repère d'anomalie) ainsi que de la place du compartiment dans l'écosystème. Par contre, pour les groupes d'invertébrés et pour les petits benthophages, la valeur de ce paramètre est rentrée aux côtés des ratios P/B et Q/B. Elle est reprise de travaux antérieurs (Villanueva, 2004 ; Vignot, 2007). Pour le groupe Dauphins, on utilise également l'efficacité écotrophique issu de travaux faits sur le plateau continental guinéen (Gascuel et al., 2009).

L'ensemble des paramètres rentrés dans le modèle de référence 2003 est présenté en Annexe 4.

#### 4.3. Matrice des régimes alimentaires

Pour pouvoir établir les relations trophiques au sein de l'écosystème, il faut établir une matrice des régimes alimentaires. Les données nécessaires sont issues des analyses de contenus stomacaux. Nous utilisons ici des données issus d'études antérieures sur le Sine-Saloum (Albaret & Desfossez, 1988 ; Albaret & Legendre, 1985 ; Longhurst, 1957 ; Pauly et al., 2002 ; Rabarison-Andriamirado & Caveriviere, 1989 ; Sene, 1997 ; Sylla, 2006 ; Thiaw, 2005). De plus, des matrices ont déjà été estimées dans les modèles Ecopath développés sur la zone (Villanueva, 2004 ; Vignot, 2007). Lorsque ces données ne suffisent pas, des recherches sont faites sur le site fishbase.org (Froese & Pauly, Fishbase, 2009). Si des compositions alimentaires sont disponibles pour différentes espèces d'un même groupe, alors un régime alimentaire moyen est calculé avec une pondération par l'importance de la biomasse de chaque espèce au sein du groupe.

Pour le groupe oiseaux, un régime alimentaire moyen a été calculé pour chaque catégorie trophique (piscivore, limnicole...). Ensuite un régime alimentaire moyen pour tout le groupe est calculé en pondérant par l'importance de ces catégories trophiques au sein du peuplement d'oiseaux.

Le résultat est une matrice couvrant tous les groupes trophiques consommateurs (Annexe 5).

#### 4.4. Scénarii de captures

2003 est la dernière année où la pêche est autorisée au sein du bolong de Bamboung. Il faut donc inclure dans le modèle des données de capture pour refléter correctement l'écosystème de cette année. Aucune enquête sur les débarquements de pêche n'a été effectuée précisément sur le Bamboung. Des données sont disponibles d'après les modèles Sine-Saloum antérieurs (Villanueva, 2004 ; Vignot, 2007). Ces données proviennent des pêches expérimentales (Simier et al, 2003) desquelles ont été extraites des biomasses auxquelles ont été fixé un F. Nous avons défini



un premier scénario de pêche sous ‘hypothèse de capture Y (en t/km<sup>2</sup>/an) dans le bolong de Bamboung identiques à celles antérieurement estimées pour l’ensemble du Sine-Saloum. Ce scénario s’est révélé non satisfaisant, avec des F trop élevés ou trop faibles. Deux autres hypothèses de capture ont donc été définies. Dans un premier cas, nous fixons pour tous les groupes pêchés une mortalité par pêche de 0.1 ; dans un deuxième cas, une mortalité par pêche de 0.25. Ceci correspond à des hypothèses de taux d’exploitation respectivement faible et moyenne à forte. La zone étant à l’origine peu pêchée au dire des experts, il nous semble logique de considérer le F égal à 0.1 comme hypothèse de référence. Enfin un dernier scénario est mis en place à partir de données de débarquement récoltées pour un bolong pêché, le Sokone. Ce scénario semble meilleur que celui issu des pêches expérimentales, les valeurs de F étant moins variables et grandes. (Tableau 2).

Tableau 2 : Présentation des différentes hypothèses de capture

| Groupes             | Hypothèses de capture |      |        |      |           |      |           |      |
|---------------------|-----------------------|------|--------|------|-----------|------|-----------|------|
|                     | F=0.1                 |      | F=0.25 |      | Y=Ysaloum |      | Y=Ysokone |      |
|                     | Y                     | F    | Y      | F    | Y         | F    | Y         | F    |
| Requin              | 0.0004                | 0.10 | 0.001  | 0.25 | 0.000     | 0.00 | 0.001     | 0.24 |
| Dauphins            | 0                     | 0    | 0      |      | 0         | 0    | 0         | 0    |
| Oiseaux             | 0                     | 0    | 0      |      | 0         | 0    | 0         | 0    |
| Raies               | 0.096                 | 0.10 | 0.240  | 0.25 | 0.007     | 0.01 | 0.213     | 0.22 |
| Otolithes           | 0.126                 | 0.10 | 0.316  | 0.25 | 0.132     | 0.10 | 0.042     | 0.03 |
| Barracudas          | 0.187                 | 0.10 | 0.468  | 0.25 | 0.041     | 0.02 | 0.078     | 0.04 |
| Grand capitaine     | 0.277                 | 0.10 | 0.692  | 0.25 | 0.002     | 0.00 | 0.257     | 0.09 |
| Vivaneaux           | 0.076                 | 0.10 | 0.190  | 0.25 | 0.004     | 0.01 | 0.226     | 0.30 |
| Tetrodon            | 0.122                 | 0.10 | 0.305  | 0.25 | 0.109     | 0.09 | 1.025     | 0.84 |
| Diagramme           | 0.124                 | 0.10 | 0.310  | 0.25 | 1.050     | 0.85 | 0.380     | 0.31 |
| Pompaneau           | 0.079                 | 0.10 | 0.196  | 0.25 | 0.073     | 0.09 | 0.332     | 0.42 |
| Carangues           | 0.075                 | 0.10 | 0.188  | 0.25 | 0.196     | 0.26 | 0.005     | 0.01 |
| Machoirons marins   | 0.701                 | 0.10 | 1.753  | 0.25 | 0.201     | 0.03 | 2.084     | 0.30 |
| Elops               | 0.129                 | 0.10 | 0.322  | 0.25 | 0.048     | 0.04 | 0.228     | 0.18 |
| Breton africain     | 0.066                 | 0.10 | 0.164  | 0.25 | 0.007     | 0.01 | 0.036     | 0.06 |
| Sole-langue         | 0.080                 | 0.10 | 0.201  | 0.25 | 0.017     | 0.02 | 0.132     | 0.16 |
| Sardinelle          | 0.449                 | 0.10 | 1.121  | 0.25 | 3.180     | 0.71 | 0.523     | 0.12 |
| Gerres              | 0.335                 | 0.10 | 0.838  | 0.25 | 0.067     | 0.02 | 1.704     | 0.51 |
| Ethmalose           | 2.475                 | 0.10 | 6.187  | 0.25 | 0.922     | 0.04 | 2.540     | 0.10 |
| Mulets              | 1.608                 | 0.10 | 4.020  | 0.25 | 0.092     | 0.01 | 1.225     | 0.08 |
| Pomadasys           | 0.188                 | 0.10 | 0.471  | 0.25 | 0.171     | 0.09 | 0.187     | 0.10 |
| Tilapias            | 0.200                 | 0.10 | 0.500  | 0.25 | 1.300     | 0.65 | 0.500     | 0.25 |
| Petits benthophages | 0                     | 0    | 0      | 0    | 0         | 0    | 0         | 0    |
| Crevettes           | 1.562                 | 0.10 | 3.905  | 0.25 | 1.050     | 0.07 | 1.050     | 0.07 |
| Crabes              | 0                     | 0    | 0      | 0    | 0         | 0    | 0         | 0    |
| Macrobenthos        | 0                     | 0    | 0      | 0    | 0         | 0    | 0         | 0    |
| Meiobenthos         | 0                     | 0    | 0      | 0    | 0         | 0    | 0         | 0    |
| Zooplancton         | 0                     | 0    | 0      | 0    | 0         | 0    | 0         | 0    |
| Phytoplancton       | 0                     | 0    | 0      | 0    | 0         | 0    | 0         | 0    |
| Microphytobenthos   | 0                     | 0    | 0      | 0    | 0         | 0    | 0         | 0    |
| Detritus            | 0                     | 0    | 0      | 0    | 0         | 0    | 0         | 0    |

#### 4.5. Equilibrage du modèle Ecopath

Le modèle nécessite souvent des ajustements, la prédation étant trop forte sur certaines espèces, ou au contraire trop faible. Ces ajustements sont de deux ordres dans notre cas :

- Correction de la matrice des régimes alimentaires :

Ces corrections sont nécessaires car les biomasses et leurs rapports entre elles sont différents de ceux observés dans le Sine-Saloum (Villanueva, 2004). Ainsi le régime alimentaire d'un prédateur est aussi fonction de l'abondance de ses proies. Le Bamboung est en 2003 riche en Clupéidés et au contraire les Tilapias sont plutôt rares. Or au sein du modèle Saloum, les Tilapias sont très abondants et les Clupéidés un peu moins. Ces différences, ainsi que d'autres non détaillées ici, conditionnent des changements au sein de la matrice des régimes alimentaires. Ces changements respectent une logique biologique.

- Correction de la capturabilité :

Par défaut, la capturabilité des poissons par la senne est de 0.5. Or cette valeur est différente pour certaines espèces qui ont des comportements facilitant ou empêchant la capture par cet engin de pêche. Par exemple, les mullets peuvent s'échapper massivement en sautant par-dessus le filet. C'est pourquoi certaines capturabilités sont corrigées dans le modèle comme nous l'avons vu dans le paragraphe 3.2. Ces corrections permettent d'augmenter ou diminuer la biomasse d'un groupe et ainsi, de mieux refléter la composition de l'écosystème. Ceci permet donc de diminuer ou accroître des relations de prédateurs et ainsi d'équilibrer le modèle.

Toutes ces étapes permettent de mettre en place différents modèles de référence 2003, chacun défini par une hypothèse de capture. C'est à partir de ces modèles que nous mettons en place des simulations pour analyser l'impact de la mise en place de l'AMP à partir de 2004.

### 5. Modèles dérivés et simulation

#### 5-1. Modèle Ecopath 2008

Une des premières étapes de simulations est de construire des modèles dérivés du modèle 2003. Pour cela, nous choisissons de modéliser l'année 2008 correspondant à l'atteinte d'un état d'« équilibre » sans pêche. En effet, les tendances de 2009 sont à la diminution pour les hauts niveaux trophiques ce qui pourrait indiquer la reprise d'une pêche illicite. Le modèle a la même structure que le modèle 2003 : on conserve les groupes d'espèces, les paramètres d'entrée. La mortalité par la pêche est fixée à 0 (absence de pêche) et on a donc  $P/B=Z=M$ . De plus, on repart de la même matrice de base des régimes alimentaires que le modèle 2003. On conserve les mêmes capturabilités. La calibration est en revanche différente, puisque les biomasses ont évolué et les rapports  $P/B$  ont changé.

On obtient donc au final un modèle dérivé de chacun des modèles. Ces différents modèles peuvent être comparés entre eux en utilisant différents indices calculés par Ecopath, mais également avec les spectres trophiques de biomasse tirés d'Ecotroph.

#### 5-2. Modèle Sangako

Le Sangako est un bolong adjacent au bolong de Bamboung. Il est relativement similaire mais est pêché par les populations locales. Il est échantillonné depuis 2008, deux campagnes ont donc été réalisées. La démarche est la même que pour les modèles Bamboung 2007/2008, mais l'absence de certaines espèces et même certains groupes nous obligent à recalculer les mortalités naturelles. Les valeurs moyennes des paramètres P/B et Q/B de chaque groupe sont également recalculées, en tenant compte de l'abondance de chaque espèce au sein du groupe. La matrice des régimes alimentaire de base est reconstruite suivant la même méthode exposée dans le paragraphe 4-3. Les scénarii de capture appliqués à ce bolong sont les mêmes que ceux appliqués au modèle Bamboung 2003 :  $F=0.1$ ,  $F=0.25$ ,  $Y=Y_{\text{Saloum}}$ ,  $Y=Y_{\text{Sokone}}$ . Les biomasses entrées sont une moyenne des années 2008 et 2009. Le modèle est donc un modèle moyen du Sangako sur la période 2008/2009. Les biomasses des producteurs primaires et des faibles niveaux trophiques (Zooplankton, Meiobenthos, Macrobenthos) sont fixées et égales aux biomasses du modèle Bamboung 2003 avec la même hypothèse de capture.

On obtient donc au final quatre modèles dérivés du modèle 2003. Ces modèles peuvent être comparés entre eux en utilisant différents indices calculés par Ecopath mais également avec les spectres trophiques de biomasse tirés d'Ecotroph.

#### 5-3. Simulations Ecosim

A partir des différents modèles 2003, nous essayons d'ajuster un modèle dynamique Ecosim pour reconstituer les tendances observées des indices d'abondance. L'absence d'une longue série temporelle et les séries mêmes observées ne nous permettent pas d'ajuster le modèle. En effet, sur les vingt groupes de poissons pour lesquels l'approche delta est mise en œuvre, seuls huit montrent un effet année significatif. La démarche est donc mise en place pour ces seuls groupes, dont les séries temporelles ne montrent pas toujours des tendances simples d'augmentation ou diminution. L'ajustement du modèle Ecosim est donc peu satisfaisant et nous n'obtenons pas de résultats.

#### 5-4. Simulations EcoTroph

Ecotroph permet de simuler différents scénarii d'accroissement ou de diminution de la pression de pêche dont la suppression ( $mF=0$ ). Deux types de simulation Ecotroph sont ici conduits en utilisant l'outil ET-Diagnosis :

- Simulation Bamboung :

Les premières simulations mises en place ont pour objectif de recréer l'effet réserve sur le Bamboung. Ainsi, l'outil ET-Diagnosis est utilisé en appliquant aux différents modèles 2003 des multiplicateurs d'effort allant de 0 à 1. Les spectres obtenus sont comparés aux spectres issus des

ET-Transpose du modèle 2008. Cette comparaison se fait d'abord graphiquement puis en utilisant la somme des carrés des écarts relatifs. Ces simulations comparées au modèle 2008 (sans pêche) permettent de visualiser s'il y a un effet réserve, et si cet effet réserve est le même que celui simulé par Ecotroph.

- Simulation Sangako :

Deux types de simulation sont conduits en utilisant les données Sangako. La démarche est la même que dans les simulations Bamboung. Tout d'abord, l'outil ET-Diagnosis est utilisé pour appliquer aux modèles Bamboung 2003 différents multiplicateurs d'effort ( $mF > 1$  en particulier). Les spectres obtenus sont comparés aux spectres issus de l'ET-Transpose du modèle Sangako. Cette simulation a un objectif un peu différent qui est de juger de l'effet de la pêche sur l'écosystème.

Dans un deuxième temps, les différents modèles Sangako, définis par leur scénario de pêche, sont la base de la simulation. Différents  $mF$  leur sont appliqués (en particulier  $mF = 0$ ) et on compare les résultats avec les spectres issus du modèle Bamboung 2008. On veut encore une fois analyser l'effet réserve (Figure 4).

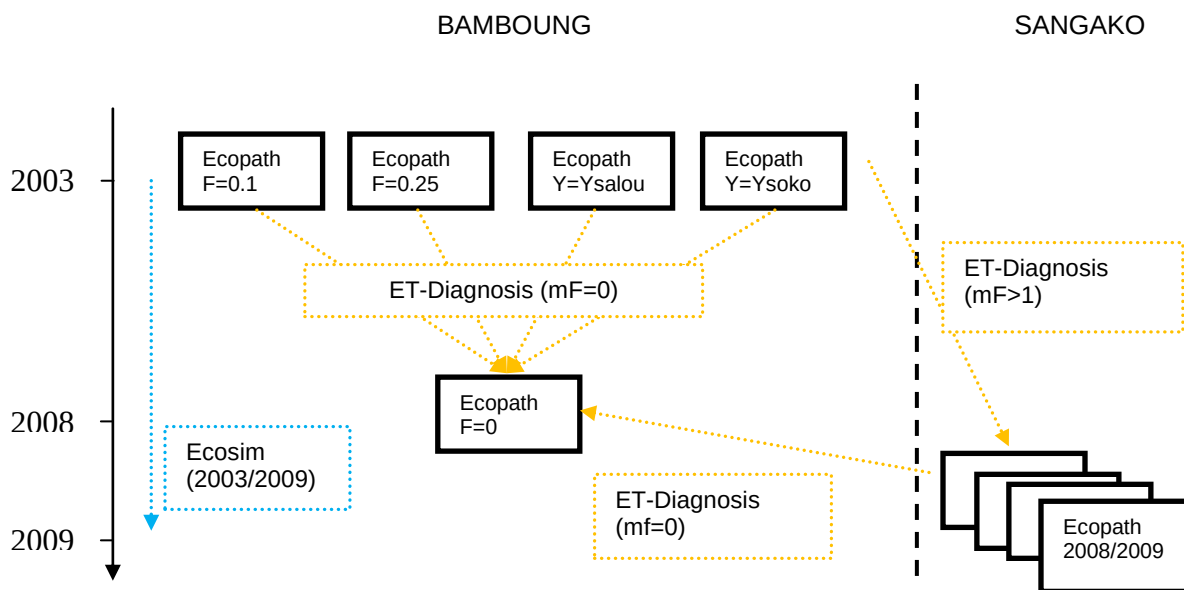


Figure 4 : Représentation schématique des différentes modélisations construites

### III. Résultats

#### 1. Evolution de l'abondance des différents groupes sur la période 2003/2009

##### 1-1. Effets des différents facteurs pris en compte dans le modèle delta

L'étude de la corrélation entre les variables de fond et de surface, que sont l'oxygène, la température et la salinité, confirme que les variables environnementales de fond sont fortement corrélées aux variables de surface, le coefficient de corrélation étant supérieur à 0.9 dans chaque cas. Cette étape permet par la suite de tester un seul type de variable.

Les résultats des modèles linéaires entre les variables environnementales de surface et les facteurs Année, Saison et Secteur, montrent que l'information environnementale est bien contenue dans les effets sélectionnés (Annexe 6). Autrement dit, et assez logiquement, les différences de salinité, température ou oxygène sont liées aux facteurs année, saison et secteur. Lorsque ces trois facteurs sont pris en compte, il n'y a plus d'effet statistique additionnel des variables de l'environnement sur l'abondance des différents groupes.

Le modèle delta à trois effets Année, Saison, Secteur est donc testé pour les dix-neuf groupes trophiques définis par le modèle Ecopath 2003 (Tableau 3). Sur ces dix-neuf groupes, huit montrent un effet significatif du facteur année. Cet effet induit des variations de biomasse au cours des ans. Les autres groupes ont donc une biomasse considérée comme constante. Ceci ne signifie pas forcément qu'elle l'est, mais notre modèle ne permet pas de détecter ses variations annuelles. Les variations saisonnières ou par secteur ont un effet significatif sur dix-sept groupes, ce qui montre l'influence de l'environnement sur les peuplements et leurs répartitions au cours d'une année (Annexe 1). Ceci est gommé dans le modèle Ecopath puisque nous construisons un modèle moyen sur l'année.

Tableau 3 : Résultats de la procédure delta pour trois groupes (en jaune sont indiqués les effets significatifs avec leurs p-values respectives en violet)

| Group      | Added variables | Binomial model              |                        |              | Added variables | Positive value model        |                        |              |
|------------|-----------------|-----------------------------|------------------------|--------------|-----------------|-----------------------------|------------------------|--------------|
|            |                 | Residual degrees of freedom | Explained deviance (%) | Significance |                 | Residual degrees of freedom | Explained deviance (%) | Significance |
| Arius      | Null            | 215                         |                        |              | Null            | 90                          |                        |              |
|            |                 |                             |                        |              |                 |                             |                        |              |
|            | Season          | 213                         | 5.22                   | 0.000        | Season          | 88                          | 11.67                  | 0.003        |
|            | Sector          | 211                         | 3.87                   | 0.003        | Sector          | non significant             |                        |              |
|            | Year            | non significant             |                        |              | Year            | non significant             |                        |              |
| Barracudas | Null            | 215                         |                        |              | Null            | 22                          |                        |              |
|            |                 |                             |                        |              |                 |                             |                        |              |
|            | Sector          | 213                         | 4.25                   | 0.044        | Sector          | 20                          | 24.16                  | 0.041        |
|            | Season          | non significant             |                        |              | Year            | non significant             |                        |              |
|            | Year            | non significant             |                        |              | Season          | non significant             |                        |              |
| Ethmalose  | Null            | 215                         |                        |              | Null            | 76                          |                        |              |
|            |                 |                             |                        |              |                 |                             |                        |              |
|            | Year            | 209                         | 9.72                   | 0.000        | Season          | 74                          | 11.06                  | 0.010        |
|            | Season          | 207                         | 6.11                   | 0.000        | Sector          | non significant             |                        |              |
|            | Sector          | non significant             |                        |              | Year            | non significant             |                        |              |

## 1-2. Estimation d'une série temporelle d'indices d'abondance

La sélection des effets significatifs permet de calculer des indices d'abondance en couplant le modèle binomial au modèle gaussien des valeurs positives (Figure 5). Ces résultats indiquent quelques tendances. Sur les huit groupes dont la biomasse varie de manière significative, cinq peuvent être considérés comme des proies, ayant un bas niveau trophique (Ethmalose, Sardinelle, Gerres, Mulets et Sole-langue). Leurs tendances sont identiques pour les 2-3 premières années : leur abondance diminue. Par la suite, les séries sont moins claires avec des augmentations et des diminutions. Au contraire, les trois autres groupes qui varient, peuvent être considérés comme des prédateurs (Otolithes, Vivaneaux, Pompaneau), et voient leurs biomasses augmenter durant les premières années et ensuite connaître des fluctuations. Ces résultats semblent indiquer une diminution des bas niveaux trophiques et une augmentation des hauts dans les deux/trois premières années qui suivent la mise en réserve. Les évolutions sont ensuite moins nettes. Les fluctuations importantes des séries ont été un frein à la mise en place de l'approche Ecosim, le modèle ayant du mal à ajuster une série sur ces données.

Enfin, l'effet année est significatif deux fois pour le modèle densité positive (Pompaneau et Vivaneaux, deux prédateurs), contre six pour le modèle Présence/Absence. Ceci indique que l'effet réserve impacterait la présence des proies et la biomasse globale des prédateurs (à part les Otolithes).

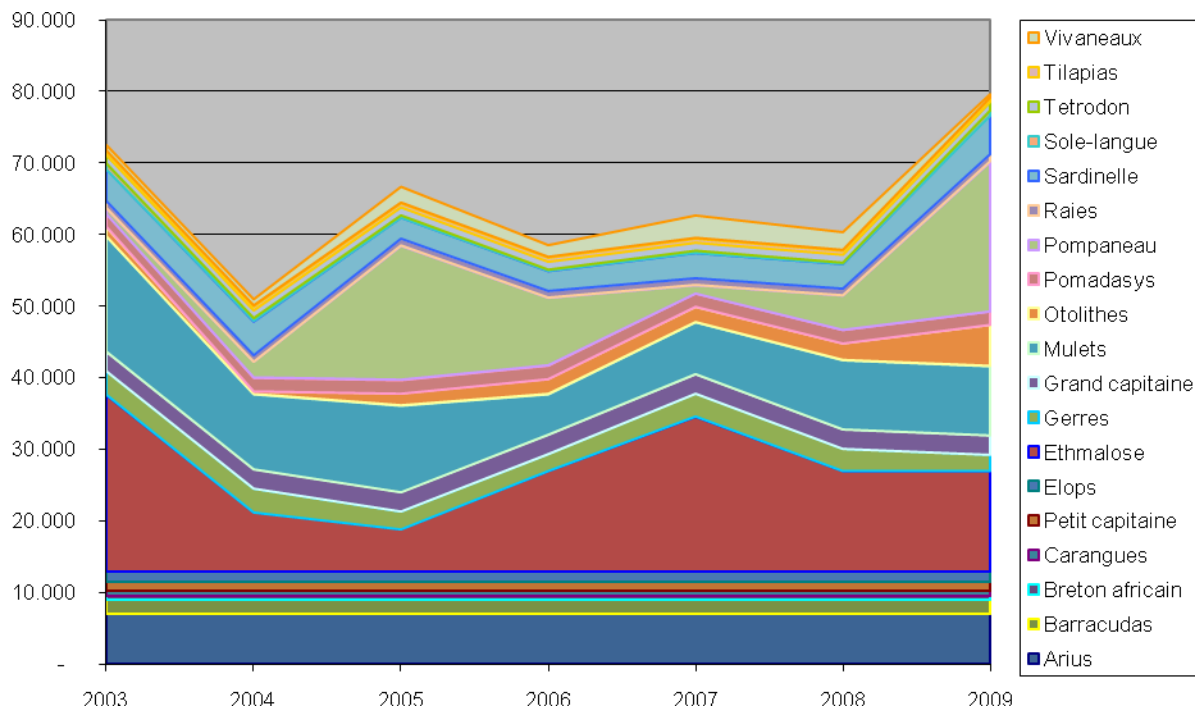


Figure 5 : Séries temporelles des indices d'abondance représentées en aires empilées

## 2. Fonctionnement trophique de l'écosystème : le modèle Ecopath 2003 de référence

### 2-1. Schéma général du fonctionnement du réseau trophique

A partir des relations et du niveau trophique de chaque groupe, on peut établir un schéma du réseau trophique du Bamboung (Figure 6).

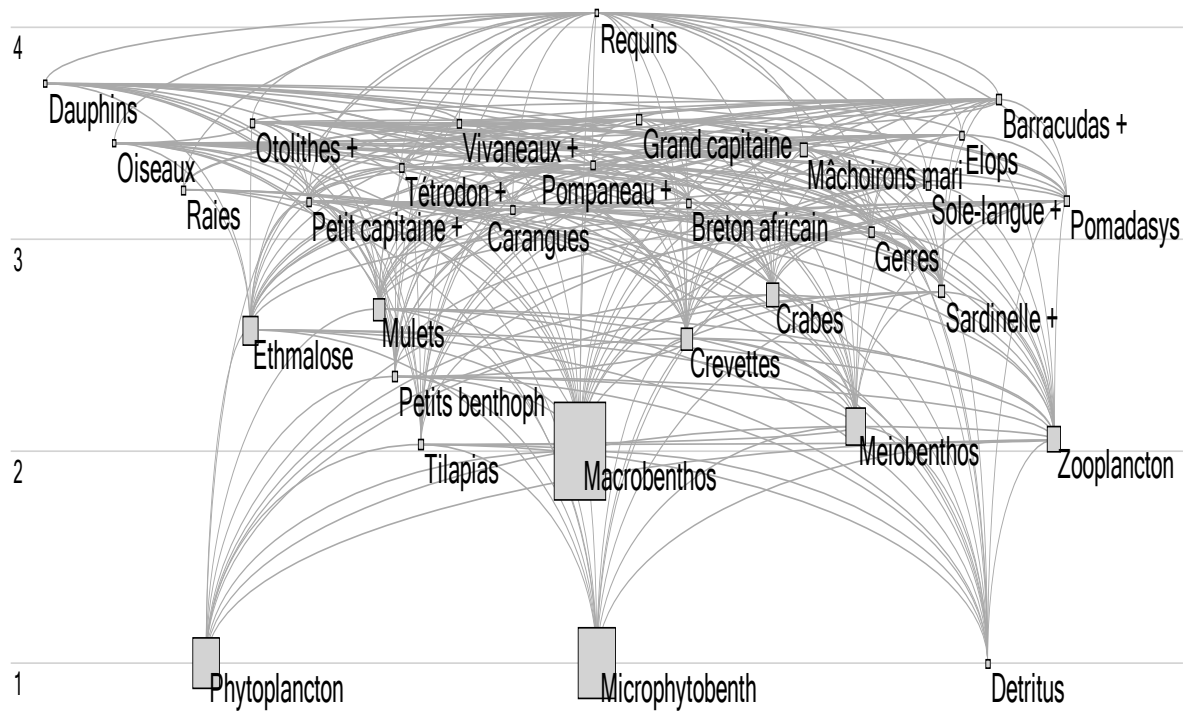


Figure 6 : Schéma du réseau trophique du Bamboung en 2003 (niveau trophique en ordonnée, taille des rectangles fonction de la biomasse)

Ce schéma donne une représentation visuelle et synthétique de l'écosystème. Les groupes de plus haut niveau trophique sont les Requins, les Dauphins et les Barracudas. En bas de la chaîne alimentaire, on trouve les producteurs primaires que sont le Phytoplancton et le Microphytobenthos. Certains groupes jouent une place prépondérante comme le macrobenthos qui est très consommé, ce qui est écologiquement logique. En effet, on se situe dans une zone de mangrove avec des eaux turbides et riches, des fonds vaseux. Le macrobenthos a donc une forte biomasse et est très disponible pour les groupes prédateurs. Il serait intéressant de vérifier ceci in situ.

## 2-2. Niveau trophique et indice d'omnivorie des différents groupes

Le niveau trophique  $\tau_i$  d'un groupe est une mesure de sa place dans le réseau trophique. Il est calculé à partir du niveau trophique de ses proies et de leur importance dans le régime alimentaire.

L'indice d'omnivorie IO est une mesure de la variabilité du niveau trophique des proies consommées par un groupe trophique (Figure 7). Il est calculé ainsi :

$$IO_j = \sum_i (\tau_i - (\tau_j - 1))^2 \times DC_{ij}$$

Avec  $\tau$  le niveau trophique du groupe proie  $i$  ou prédateur  $j$ ,  $DC_{ij}$  la fraction du groupe proie  $i$  dans le régime alimentaire de  $j$ .

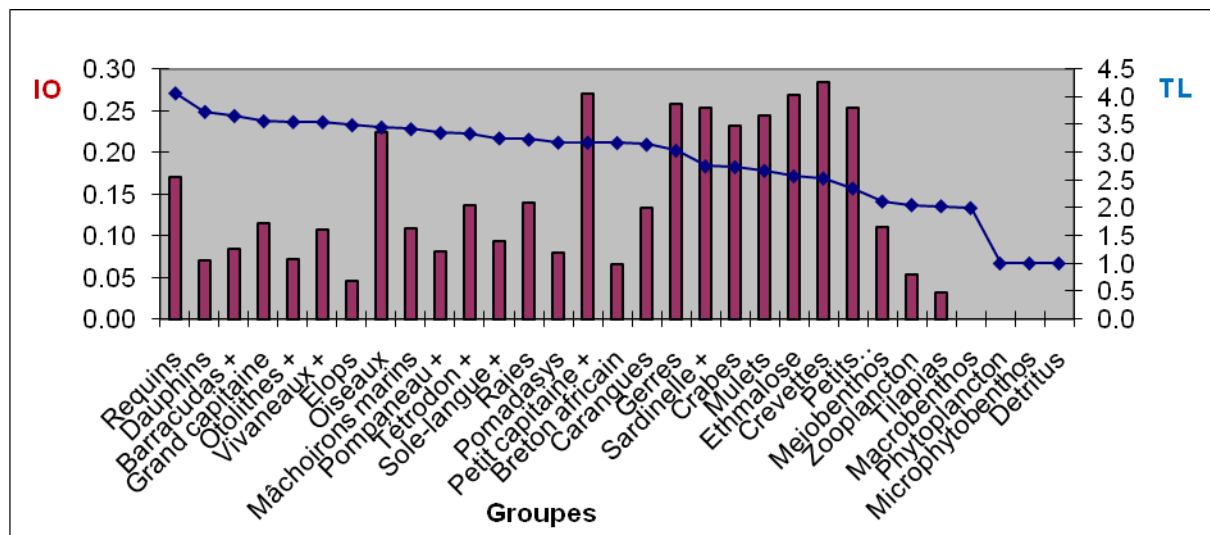


Figure 7 : Indice d'omnivorie IO et niveau trophique moyen par groupe trophique

L'indice d'omnivorie croît avec le niveau trophique jusqu'à une valeur d'environ 2.5, pour le groupe Crevettes. A partir de ce groupe, l'IO varie plus fortement et a tendance à être plus faible. Les gros prédateurs consomment donc des proies de niveau trophique proche alors que les proies potentielles ont-elles un régime alimentaire plus diversifié sur la base du niveau trophique. Ceci se traduit par un plus grand opportunisme trophique pour les plus faibles niveaux trophiques.

## 2-3. Indices écologiques des relations trophiques entre groupes, l'ITM

L'indice d'impact trophique mixte (ITM) mesure la variation de biomasse d'un groupe proie si la biomasse d'un groupe prédateur augmente d'une unité. Ceci est présenté sous forme d'histogramme avec les impactants en ligne et les impactés en colonne. Les valeurs peuvent être extraites pour visualiser l'impact de l'augmentation de la biomasse d'un groupe en particulier, par exemple ciblé par la pêche comme le groupe Barracudas (Figure 8).

Cette démarche permet de quantifier les réactions en chaîne, et ainsi de comprendre les évolutions possibles de l'écosystème. Dans le cas du Barracudas, on peut voir que celui-ci a des



impacts directs négatifs sur certaines espèces, mais aussi indirects par les liens trophiques avec d'autres groupes.

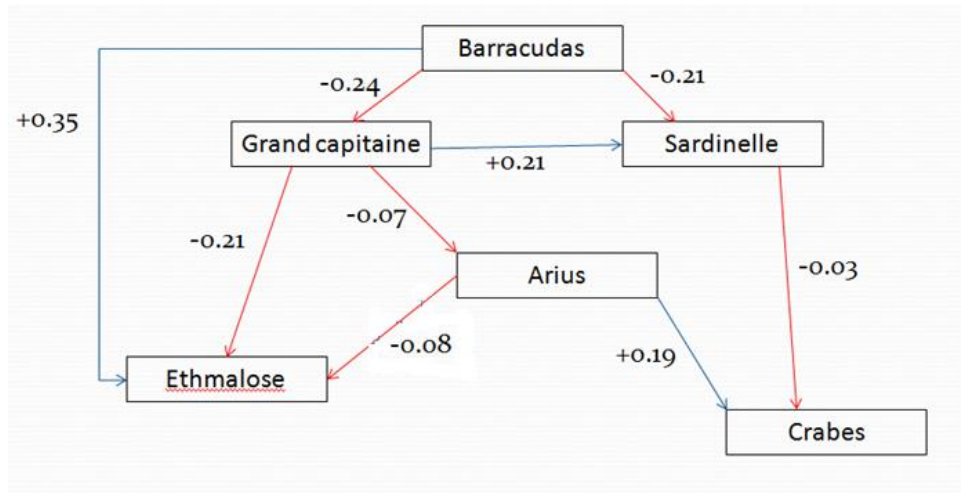


Figure 8 : Schéma représentant l'impact de l'augmentation de la biomasse de barracudas d'une unité sur une partie du réseau trophique, les valeurs sont égales à l'augmentation/la diminution de biomasse des groupes impactés (bleu : augmentation, rouge : diminution)

#### 2-4. Sensibilité du modèle aux hypothèses de capture

##### - Impact sur les spectres trophiques

Pour l'année 2003, quatre modèles Ecopath différant en termes d'hypothèse d'exploitation appliquée sont construits.

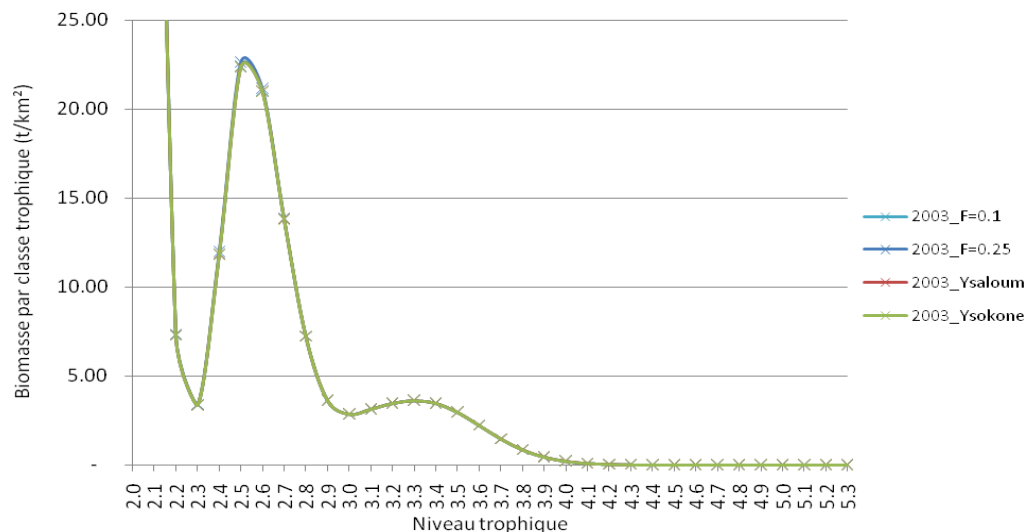


Figure 9 : Spectres de biomasse des différents modèles Ecopath 2003

Les spectres de biomasse correspondants (Figure 9) diffèrent très peu au contraire des spectres de capture (Annexe 7). Ceci est cohérent avec les principes de construction du modèle. Changer l'estimation des captures conduit à modifier les ratios P/B des groupes correspondant. En revanche pour tous les groupes poissons, le modèle reste calé sur les estimations de biomasse issues de l'approche delta. De même, les ratios Q/B restent inchangés. Par suite, la prédation exercée sur les groupes inférieures (Macrobenthos...) n'est pas modifiée par l'estimation des captures, et l'abondance de ces groupes est donc indépendante des hypothèses de capture.

En revanche, les modèles diffèrent en terme de spectre de production P, ce qui peut avoir des effets sur leur sensibilité à des changements de pression (Annexe 7). Très logiquement, si la situation de départ 2003 est différente par hypothèse, la sensibilité au changement sera différente. C'est un aspect sur lequel nous reviendrons à propos de l'évaluation de l'effet réserve.

#### - Impact sur les indices trophiques

Différents indices écologiques peuvent être déduits d'un modèle Ecopath équilibré. Ils permettent de renseigner et caractériser le rôle des différents groupes trophiques, leurs relations et l'état général de l'écosystème. L'analyse de ces indices permet de voir l'impact trophique général des différentes hypothèses de capture (Tableau 5) et est détaillée dans le paragraphe 3. Les quatre hypothèses n'ont pas de résultats très différents, les indices écologiques sont donc peut influencer par l'hypothèse de capture.

#### 2-5. Sorties du modèles Ecopath

Plusieurs paramètres laissés vides en entrée sont estimés par le modèle (cf. 2.1). Ces paramètres comprennent notamment les biomasses des groupes allant des petits benthophages aux détritus pour lesquels nous n'avons pas d'informations. Un niveau trophique est également calculé pour l'ensemble des groupes trophiques (Tableau 4).

L'outil ET-Transpose d'Ecotroph permet d'utiliser ces paramètres afin de représenter l'écosystème en spectre de biomasse.

Tableau 4 : Paramètres en entrée (en normal) et en sortie (en gras) du modèle Ecopath 2003 (F=0.1)

| Groupe            | TL   | B            | P/B   | Q/B   | EE          | P/Q         | F          | Y     |
|-------------------|------|--------------|-------|-------|-------------|-------------|------------|-------|
| Requins           | 4.07 | 0.004        | 0.224 | 4.99  | <b>0.47</b> | <b>0.05</b> | <b>0.1</b> | 0     |
| Dauphins          | 3.73 | <b>0.002</b> | 0.070 | 12.12 | 0.15        | <b>0.01</b> | <b>0</b>   | 0     |
| Oiseaux           | 3.45 | 0.002        | 0.500 | 79.50 | <b>0.00</b> | <b>0.01</b> | <b>0</b>   | 0     |
| Raies             | 3.23 | 0.960        | 0.543 | 7.98  | <b>0.24</b> | <b>0.07</b> | <b>0.1</b> | 0.096 |
| Otolithes +       | 3.55 | 1.260        | 0.590 | 7.12  | <b>0.39</b> | <b>0.08</b> | <b>0.1</b> | 0.126 |
| Barracudas +      | 3.65 | 1.870        | 0.474 | 7.61  | <b>0.22</b> | <b>0.06</b> | <b>0.1</b> | 0.187 |
| Grand capitaine   | 3.56 | 2.770        | 0.499 | 4.04  | <b>0.25</b> | <b>0.12</b> | <b>0.1</b> | 0.277 |
| Vivaneaux +       | 3.55 | 0.760        | 0.475 | 4.83  | <b>0.49</b> | <b>0.10</b> | <b>0.1</b> | 0.076 |
| Tétrodon +        | 3.34 | 1.220        | 0.436 | 6.15  | <b>0.79</b> | <b>0.07</b> | <b>0.1</b> | 0.122 |
| Petit capitaine + | 3.18 | 1.240        | 0.813 | 9.49  | <b>0.74</b> | <b>0.09</b> | <b>0.1</b> | 0.124 |
| Pompaneau +       | 3.35 | 0.790        | 0.488 | 6.41  | <b>0.57</b> | <b>0.08</b> | <b>0.1</b> | 0.079 |
| Carangues         | 3.14 | 0.750        | 0.832 | 20.31 | <b>0.34</b> | <b>0.04</b> | <b>0.1</b> | 0.075 |
| Mâchoirons marins | 3.42 | 7.010        | 0.414 | 9.73  | <b>0.54</b> | <b>0.04</b> | <b>0.1</b> | 0.701 |
| Elops             | 3.49 | 1.290        | 0.606 | 10.29 | <b>0.26</b> | <b>0.06</b> | <b>0.1</b> | 0.129 |

|                     |      |                |        |        |             |             |            |       |
|---------------------|------|----------------|--------|--------|-------------|-------------|------------|-------|
| Breton africain     | 3.17 | 0.660          | 1.129  | 18.27  | <b>0.55</b> | <b>0.06</b> | <b>0.1</b> | 0.066 |
| Sole-langue +       | 3.26 | 0.800          | 0.380  | 6.51   | <b>0.84</b> | <b>0.06</b> | <b>0.1</b> | 0.08  |
| Sardinelle +        | 2.75 | 4.490          | 0.948  | 18.10  | <b>0.93</b> | <b>0.05</b> | <b>0.1</b> | 0.449 |
| Gerres              | 3.03 | 3.350          | 0.716  | 13.64  | <b>0.92</b> | <b>0.05</b> | <b>0.1</b> | 0.335 |
| Ethmalose           | 2.57 | 24.750         | 0.798  | 28.98  | <b>0.91</b> | <b>0.03</b> | <b>0.1</b> | 2.475 |
| Mulets              | 2.67 | 16.080         | 0.503  | 26.22  | <b>0.69</b> | <b>0.02</b> | <b>0.1</b> | 1.608 |
| Pomadasys           | 3.18 | 1.880          | 0.635  | 9.94   | <b>0.72</b> | <b>0.06</b> | <b>0.1</b> | 0.188 |
| Tilapias            | 2.03 | 2.000          | 1.048  | 33.93  | <b>0.84</b> | <b>0.03</b> | <b>0.1</b> | 0.2   |
| Petits benthophages | 2.35 | <b>2.819</b>   | 2.500  | 19.89  | 0.54        | <b>0.13</b> | <b>0</b>   | 0     |
| Crevettes           | 2.53 | <b>15.620</b>  | 4.605  | 22.00  | 0.95        | <b>0.21</b> | <b>0.1</b> | 1.55  |
| Crabes              | 2.74 | <b>18.416</b>  | 2.50   | 8.50   | 0.80        | <b>0.29</b> | <b>0</b>   | 0     |
| Macrobenthos        | 2    | <b>309.410</b> | 1.200  | 10.00  | 0.95        | <b>0.12</b> | <b>0</b>   | 0     |
| Meiobenthos         | 2.12 | <b>39.756</b>  | 4.00   | 50.00  | 0.95        | <b>0.08</b> | <b>0</b>   | 0     |
| Zooplankton         | 2.05 | <b>21.080</b>  | 50.00  | 150.00 | 0.95        | <b>0.33</b> | <b>0</b>   | 0     |
| Phytoplankton       | 1    | <b>70.859</b>  | 138.00 | -      | 0.50        | -           | <b>0</b>   | 0     |
| Microphytobenthos   | 1    | <b>142.099</b> | 15.00  | -      | 0.50        | -           | <b>0</b>   | 0     |
| Detritus            | 1    | 1.000          | -      | -      | <b>0.34</b> | -           | <b>0</b>   | 0     |

### 3. Effet réserve sur les biomasses et les indices écologiques

#### 3-1. Evolution des spectres de biomasse avant/après mise en réserve

La comparaison des trois spectres issus des modèles Bamboung 2003 ( $F=0.1$ ), 2007 (modèle construit mais non détaillé ici) et 2008 met en évidence les évolutions ayant eu lieu dans la répartition de la biomasse par la mise en réserve (Figure 10).

Tout d'abord, la biomasse du niveau trophique 2 diminue de plus de 50t/km<sup>2</sup> entre 2003 et 2007/2008. Cette diminution peut être expliquée par la diminution de la biomasse des producteurs primaires ( $\tau = 0.1$ ) durant la même période. Cette baisse de production primaire est, soit un artéfact de modélisation, soit un vrai changement environnemental (une fluctuation) qui n'a rien à voir avec l'effet réserve.

On observe une baisse de la biomasse pour les niveaux trophiques autour de 2.5. Cette baisse est plus forte en 2008 qu'en 2007. Dans le même temps, la biomasse des niveaux trophiques supérieurs à 3 augmente au fil des ans. Ceci pourrait être le résultat d'un effet top-down avec une augmentation de biomasse des gros prédateurs liée à l'arrêt de la pêche, et la diminution de leurs proies, les poissons fourrages de plus faibles niveau trophique. Nous chercherons à valider cette hypothèse avec des simulations Ecotroph, afin de simuler l'évolution des spectres de biomasse des modèles 2003 selon différents multiplicateurs d'effort (cf. 4-1.)

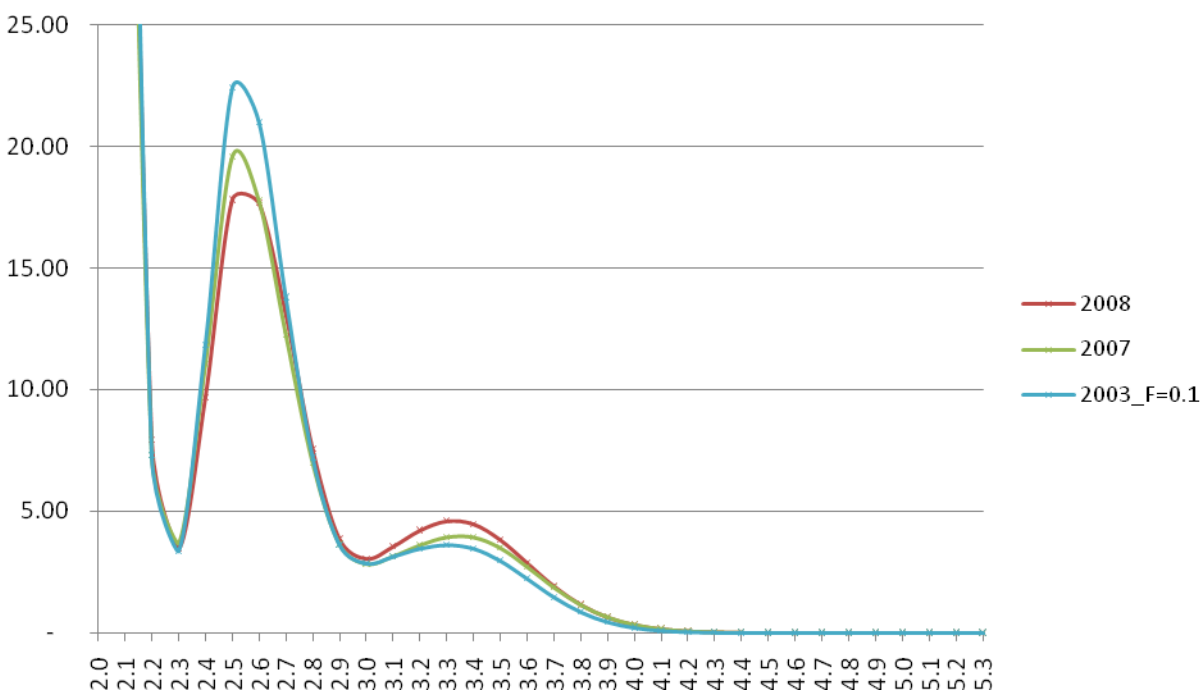


Figure 10 : Spectres de biomasse des modèles Bamboung 2003, 2007 et 2008

### 3-2. Evolution des indices écologiques de l'écosystème

Un grand nombre d'indices sont calculés à partir d'Ecopath pour les différents modèles de l'année 2003, et le modèle 2008 (Tableau 5).

Tableau 5 : Statistiques globales et indices écologiques des modèles Bamboung

|                                                            | 2003     |         |          |          | 2008     |
|------------------------------------------------------------|----------|---------|----------|----------|----------|
|                                                            | Y Saloum | F=0.1   | Y Sokone | F=0.25   | F=0      |
| Somme des consommations (t/km <sup>2</sup> /an)            | 10327.41 | 10336.7 | 10325.18 | 10390.98 | 8995.246 |
| Consommation par prédation au niveau trophique V           | 0.04     | 0.04    | 0.04     | 0.04     | 0.08     |
| Consommation par prédation au niveau trophique IV          | 2.55     | 2.51    | 2.51     | 2.51     | 3.68     |
| Consommation par prédation au niveau trophique III         | 68.7     | 68.6    | 68.5     | 68.7     | 76.7     |
| Consommation par prédation au niveau trophique II          | 1098.9   | 1100.0  | 1098.6   | 1106.9   | 931.1    |
| Consommation par prédation au niveau trophique I           | 5949.4   | 5955.0  | 5948.4   | 5987.9   | 4976.4   |
| Consommation par prédation                                 | 7119.5   | 7126.1  | 7118.1   | 7166.0   | 5988.0   |
| Somme des exportations (t/km <sup>2</sup> /an)             | 5393.1   | 5399.0  | 5396.8   | 5440.9   | 4291.6   |
| Transferts totaux (t/km <sup>2</sup> /an)                  | 30347    | 30376   | 30342    | 30535    | 25817    |
| Production primaire nette calculée (t/km <sup>2</sup> /an) | 11898.7  | 11910.0 | 11896.8  | 11972.2  | 9952.9   |
| Production nette du système (t/km <sup>2</sup> /an)        | 5393.1   | 5399.0  | 5396.7   | 5440.9   | 4291.6   |
| Production primaire/Biomasse totale                        | 17.2     | 17.2    | 17.2     | 17.2     | 16.7     |
| Biomasse totale sans les détritits (t/km <sup>2</sup> )    | 693.7    | 694.0   | 693.6    | 696.1    | 594.4    |
| Indice de connectance                                      | 0.33     | 0.33    | 0.33     | 0.33     | 0.34     |
| Indice d'omnivorie                                         | 0.145    | 0.144   | 0.144    | 0.144    | 0.148    |
| Ascendance (% de la capacité)                              | 25.02    | 25.00   | 25.00    | 24.92    | 24.54    |

|                                                       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Energie en réserve (% de la capacité)                 | 74.99 | 75.00 | 75.01 | 75.08 | 75.46 |
| Indice de recyclage par prédation                     | 1.27  | 1.27  | 1.27  | 1.27  | 1.29  |
| Indice de recyclage de Finn (% des transferts totaux) | 3.33  | 3.33  | 3.33  | 3.33  | 3.68  |
| Longueur moyenne de liaison de Finn                   | 2.55  | 2.55  | 2.55  | 2.55  | 2.59  |

La biomasse des hauts niveaux trophiques n'augmente pas assez fortement pour contrebalancer la baisse des niveaux 2 et 2.5. Ceci explique que la biomasse totale soit plus faible en 2008. De même, la consommation par la prédation est plus faible. Mais l'analyse par niveau trophique montre que cette consommation augmente pour les niveaux trophiques III, IV, V, ce qui indique bien une augmentation de la biomasse des hauts niveaux trophiques. L'inverse est vrai pour les niveaux trophiques I et II.

Les indices concernant la production primaire ont tous tendance à diminuer entre 2003 et 2008 en lien avec la baisse de biomasse observée. D'autres indices concernent les possibilités de développement. Ce développement passe par l'augmentation du nombre de compartiments reliés entre eux et l'importance des flux. L'énergie employée est appelée ascendance. L'ascendance permet de déterminer le niveau de développement et de maturité d'un écosystème (Ulanowicz & Puccia, 1990). La différence entre l'ascendance et l'énergie disponible est appelée énergie en réserve. Dans notre cas, ce pourcentage atteint environ 75% et augmente légèrement en 2008. Ceci indique qu'une grande énergie est disponible pour créer de nouvelles connections et donc diversifier les régimes alimentaires. Ceci est un signe d'une capacité de résistance à des perturbations importantes et donc d'un écosystème plus stable (Ulanowicz, 1986).

Enfin, les indices de recyclage indiquent la capacité d'un écosystème à préserver sa structure face à des perturbations, par des recyclages de matière et d'énergie. L'indice de recyclage de Finn est la fraction des transferts d'un écosystème qui est recyclée. Cet indice quantifie une des 24 propriétés d'Odum (1969) de la maturité d'un écosystème (Christensen, 1995). Il est fortement corrélé avec la maturité, la résilience et la stabilité. Pour le Bamboung, il augmente entre 2003 et 2008, la mise en place de la réserve semble ainsi se traduire par un état de l'écosystème plus mature, plus stable. Il en est de même pour l'indice de recyclage par prédation qui correspond à l'indice de Finn mais sans les détritux. La longueur moyenne des liaisons de Finn est définie comme le nombre de groupe par lequel passe un flux entrant ou sortant (Finn, 1976). Plus la valeur est élevée, plus l'écosystème peut se reconstituer et est donc mature. Cette valeur augmente légèrement entre 2003 et 2008.

Tous ces indices indiquent donc une stabilisation de l'écosystème et une plus grande maturité. Les hauts niveaux trophiques jouent un rôle plus important de par l'augmentation de leur biomasse et de leur consommation. Cependant, on ne peut juger si le système a atteint son stade de maturité finale, il est trop tôt pour le dire.

### 3-3. Comparaison Bamboung/Sangako

Le modèle Ecopath construit pour le bolong de Sangako correspond à une moyenne des années 2008/2009. Dans la mesure où il comporte moins de groupes trophiques que le modèle Bamboung, il est intéressant d'avoir un cadre de comparaison unifié. Ainsi, nous utilisons les spectres de biomasse (Figure 11).

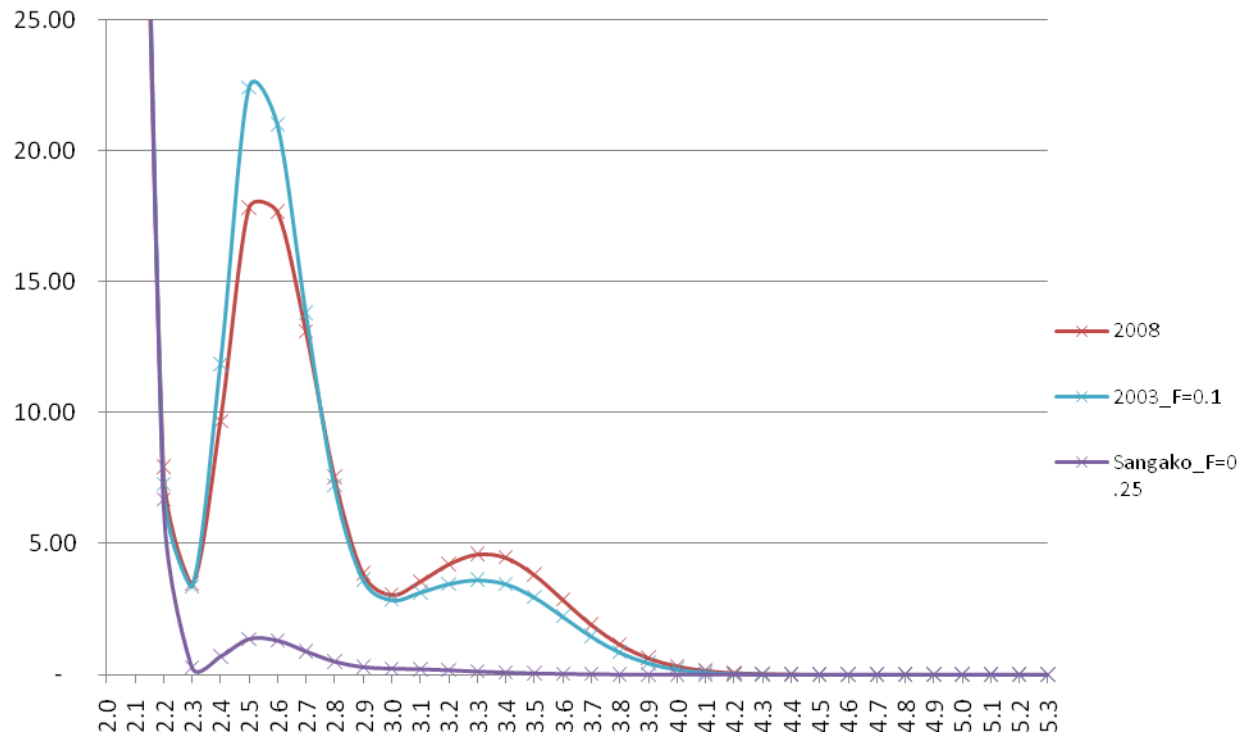


Figure 11 : Spectres de biomasse des modèles Bamboung et Sangako

Comme dans le cas du Bamboung, les hypothèses de capture ne changent pas le spectre de biomasse. La comparaison se fait donc avec un seul des quatre modèles Sangako,  $F=0.25$ . Le Sangako a une biomasse beaucoup plus faible que le Bamboung. Peu de grands prédateurs sont présents et la biomasse de petits poissons est elle-aussi plus faible que dans le Bamboung. Le Bamboung est donc un endroit à forte biomasse où l'on trouve encore en grand nombre des prédateurs supérieurs. Le Sangako est pêché mais le Bamboung l'est aussi en 2003, et pourtant la biomasse est beaucoup plus faible. Pour une part au moins, ceci peut être lié à une exploitation plus intensive depuis plus de temps. Nous y reviendrons à propos des simulations EcoTroph.

#### 4. Résultats des simulations EcoTroph

##### 4-1. Simulations sur le Bamboung

##### 4-1.1. Travail sous l'hypothèse de capture $F=0.1$

Nous utilisons l'outil ET-Diagnosis de EcoTroph pour simuler l'effet réserve à partir de l'écosystème exploité en 2003. L'hypothèse de référence choisie est  $F=0.1$  puisque le bolong de Bamboung est peu pêché en 2003 (comm. expert). Le paramètre de contrôle Top-Down est fixé à 0.4, Beta est fixé à 0.2. Pour toutes les espèces pêchées, l'accessibilité est de 0.8. Ces réglages sont des réglages de base sur lesquels des analyses de sensibilité peuvent être conduites. Onze multiplicateurs d'effort allant de 0 à 5 sont testés (Figure 12).

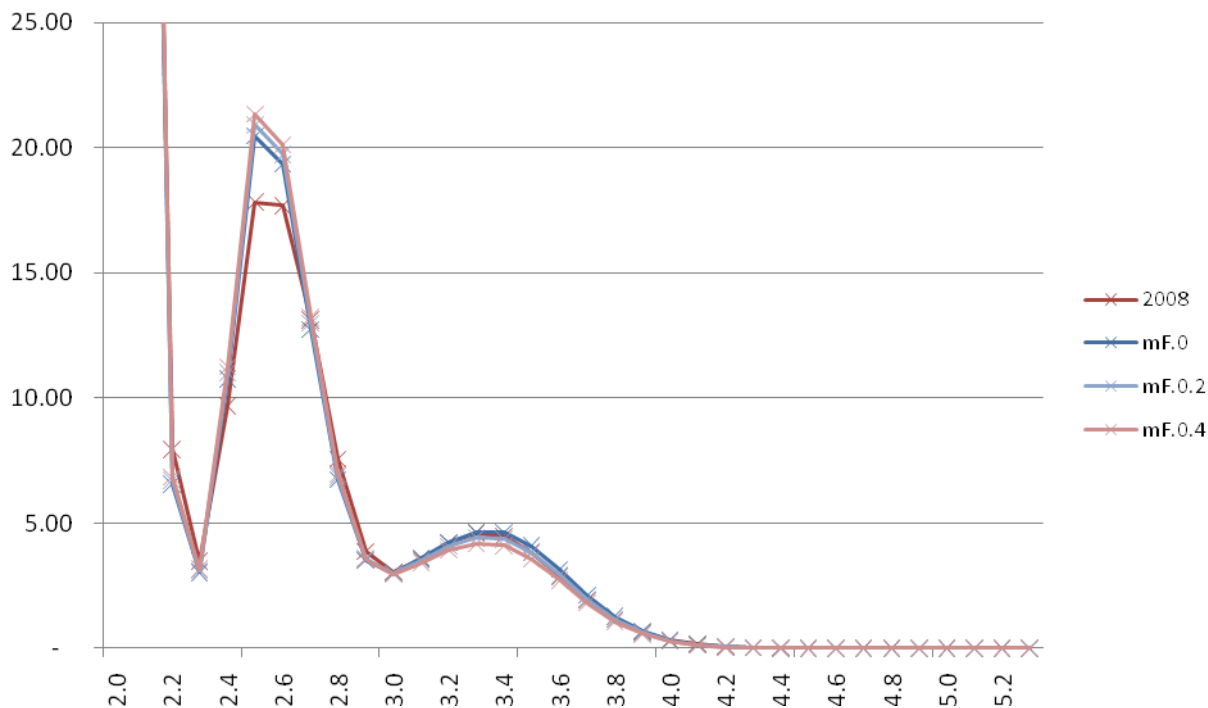


Figure 12 : Spectres de biomasse du modèle 2003, 2008 et de la simulation Ecotroph

Les simulations montrent qu'une diminution de la pêche entraîne une augmentation de la biomasse des niveaux trophiques supérieurs à 3 et une diminution pour les niveaux trophiques autour de 2.5. Les biomasses observées en 2008 sont bien modélisées pour un multiplicateur d'effort compris entre 0 et 0.2 ce que correspond à un  $F$  compris entre 0 et 0.02. Le modèle reproduit alors quasi parfaitement les biomasses des niveaux trophiques supérieurs à 3. Ceci montre bien que l'augmentation des hauts niveaux trophiques est due à l'arrêt de la pêche, et donc un effet réserve. En revanche, il ne prédit pas une aussi forte diminution de la biomasse pour les niveaux trophiques autour de 2.5. Cette diminution peut aussi possiblement s'expliquer par un facteur environnemental.

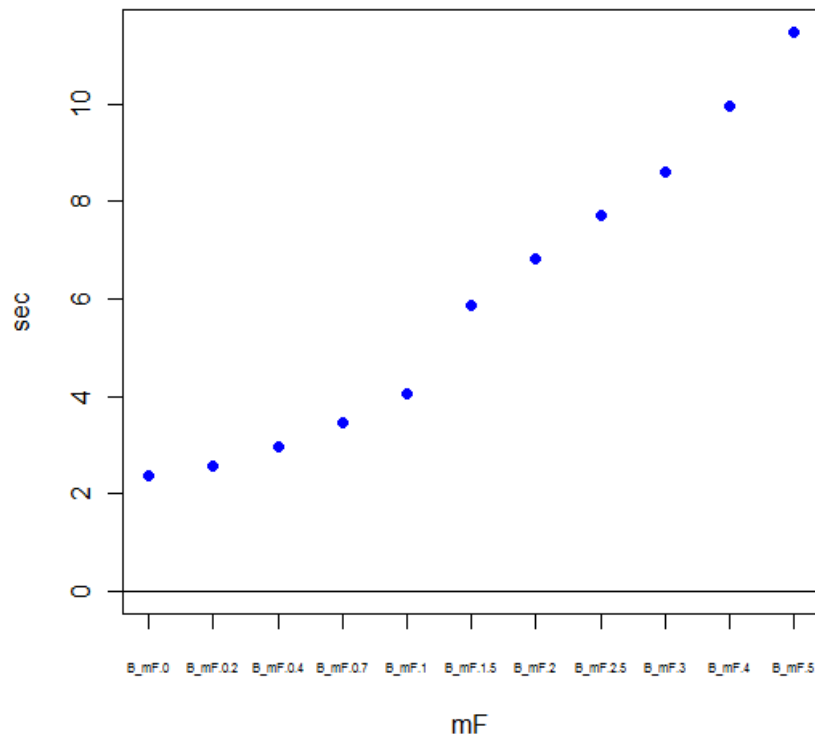


Figure 13 : Somme des carrés des écarts relatifs des différents modèles

Un test statistique confirme que le spectre de biomasse le plus proche du modèle 2008 est obtenu pour un multiplicateur d'effort nul (Figure 13).

#### 4-1.2. Analyse de sensibilité au paramètre Top-Down

La figure 10 incite à réfléchir au paramètre Top-Down. En effet, si la diminution de biomasse des bas niveaux trophiques est mal modélisée, ce peut être par une trop faible prise en compte dans le modèle des effets Top-Down causés par l'augmentation de biomasse des hauts niveaux trophiques. Nous testons plusieurs hypothèses de valeur pour ce paramètre : 0.6, 0.7, 0.8 et extrayons les valeurs de biomasse pour un multiplicateur d'effort nul (Figure 14).

Plus on augmente ce paramètre de contrôle, plus la biomasse des niveaux trophiques autour de 2.5 se rapproche de la biomasse observée dans le modèle 2008. La prise en compte de l'effet Top-Down est donc très importante pour expliquer la diminution de biomasse des bas niveaux trophiques. Toutefois, pour conclure à un seul impact de la pêche, il faut admettre une valeur du paramètre alpha égale à 0.8, ce qui semble très important. Il semble vraisemblable que l'environnement explique aussi une part des variations observées.



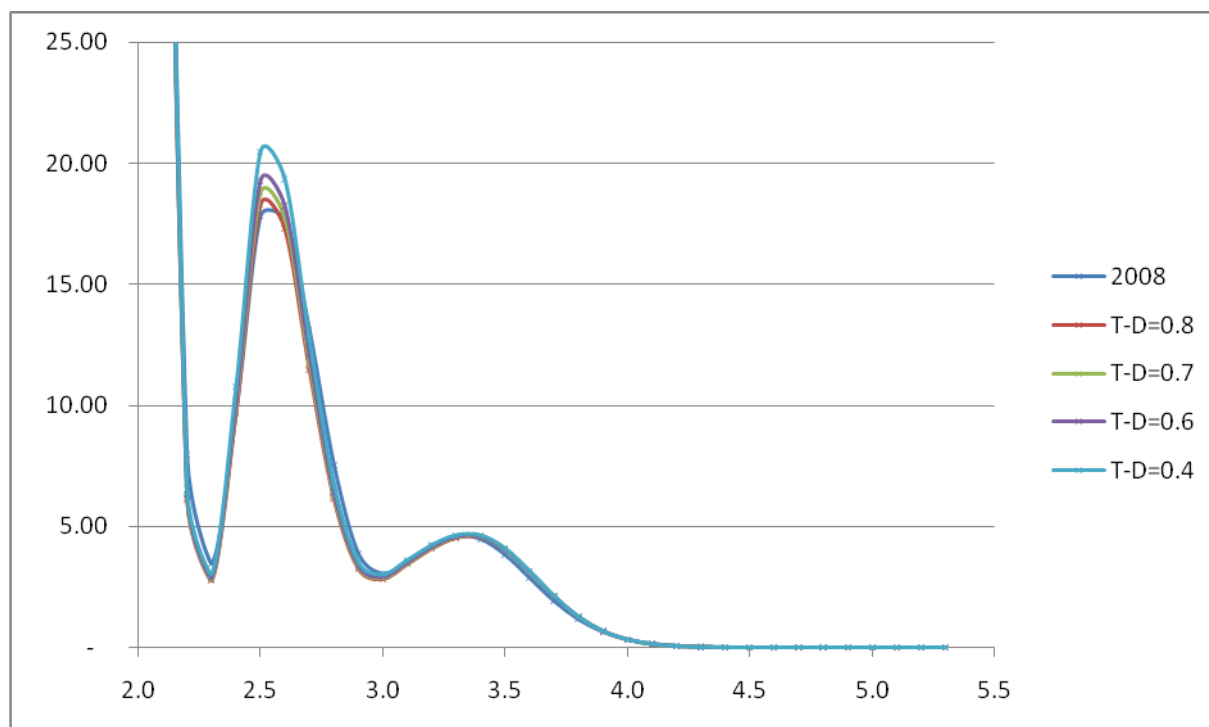


Figure 14 : Analyse de sensibilité au paramètre de contrôle Top-Down

#### 4-1.3. Analyse de sensibilité au scénario de pêche

L'approche EcoTroph est appliquée aux quatre scénarii de pêche envisagés en 2003 (Annexe 8). Dans tous les cas, le spectre trophique se rapprochant le plus de 2008 correspond à une diminution de l'effort de pêche. Pour  $Y=Y_{\text{Saloum}}$ , on obtient les mêmes résultats que pour  $F=0.1$  : le multiplicateur d'effort nul est le modèle se rapprochant le plus de 2008. Dans les deux autres cas, c'est pour un multiplicateur d'effort égal à 0.4 que l'on a la plus faible somme des carrés des écarts relatifs. Ceci ne correspond pas à un arrêt de la pêche mais les tendances de diminution des faibles niveaux trophiques et d'augmentation des hauts sont aussi présentes. Ceci peut s'expliquer par les erreurs des hypothèses de capture mais aussi par un possible maintien dans la réserve d'une pêche braconnière non négligeable.

Dans tous les cas, on observe quand même un effet réserve accroissant la biomasse des hauts niveaux trophiques. Ceci montre bien que les évolutions de biomasse observées sont en grande partie explicables par l'arrêt de la pêche, ou au moins une forte diminution.

#### 4-2. Simulations sur le Sangako

Le cas du Sangako est aussi intéressant, les biomasses sont très faibles et on sait qu'il est pêché. On peut donc essayer d'exploiter ces résultats dans deux sens. Tout d'abord, on teste si le modèle Bamboing 2003 peut avec l'outil de simulation Ecotroph donner des spectres trophiques proches de ceux observés sur le Sangako (Figure 15).

- Bamboung 2003 vers Sangako :

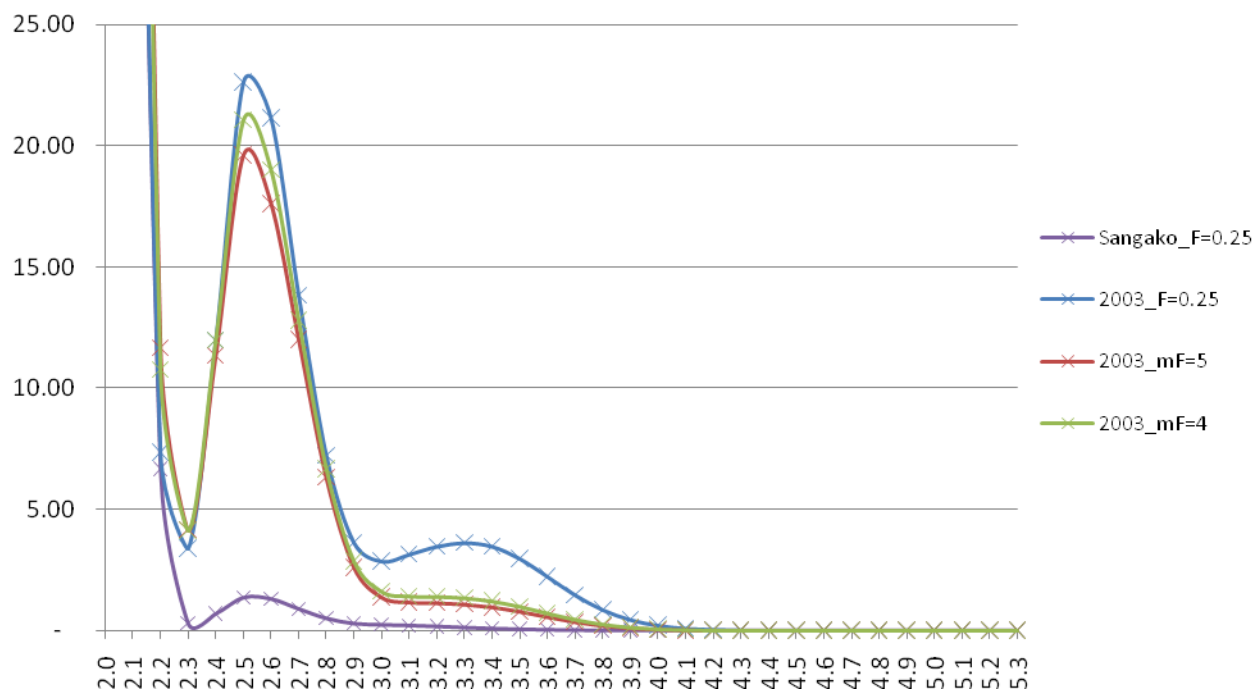


Figure 15 : Spectre trophique de biomasse du Sangako et des simulations Ecotroph faites sur le Bamboung 2003 pour  $F=0.25$

On peut voir sur cette figure que, même pour un multiplicateur d'effort très important ( $mF=5$ ) appliqué sur une hypothèse capture forte ( $F=0.25$ ), les biomasses sont toujours trop fortes pour les niveaux trophique supérieurs à 2.1. Le Sangako a donc une biomasse très faible qui pourrait s'expliquer en partie par un très gros effort de pêche, supérieur à 1.25 appliqué depuis longtemps, et en partie par l'environnement. Cependant, ceci pourrait aussi indiquer une fuite des poissons vers un autre environnement moins pêché.

- Sangako vers Bamboung 2008 :

On effectue la démarche inverse cette fois. A partir des modèles Sangako développés, on veut essayer de retrouver un spectre de biomasse se rapprochant de la situation en 2008. Cependant, on se retrouve dans la même situation que précédemment ; les biomasses étant trop faibles, il est impossible de retrouver une situation proche de 2008 même avec des multiplicateurs d'effort nul.

La zone du Sangako est donc une zone très pauvre en biomasse, qui est pêchée depuis longtemps avec sûrement des mortalités par pêche élevées. Elle est très différente du Bolong de Bamboung qui au contraire voit son écosystème se stabiliser, mûrir.

En conclusion, la mise en réserve a bien provoqué des changements au sein de l'écosystème du bolong de Bamboung. On peut donc parler d'effet réserve pour l'augmentation de biomasse des hauts niveaux trophiques.

## **IV. Discussion**

### **1. Discussion sur les données manquantes et les choix de modélisation**

#### **1-1. Mise en évidence des données manquantes**

Un gros travail de synthèse bibliographique a été effectué pour obtenir le maximum de données sur les espèces observées dans le bolong de Bamboung. Concernant les poissons, toutes les espèces n'ont pas été renseignées pour leurs paramètres de croissance et donc le calcul de leurs mortalités et consommation. Mais le couplage des données issues de Fishbase.org (Froese & Pauly, Fishbase, 2009) ainsi que des modèles faits sur le Saloum (Villanueva, 2004 ; Vignot, 2007), a permis de calculer de manière assez satisfaisante des paramètres d'entrée pour chaque groupe de poissons. De plus, les pêches expérimentales ont permis de calculer des séries d'indices d'abondance et donc de fournir la biomasse B comme paramètre d'entrée au modèle Ecopath.

La tâche s'est révélée plus compliquée pour les groupes d'invertébrés. En effet, la senne tournante ne permet pas d'échantillonner correctement ces populations. Aucune données de biomasse n'étaient donc disponibles pour ces groupes qui constituent le fondement de la chaîne trophique. Aucun dénombrement précis des espèces d'invertébrés présentes dans le Bamboung n'a été fait et nous avons donc été obligé de reprendre des données de modèle concernant le Saloum (Villanueva 2004 ; Vignot, 2007). Ces données ont été affinées par un travail d'isotopie (Vignot, 2007). Il est cependant assez gênant de laisser le modèle estimer toutes les biomasses des invertébrés car la valeur obtenue correspond non pas forcément à la réalité, mais à la biomasse nécessaire pour l'alimentation des différents groupes du réseau trophique. La réalisation de prélèvements du benthos (en utilisant une benne) dans le Bamboung serait utile pour pouvoir connaître précisément les peuplements benthiques d'invertébrés : les différentes espèces et leurs caractéristiques biologiques. On retrouve ce besoin de données pour d'autres compartiments tels les dauphins, les oiseaux, les crevettes, les crabes et le plancton. Il serait donc intéressant de compléter les campagnes scientifiques par des études plus précises sur certains compartiments afin de mieux connaître les peuplements biologiques du Bamboung. Ce manque de données a conditionné plusieurs choix. Pour la biomasse des Requins, une valeur estimée de manière experte a été rentrée. Il en est de même pour les Tilapias dont la biomasse calculée était très faible.

Enfin, un autre manque concerne les données de pêche. En effet, aucune campagne de mesure des débarquements n'a été faite précisément sur le Bamboung. Ceci aurait permis d'avoir un scénario de pêche adapté à la zone. Au lieu de ça, différentes hypothèses possédant des bases réelles ou non ont été testées. Les hypothèses basées sur le Saloum (Villanueva, 2004) et Sokone sont valables pour leurs zones respectives, mais appliqués au Bamboung, elles entraînent pour certains groupes des mortalités par la pêche excessives, qui jouent sur les simulations mises en place par la suite. C'est pour cela que le scénario  $F=0.1$  a été choisi comme référence, il

correspond à une capture faible pour tous les groupes pêchés, ce qui était vraisemblablement la situation en 2003 (Luis Tito de Morais, IRD, comm. experte).

## 1-2. Analyse critique de la méthodologie

Tout d'abord, nous avons choisi de construire les groupes trophiques de manière empirique en choisissant des critères pour associer les espèces. Le choix de ces critères n'est pas exhaustif et des données plus précises sur la biologie (et notamment l'alimentation) des espèces auraient sans doute conduit à d'autres choix de modélisation (notamment pour les invertébrés). D'autres méthodes existent telle que la classification ascendante hiérarchique mise en place pour de nombreux modèles Ecopath (Coll et al., 2006). Elle classe les espèces de façon statistique en fonction de leur ressemblance trophique. Ceci ne nous a pas paru judicieux puisque nous disposions de suffisamment de données pour procéder de manière empirique. Des groupes avaient par exemple déjà été mis en place dans des modèles Saloum (Villanueva, 2004) ou d'autres milieux estuariens-lagunaires africains (Villanueva, 2006), ce qui nous a fourni une première base de réflexion pour notre modèle Bamboung.

Le second point concerne les estimations d'abondance par approche delta. Les biomasses auraient pu être calculées par une simple moyenne sur l'année avec une pondération par la saison et le secteur. Ceci aurait permis d'avoir des biomasses différentes pour chaque année, ce que ne permet pas l'approche delta si l'effet année n'est pas significatif. La non significativité de l'effet année ne signifie pas que la biomasse ne varie pas, mais que cette variation n'est pas visible statistiquement dans notre approche. Cependant, la présence de nombreux zéros nous a poussé vers cette approche qui permet de traiter de manière judicieuse ces « zero-inflated data » (Le Pape et al., 2003). Les séries d'abondance obtenues ne nous ont pas permises d'ajuster un modèle Ecosim, il n'est pas sûr que par une autre méthode de calcul la situation aurait été différente.

Enfin, le calcul des paramètres d'entrée du modèle a aussi fait l'objet de choix importants. Plusieurs formules sont disponibles pour calculer la mortalité naturelle  $M$ , nous avons choisi des méthodes publiées nécessitant peu de paramètres tels que  $K$ , le niveau trophique... Nous avons donc réalisé plusieurs calculs de  $M$  et choisi la méthode qui donnait les résultats biologiquement les plus valides. La méthode de Hoenig (Hoenig, 1983) basée sur la durée de vie issue de Fishbase a paru la méthode la plus adéquate. Si nous possédions des données issues de modèles Saloum, nous avons choisi d'utiliser une autre méthode (Gascuel, 2008) car la durée de vie n'était pas disponible. Tous ces choix ont été validés de manière experte (Guénette, comm. pers.). L'utilisation de l'équation de Palomares & Pauly (1998) pour le calcul du  $Q/B$  est moins discutable puisqu'il s'agit de l'équation la plus récente.

## 2. Discussion sur l'effet réserve

### 2-1. Effet réserve au sein de la réserve

Les simulations mises en place sous Ecotroph montrent l'impact de l'évolution de la pêche sur la biomasse au sein du bolong de Bamboung. Ces évolutions, comme nous l'avons vu au paragraphe III.4-1., concordent avec la biomasse observée en 2008 ( $mF < 1$ ). On a donc bien un effet réserve au sein de la réserve. Il est à l'origine de l'augmentation de la biomasse des hauts niveaux trophiques et, au moins en partie, de la diminution des intermédiaires. Cependant,

l'ajustement n'est pas parfait et dépend aussi du scénario de pêche. L'effet réserve est donc avéré mais son importance dépend du modèle de référence. On ne peut donc rejeter l'hypothèse de l'influence d'un autre effet tel que l'environnement. Ceci n'est d'ailleurs pas biologiquement choquant.

Outre ce point, les observations faites sur le Bamboung vont dans le sens de la littérature. En effet, on retrouve ces évolutions dans de nombreuses réserves. Par exemple, une étude onze réserves australiennes a mis en évidence une abondance de grands prédateurs plus élevée dans les zones protégées que dans les zones pêchées. Par contre, aucune différence significative de densité n'a pu être mise en évidence (Edgar & Stuart-Smith, 2009). Dans notre cas, on observe même une diminution de la biomasse. Cette tendance n'est pas à considérer vraie car cette diminution est grandement fonction de la diminution des niveaux trophiques autour de 2 correspondant aux groupes Macrobenothos, Méiobenthos et Zooplancton. On ne peut donc pas conclure sur l'évolution de la biomasse totale. Il aurait été intéressant de fixer la biomasse des niveaux trophiques autour de 2 dans le modèle 2008, en reprenant les valeurs de 2003, pour éviter cet artefact ou gommer l'effet environnemental.

Enfin, notre démarche ne prend en compte qu'une courte période de temps, sept ans dont un an pendant lequel la réserve était toujours pêchée. Or la stabilisation d'une AMP prend, selon la littérature, plus de temps : la stabilisation se ferait au bout de quinze ans environ (Babcock et al., 2010). Il serait donc intéressant de poursuivre la démarche de modélisation dans les années à venir pour observer l'évolution du système Bamboung et son état final stable.

## 2-2. Effet réserve sur l'extérieur

Un point important du programme de recherche AMPHORE est aussi de juger des effets de la réserve sur l'extérieur. Dans notre étude, cet aspect est relativement absent. Il est possible de rentrer sous Ecopath des paramètres d'export mais nous ne disposons pas des informations nécessaires à cette démarche. Le système a donc été considéré comme fermé. Ces effets sur l'extérieur sont de plusieurs ordres (Mesnildrey et al., 2010) :

- Effet spillover : déplacement des individus adultes vers l'extérieur (Gell & Roberts, 2003)
- Dispersion larvaire : la diffusion des larves produites à l'intérieur de la réserve permet d'accroître le recrutement aux alentours (Bostford et al., 2006)
- Baisse du risque d'effondrement : assurance contre une mauvaise gestion dans les zones de pêche (Gell & Roberts, 2002 ; Pitchford et al., 2007)

Dans notre cas, des données ont été collectées à la sortie du bolong, dans le Diomboss. Cette pêche expérimentale n'a malheureusement débuté qu'en 2008. Le faible nombre de coups de pêche ne permet donc pas de traiter ces données de manière statistiquement correcte. En effet, même si la biomasse de certains groupes de hauts niveaux trophiques augmentait, il serait impossible de juger d'un effet de la réserve ou de l'environnement. Il serait cependant intéressant de poursuivre ces pêches afin de voir l'évolution des biomasses à la sortie de la réserve. Un autre moyen de juger des effets sur l'extérieur serait d'analyser les résultats acoustiques obtenus chaque année. Certaines analyses ont déjà été mises en place (Sow & Guillard, 2005) mais les résultats des dernières années ne sont pas encore accessibles.

La distribution de l'effort de pêche aux alentours de l'AMP serait également un indice intéressant d'un effet sur l'extérieur. En effet, dans de nombreux cas, les AMP permettent une

augmentation des captures et des rendements dans les zones avoisinantes (Roberts et al., 2001). Si l'on observe un plus grand nombre de pirogues à la sortie du Bamboung avec des rendements supérieurs, on pourra bel et bien juger d'un effet sur l'extérieur. La dimension de cet effet serait aussi un point intéressant à explorer.

## **V. Conclusion**

L'ensemble des démarches mises en œuvre montre bien un effet réserve sur le bolong de Bamboung. L'arrêt de la pêche a provoqué une augmentation de la biomasse des prédateurs et une diminution de celles des proies, conséquence en partie d'un effet Top-Down. Au final, la mise en place d'une AMP à cet endroit a remplie des objectifs de préservation de la biomasse et de la biodiversité. L'élaboration de modèles trophodynamiques semble donc un bon outil pour juger de l'efficacité locale des AMP, en terme de modification de la structure trophique de l'écosystème. Bien que s'intéressant au seul réseau trophique, ces modèles sont informatifs sur les peuplements et leurs évolutions. De plus, ils permettent une synthèse de toutes les connaissances disponibles sur la zone et les peuplements biologiques. On peut ainsi se rendre compte aussi des manques d'informations concernant certains compartiments, dans notre cas le benthos et les invertébrés par exemple.

Plusieurs perspectives s'ouvrent à la suite de ce travail. Tout d'abord, on ne peut juger si l'écosystème a atteint un état d'équilibre. L'analyse des prochaines années de suivi seraient intéressantes pour voir l'évolution que connaît le bolong de Bamboung : est-ce que les tendances observées vont se poursuivre ou non ? Dans un deuxième temps, il serait intéressant de juger de l'effet de l'AMP sur l'extérieur. Pour cela, des données d'export doivent être recueillies ainsi que des données de spatialisation de l'effort de pêche. Ceci permettrait de préciser les modèles Ecopath en détaillant pour chaque groupe trophique la fraction exportée ou importée.

Ces perspectives servent à préciser le modèle, mais il serait également intéressant d'explorer d'autres mesures de gestion. En effet, il est avéré qu'une pêche illégale est pratiquée dans le Bamboung. Ainsi, l'obtention de scénarii de capture conservant la biomasse et la biodiversité de manière théorique permettrait d'imaginer des mesures de gestion réintégrant la pêche. L'outil EcoTroph pourrait permettre d'explorer l'impact de différents scénarii de pêche et ainsi de pouvoir recommander des taux de capture pour certaines espèces. Ceci permettrait d'enrayer la pêche illégale en installant une pêche licite très contrôlée garantissant un maintien des bénéfices de l'AMP. De plus, ceci donnerait une idée de l'influence de certaines mortalités sur des groupes trophiques particuliers, et les répercussions au niveau du réseau trophique.

Enfin, l'efficacité locale de l'AMP est avérée dans notre cas mais les résultats obtenus ne sont évidemment pas généralisables pour toutes les AMP. De plus, ces résultats ne nous indiquent pas l'influence de la réserve sur les stocks halieutiques du Diomboss, voir du Sine-Saloum. Il faudrait travailler à une plus large échelle pour démontrer l'efficacité véritable des AMP dans la gestion des pêches. Au sein du Sine-Saloum, les problématiques concernant les juvéniles et les zones de mangrove étaient les principaux centres d'intérêt. Or dans notre cas, le cas des juvéniles n'a pas été pris en compte. Ceci était notamment conditionné par l'absence de groupe permettant de séparer sa biomasse en classe d'âge. Il serait donc intéressant en conclusion de se concentrer dans l'avenir plus sur les larves de poissons ou les juvéniles et leurs séjours dans le Bamboung.

## **Bibliographie**

Agence des AMP. (2007). Les aires marines protégées. Plaquette en ligne, accès le 15/08/2010. [http://www.aires-marines.fr/images/stories/plaquettes/4pg\\_airesmarines\\_bd.pdf](http://www.aires-marines.fr/images/stories/plaquettes/4pg_airesmarines_bd.pdf)

ALBARET J.J. & Legendre M. (1985). Biologie et écologie des Mugilidae en lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Intérêt potentiel pour l'aquaculture lagunaire. *Revue d'hydrobiologie tropicale* **18** (4) : 281-303.

ALBARET J.J. & Desfossez M. (1988). Biologie et écologie des Gerreidae (Pisces, teleostei) en lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Revue d'hydrobiologie tropicale* **21** (1) : 71-88.

ALBARET J.J. (1999). Les peuplements des estuaires et des lagunes, pp. 325-349. In LEVEQUE C. & Paugy D. (Eds.). *Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme*. Editions de l'IRD, Paris.

ALBARET J.J. (2003). Caractérisation de l'état de référence des peuplements de poissons d'une aire protégée en zone de mangrove : le bolon de Bamboung (Sine-Saloum, Sénégal). *Rapport IRD*.

ALBARET J.J. (2004). Suivi biologique des peuplements de poissons d'une aire protégée en zone de mangrove : le bolon de Bamboung (Sine-Saloum, Sénégal). Rapport d'étape. *Rapport IRD*.

ALBARET J.J. & Simier M. (2005). Suivi biologique des peuplements de poissons d'une aire protégée en zone de mangrove : le bolon de Bamboung (Sine-Saloum, Sénégal). Rapport final. *Rapport IRD*.

ALLEN K. R. (1971). Relation between production and biomass. *Journal Fisheries Research Board of Canada* **28** (10) : 1573-1581.

BABCOCK R. C., Shears N. T., Alcala A. C., Barrett N. S., Edgar G. J., Lafferty K. D., McClanahan T. R., Russ G. R. (2010). Decadal trends in marine reserves reveal differential rates of change in direct and indirect effects. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*.

BIANCHI C. N. & Morri C. (2000). Marine biodiversity of the Mediterranean Sea : situation, problems and prospects for future research. *Marine Pollution Bulletin* **40** (5) : 367-376.

BOSTFORD L. W., Micheli F., Parma A. M. (2006). Biological and ecological considerations in the design of implementation and success of MPAs. *FAO Expert Workshop on Marine Protected Areas and Fisheries Management : Review of issues and consideration*. (12-14 Juin 2006). 109-148.

CHRISTENSEN V. & Pauly D. (1992). The Ecopath II – a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling* **61** : 169-185.

CHRISTENSEN V. & Pauly D. (1993). Trophic Models of Aquatic ecosystems. Manilla (Philippines). ICLARM. 390p.

CHRISTENSEN V. (1995). Ecosystem maturity-towards quantification. *Ecological Modelling* **77** : 3-32

CHRISTENSEN V., Guénette S., Heymans J. J., Walters C. J., Watson R., Zeller D., Pauly D. (2003). Hundred-year decline of North Atlantic predatory fish. *Fish and Fisheries* **4** (1) : 1-24.

CHRISTENSEN V., Walters C. J. et Pauly D. (2005). Ecopath with Ecosim : a User's Guide. Vancouver (CA) : Fisheries Centre, University of British Columbia. 154p.

CHRISTENSEN V. & Lai S. (2007). Ecopath with Ecosim 6 : the sequel. *Sea Around Us Newslettter* **43** : 1-4.

COLL M., Palomera I., Tudela S. et Srada F. (2006). Trophic flows, ecosystem structure and fishing impacts in the South Catalan Sea, Northwestern Mediterranean. *Journal of Marine Systems* **59** : 63-96.

DIOUF P. S. (1996). Les peuplements de poissons des milieux estuariens de l'Afrique de l'Ouest : l'exemple de l'estuaire hyperhalin du Sine-Saloum. *Thèse de Doctorat*. Université de Montpellier. 267p.

EDGAR G. J. & Stuart-Smith R. D. (2008). Ecological effects of marine protected areas on rocky reef communities – a continental-scale analysis. *Marine Ecology Progress Series* **338** : 51-62.

FINN J. T. (1976). Measures of ecosystem structure and function derived from analysis of flows. *Journal of Theoretical Biology* **56** : 363-380.

FROESE R. & Binohlan C. (2000). Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and yield at maximum yield per recruitment in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data. *Journal of Fish Biology* **56** : 758-773.

FROESE R. & Pauly D. Fishbase. A Global Information System on Fishes. <http://www.fishbase.org>

GASCUEL D. (2001). Un modèle écosystémique structuré par niveau trophique : approche théorique de l'impact de la pêche sur la biomasse, la production halieutique et la dynamique des écosystèmes marins exploités, pp. 87-110. In 5<sup>ème</sup> Forum Halieutique : complexité et décision. Association Française d'Halieumétrie, Lorient, 2001.



GASCUEL D. (2005). The trophic-level based model : A theoretical approach of fishing effects on marine ecosystems. *Ecological Modelling* **189** (3-4) : 315-332.

GASCUEL D., Morissette L., Palomares M. et Christensen V. (2008). Trophic flows kinetics in marine ecosystems : Toward a theoretical approach to ecosystem functioning. *Ecological Modelling* **217** : 33-47.

GASCUEL D., Tremblay-Boyer L. et Pauly D. (2009). EcoTroph : a trophic-level based software for assessing the impact of fishing on aquatic ecosystems. Vancouver (CA) : Fisheries Centre, University of British Columbia. 79p.

GASCUEL D., Guénette S., Diallo I., Sidibé A. (2009). Impact de la pêche sur l'écosystème marin de Guinée. *Fisheries Centre Research Reports* **17** (4), 60p.

GELL F. R. & Roberts C. M. (2002). The Fishery Effects of Marine Reserves and Fishery Closures. *WWF-US*, 1250 24th Street, NW, Washington, DC 20037, USA. 89p.

GELL F. R. & Roberts C. M. (2003). Benefits beyond boundaries : the fishery effects of marine reserves. *Trends in Ecology and Evolution* **18** (9) : 448-455.

HALPERN B. S. (2003). The impact of marine reserves : do reserves work and does reserve size matter ? *Ecological Applications* **13** (1) suppl. : S117-S137.

HOENIG J. (1983). Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fisheries Bulletin* **81** : 898-903.

LAURENT A. G. (1963). The log-normal distribution and the translation method : description and estimation problems. *Journal of the American Statistical Association* **58** : 231-235.

LESTER S. E., Halpern B. S., Grorud-Colvert K., Lubchenco J., Ruttenberg B. I., Gaines S. D., Airamé S., Warner R. R. (2009). Biological effects within no-take marine reserves : a global synthesis. *Marine Ecology Progress Series* **384** : 33-46.

LE PAPE O., Chauvet F., Mahévas S., Lazure P., Guérault D. et Désaunay 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** (2-3) : 139-149.

LONGHURST A. (1957). The food of the demersal fish of a West African estuary. *The Journal of Animal Ecology* **26** (2) : 369-387.

MESNILDREY L., Gascuel D., Lesueur M., Le Pape O. (2010). Analyse des réserves de pêche – Rapport intermédiaire. *Rapport Agrocampus Ouest – Agence des AMP*.

MYERS R. A. & Worm B. (2003). Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature* **423** : 280-283.

ODUM E. P. (1969). The strategy of ecosystem development. *Science* **104** : 262-270.

PALOMARES M. & Pauly D. (1998). Predicting food consumption of fish populations as functions of mortality, food type, morphometrics, temperature and salinity. *Marine and Fisheries Research* **49** : 447-453.

PAULY D. (1980). On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* **39 (3)** : 175-192.

PAULY D., Christensen V., Dalsgaard J., Froese R., Torres F. (1998). Fishing down marine food webs. *Science* **679** : 860-863.

PAULY D., Christensen V. et Walters C. (2000). Ecopath, Ecosim, and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. *ICES Journal of Marine Science* **57** : 697-706.

PAULY D., Palomares M., Vakily J. M. (2002). Mass-balance trophic models of West African Marine Ecosystems. *SIAP, document technique SIAP/EP/DT/03*.

PITCHFORD J. W., Codling E. A., Psarra D. (2007). Uncertainty and sustainability in fisheries and the benefit of marine protected areas. *Ecological Modelling* **207** : 286-292.

RABARISON-ANDRIAMIRADO G. A. & Caveriviere A. (1989). Les régimes alimentaires des prédateurs potentiels de la crevette *Penaeus notialis* au Sénégal. Place trophique des crevettes. *Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye, Documents scientifiques* **113 (Janvier 1989)**.

ROBERTS C. M., Bohnsack J. A., Gell F., Hawkins J. P., Goodridge R. (2001). Effects of marine reserves on adjacent fisheries. *Science* **294 (5548)** : 1920-1923.

SENE N. (1997). Contribution à l'étude qualitative du régime alimentaire de quelques poissons dans l'estuaire du Sine-Saloum (Sénégal). *Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye, Documents scientifiques* **142 (Avril 1997)**.

SIMIER M., Ecoutin J. M. et Ndiaye E. (2003). Pechexp 2003 : Base de données RAP, Volet pêches expérimentales : Notice descriptive. 38p.

SYLLA M. & Diop M. S. (2006). Détermination des otolithes dans les fèces et les pelotes de régurgitation d'oiseaux piscivores au niveau de leurs principaux sites de reproduction du Sénégal, de la Gambie et de la Mauritanie. *Rapport Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye et Wetlands International (Juin 2006)*.

STEFANSSON G. (1996). Analysis of groundfish survey abundance data : combining the GLM and delta approaches. *ICES Journal of Marine Science* **53** : 577-588

SOW I. & Guillard J. (2004). Etude de l'AMP du bolong Bamboung (Sénégal) par hydroacoustique. *Rapport I.L. IRD*, 259, 15p.

SOW I. & Guillard J. (2005). Suivi de stations fixes de nuit dans l'AMP Bamboung (Sine-Saloum, Sénégal). *Rapport I.L. IRD*, 260-2005, 11p.

THIAW M. (2005). Les prédateurs ichtyophages de grandes tailles des milieux estuariens et lagunaires d'Afrique de l'Ouest : distribution, abondance, traits de vie. *Mémoire de DEA, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Département de Biologie Animale*.

TRIPLET P., Yesou P., Sylla I., Samba E. O., Treca B., Ndaye A., Hamerlynck O. (1995). Oiseaux d'eau dans le delta du Sénégal en Janvier 1995. *Office National de la Chasse, Bulletin mensuel* **205**.

ULANOWICZ R. E. (1986). Growth and Development : Ecosystem Phenomenology. Springer Verlag (reprinted by iUniverse, 2000). New York. 203p.

ULANOWICZ R. E. & Puccia C. J. (1990). Mixed trophic impacts in ecosystems. *Coenoses* **5** : 7-16.

UNDERWOOD A. J. (1992). Beyond BACI : the detection of environmental impacts on populations in the real, but variable, world. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **161 (2)** : 145-178

VALLS A. (2009). Evaluation de l'efficacité des AMP par modélisation du fonctionnement trophique de l'écosystème : Cas du Parc national de Port-Cros, en Méditerranée. *Mémoire de Master 2. Agrocampus Ouest, Pôle Halieutique*. 35p.

VIGNOT C. (2007). Relations trophiques au sein des communautés de poissons d'un estuaire inverse d'Afrique de l'Ouest : le Sine-Saloum au Sénégal. *Mémoire de Master 2. Université Pierre & Marie Curie*. 30p.

VILLANUEVA M. C. (2004). Biodiversité des relations trophiques dans quelques milieux estuariens et lagunaires de l'Afrique de l'Ouest : adaptations aux pressions environnementales. *Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Toulouse*. 272 p.

VILLANUEVA M. C., Lalèye P., Albaret J. J., Laë R., Tito de Morais L., Moreau J. (2006). Comparative analysis of trophic structure and interactions of two tropical lagoons. *Ecological Modelling* **4344**. 17p.

### Annexe 1 : Résultats de l'approche delta :

| Group           | Added variables | Binomial model              |                        |              |  | Added variables | Positive value model        |                        |              |  |
|-----------------|-----------------|-----------------------------|------------------------|--------------|--|-----------------|-----------------------------|------------------------|--------------|--|
|                 |                 | Residual degrees of freedom | Explained deviance (%) | Significance |  |                 | Residual degrees of freedom | Explained deviance (%) | Significance |  |
| Arius           | Null            | 215                         |                        |              |  | Null            | 90                          |                        |              |  |
|                 |                 |                             |                        |              |  |                 |                             |                        |              |  |
|                 | Season          | 213                         | 5.22                   | 0.000        |  | Season          | 88                          | 11.67                  | 0.003        |  |
|                 | Sector          | 211                         | 3.87                   | 0.003        |  | Sector          | non significant             |                        |              |  |
|                 | Year            | non significant             |                        |              |  | Year            | non significant             |                        |              |  |
| Barracudas      | Null            | 215                         |                        |              |  | Null            | 22                          |                        |              |  |
|                 |                 |                             |                        |              |  |                 |                             |                        |              |  |
|                 | Sector          | 213                         | 4.25                   | 0.044        |  | Sector          | 20                          | 24.16                  | 0.041        |  |
|                 | Season          | non significant             |                        |              |  | Year            | non significant             |                        |              |  |
|                 | Year            | non significant             |                        |              |  | Season          | non significant             |                        |              |  |
| Breton africain | Null            | 215                         |                        |              |  | Null            | 60                          |                        |              |  |
|                 |                 |                             |                        |              |  |                 |                             |                        |              |  |
|                 | Year            | non significant             |                        |              |  | Sector          | 58                          | 9.91                   | 0.041        |  |
|                 | Season          | non significant             |                        |              |  | Year            | non significant             |                        |              |  |
|                 | Sector          | non significant             |                        |              |  | Season          | non significant             |                        |              |  |
| Carangues       | Null            | 215                         |                        |              |  | Null            | 52                          |                        |              |  |
|                 |                 |                             |                        |              |  |                 |                             |                        |              |  |
|                 | Sector          | 213                         | 7.51                   | 0.000        |  | Year            | non significant             |                        |              |  |
|                 | Season          | 211                         | 2.99                   | 0.027        |  | Season          | non significant             |                        |              |  |
|                 | Year            | non significant             |                        |              |  | Sector          | non significant             |                        |              |  |
| Diagramme       | Null            | 215                         |                        |              |  | Null            | 40                          |                        |              |  |
|                 |                 |                             |                        |              |  |                 |                             |                        |              |  |
|                 | Sector          | 213                         | 4.86                   | 0.001        |  | Year            | non significant             |                        |              |  |
|                 | Season          | 211                         | 3.67                   | 0.007        |  | Season          | non significant             |                        |              |  |
|                 | Year            | non significant             |                        |              |  | Sector          | non significant             |                        |              |  |
| Elops           | Null            | 215                         |                        |              |  | Null            | 34                          |                        |              |  |
|                 |                 |                             |                        |              |  |                 |                             |                        |              |  |
|                 | Sector          | 213                         | 3.96                   | 0.023        |  | Season          | 32                          | 31.26                  | 0.001        |  |
|                 | Season          | non significant             |                        |              |  | Sector          | non significant             |                        |              |  |
|                 | Year            | non significant             |                        |              |  | Year            | non significant             |                        |              |  |
| Ethmalose       | Null            | 215                         |                        |              |  | Null            | 76                          |                        |              |  |
|                 |                 |                             |                        |              |  |                 |                             |                        |              |  |
|                 | Year            | 209                         | 9.72                   | 0.000        |  | Season          | 74                          | 11.06                  | 0.010        |  |
|                 | Season          | 207                         | 6.11                   | 0.000        |  | Sector          | non significant             |                        |              |  |
|                 | Sector          | non significant             |                        |              |  | Year            | non significant             |                        |              |  |
| Gerres          | Null            | 215                         |                        |              |  | Null            | 167                         |                        |              |  |
|                 |                 |                             |                        |              |  |                 |                             |                        |              |  |
|                 | Year            | 209                         | 7.16                   | 0.012        |  | Season          | 165                         | 6.65                   | 0.002        |  |
|                 | Season          | non significant             |                        |              |  | Sector          | 163                         | 4.97                   | 0.010        |  |
|                 | Sector          | non significant             |                        |              |  | Year            | non significant             |                        |              |  |
| Grand capitaine | Null            | 215                         |                        |              |  | Null            | 15                          |                        |              |  |
|                 |                 |                             |                        |              |  |                 |                             |                        |              |  |
|                 | Year            | non significant             |                        |              |  | Season          | 13                          | 71.07                  | 0.000        |  |

|             |        |                 |      |       |
|-------------|--------|-----------------|------|-------|
|             | Season | non significant |      |       |
|             | Sector | non significant |      |       |
| Mulets      | Null   | 215             |      |       |
|             |        |                 |      |       |
|             | Year   | 209             | 4.62 | 0.044 |
|             | Season | non significant |      |       |
|             | Sector | non significant |      |       |
| Otolithes   | Null   | 215             |      |       |
|             |        |                 |      |       |
|             | Season | 213             | 9.78 | 0.000 |
|             | Sector | 211             | 9.46 | 0.000 |
|             | Year   | 205             | 9.11 | 0.019 |
| Pomadasy    | Null   | 215             |      |       |
|             |        |                 |      |       |
|             | Season | 213             | 9.98 | 0.000 |
|             | Year   | non significant |      |       |
|             | Sector | non significant |      |       |
| Pompaneau   | Null   | 215             |      |       |
|             |        |                 |      |       |
|             | Season | 213             | 3.69 | 0.006 |
|             | Sector | 211             | 2.97 | 0.016 |
|             | Year   | non significant |      |       |
| Raies       | Null   | 215             |      |       |
|             |        |                 |      |       |
|             | Year   | non significant |      |       |
|             | Season | non significant |      |       |
|             | Sector | non significant |      |       |
| Sardinelle  | Null   | 215             |      |       |
|             |        |                 |      |       |
|             | Sector | 213             | 5.26 | 0.000 |
|             | Year   | 207             | 5.35 | 0.016 |
|             | Season | non significant |      |       |
| Sole-langue | Null   | 215             |      |       |
|             |        |                 |      |       |
|             | Sector | 213             | 5.58 | 0.006 |
|             | Year   | 207             | 7.64 | 0.031 |
|             | Season | non significant |      |       |
| Tetrodon    | Null   | 215             |      |       |
|             |        |                 |      |       |
|             | Sector | 213             | 4.08 | 0.012 |
|             | Year   | non significant |      |       |
|             | Season | non significant |      |       |
| Tilapias    | Null   | 215             |      |       |
|             |        |                 |      |       |
|             | Year   | non significant |      |       |
|             | Season | non significant |      |       |
|             | Sector | non significant |      |       |
| Vivaneaux   | Null   | 215             |      |       |
|             |        |                 |      |       |

|        |                 |       |       |
|--------|-----------------|-------|-------|
| Year   | non significant |       |       |
| Sector | non significant |       |       |
| Null   | 75              |       |       |
|        |                 |       |       |
| Sector | 73              | 8.87  | 0.029 |
| Year   | non significant |       |       |
| Season | non significant |       |       |
|        | 27              |       |       |
|        |                 |       |       |
| Year   | non significant |       |       |
| Season | non significant |       |       |
| Sector | non significant |       |       |
| Null   | 77              |       |       |
|        |                 |       |       |
| Year   | non significant |       |       |
| Season | non significant |       |       |
| Sector | non significant |       |       |
| Null   | 75              |       |       |
|        |                 |       |       |
| Year   | 69              | 26.35 | 0.000 |
| Sector | 67              | 10.66 | 0.002 |
| Season | 65              | 6.22  | 0.028 |
| Null   | 50              |       |       |
|        |                 |       |       |
| Year   | non significant |       |       |
| Season | non significant |       |       |
| Sector | non significant |       |       |
| Null   | 128             |       |       |
|        |                 |       |       |
| Season | 126             | 9.90  | 0.001 |
| Year   | non significant |       |       |
| Sector | non significant |       |       |
| Null   | 31              |       |       |
|        |                 |       |       |
| Year   | non significant |       |       |
| Season | non significant |       |       |
| Sector | non significant |       |       |
| Null   | 43              |       |       |
|        |                 |       |       |
| Season | 41              | 14.00 | 0.036 |
| Sector | non significant |       |       |
| Year   | non significant |       |       |
| Null   | 21              |       |       |
|        |                 |       |       |
| Year   | non significant |       |       |
| Season | non significant |       |       |
| Sector | non significant |       |       |
| Null   | 51              |       |       |
|        |                 |       |       |

|  |        |                 |  |  |        |                 |       |       |
|--|--------|-----------------|--|--|--------|-----------------|-------|-------|
|  | Year   | non significant |  |  | Year   | 45              | 21.62 | 0.053 |
|  | Season | non significant |  |  | Season | non significant |       |       |
|  | Sector | non significant |  |  | Sector | non significant |       |       |

## Annexe 2 : Tableau des groupes fonctionnels et de leurs paramètres de construction

| Numéro | Nom Groupe      | Ordre             | Famille        | Genre espèce               | Cat ecol | Cat troph | TL   | Lmax | Linf |
|--------|-----------------|-------------------|----------------|----------------------------|----------|-----------|------|------|------|
| 1      | Requin +        | Carcharhiniformes | Carcharhinidae | Carcharhinus leucas        | Mo       | p2-pi     | 4.31 | 3500 | 1352 |
| 1      | Requin +        | Rajiformes        | Myliobatidae   | Pteromyiaeus bovinus       | Mo       | p2-ge     | 3.79 | 2500 | 146  |
| 1      | Requin +        | Torpediniformes   | Torpedinidae   | Torpedo sp.                | Mo       | p2-ge     | 4.5  | 1000 | 83   |
| 2      | Dauphins        |                   |                |                            |          |           |      |      |      |
| 3      | Raies           | Rajiformes        | Dasyatidae     | Dasyatis margarita         | Em       | p1-bt     | 3.42 | 1000 | 688  |
| 3      | Raies           | Rajiformes        | Dasyatidae     | Dasyatis margaritella      | Em       | p1-bt     | 3.31 | 300  | 634  |
| 3      | Raies           | Rajiformes        | Myliobatidae   | Rhinoptera marginata       | Mo       | p1-bt     | 3.84 | 2000 | 84   |
| 4      | Otolithes +     | Perciformes       | Sciaenidae     | Pseudolithus brachygnathus | ME       | p2-ge     | 3.89 | 2300 |      |
| 4      | Otolithes +     | Perciformes       | Sciaenidae     | Pseudolithus senegalensis  | Ma       | p2-ge     | 3.84 | 1140 | 346  |
| 4      | Otolithes +     | Perciformes       | Sciaenidae     | Pseudolithus elongatus     | Em       | p2-ge     | 4.06 | 470  | 372  |
| 4      | Otolithes +     | Perciformes       | Sciaenidae     | Pseudolithus typus         | ME       | p2-ge     |      |      | 311  |
| 4      | Otolithes +     | Perciformes       | Carangidae     | Lichia amia                | Ma       | p2-ge     | 4.5  | 2000 | 698  |
| 5      | Barracudas +    | Perciformes       | Sphyraenidae   | Sphyraena afra             | ME       | p2-pi     | 4.07 | 2050 | 1284 |
| 5      | Barracudas +    | Perciformes       | Sphyraenidae   | Sphyraena guachancho       | ME       | p2-pi     | 3.92 | 2000 | 288  |
| 5      | Barracudas +    | Beloniformes      | Belonidae      | Tylosurus crocodilus       | Mo       | p2-pi     | 4.47 | 1500 | 649  |
| 5      | Barracudas +    | Beloniformes      | Belonidae      | Strongylura senegalensis   | Em       | p2-pi     | 4.5  | 1500 | 693  |
| 5      | Barracudas +    | Beloniformes      | Hemiramphidae  | Hemiramphus brasiliensis   | Em       | om-ge     | 2.48 | 550  | 326  |
| 5      | Barracudas +    | Perciformes       | Trichiuridae   | Trichiurus lepturus        | ME       | p2-pi     | 4.45 | 2340 | 958  |
| 6      | Grand capitaine | Perciformes       | Polynemidae    | Polydactylus quadrifilis   | ME       | p2-pi     | 4.01 | 2000 | 904  |
| 7      | Vivaneaux +     | Perciformes       | Lutjanidae     | Lutjanus goreensis         | Ma       | p2-pi     | 4.02 | 800  | 529  |
| 7      | Vivaneaux +     | Perciformes       | Lutjanidae     | Lutjanus dentatus          | Mo       | p2-pi     | 4.01 | 1500 | 595  |
| 7      | Vivaneaux +     | Perciformes       | Serranidae     | Epinephelus aeneus         | ME       | p2-pi     | 4.02 | 1200 | 345  |
| 7      | Vivaneaux +     | Perciformes       | Scombridae     | Orcynopsis unicolor        | Mo       | p2-pi     | 4.5  | 1300 | 344  |
| 7      | Vivaneaux +     | Perciformes       | Scombridae     | Scomberomorus tritor       | Ma       | p2-pi     | 4.26 | 1000 | 334  |
| 7      | Vivaneaux +     | Perciformes       | Sciaenidae     | Argyrosomus regius         | Mo       | p2-pi     | 4.29 | 2300 | 258  |
| 7      | Vivaneaux +     | Perciformes       | Serranidae     | Serranus cabrilla          | M        |           | 3.35 | 400  | 116  |
| 8      | Tétron +        | Tetraodontiformes | Tetraodontidae | Ephippion guttifer         | ME       | p1-bt     | 3.55 | 800  | 536  |
| 8      | Tétron +        | Perciformes       | Carangidae     | Caranx rhonchus            | Mo       | p1-bt     | 3.6  | 600  | 129  |
| 8      | Tétron +        | Perciformes       | Sparidae       | Diplodus bellottii         | Mo       | p1-bt     | 3.55 | 300  | 126  |
| 8      | Tétron +        | Albuliformes      | Albulidae      | Albula vulpes              | Mo       | p1-bt     | 3.67 | 1040 | 119  |
| 8      | Tétron +        | Perciformes       | Chaetodontidae | Chaetodon hoeferi          | Mo       | p1-bt     | 3.5  | 270  | 66   |
| 9      | Diagramme +     | Perciformes       | Haemulidae     | Plectorhynchus macrolepis  | Em       | p2-ge     | 3.69 | 450  | 487  |
| 9      | Diagramme +     | Perciformes       | Polynemidae    | Galeoides decadactylus     | ME       | p2-ge     | 3.57 | 500  | 248  |
| 9      | Diagramme +     | Perciformes       | Haemulidae     | Brachydeuterus auritus     | ME       | om-ge     | 3.03 | 1000 | 138  |
| 9      | Diagramme +     | Tetraodontiformes | Tetraodontidae | Lagocephalus laevigatus    | Ma       | p2-ge     | 4.02 | 700  | 73   |
| 9      | Diagramme +     | Perciformes       | Moronidae      | Dicentrarchus punctatus    | Mo       | p2-ge     | 3.94 | 300  | 224  |
| 9      | Diagramme +     | Perciformes       | Acanthuridae   | Acanthurus monroviae       | Mo       | om-ge     | 2.5  | 450  | 284  |
| 10     | Pompaneau +     | Perciformes       | Carangidae     | Trachinotus teraia         | Em       | p1-bt     | 3.72 | 680  | 659  |
| 10     | Pompaneau +     | Perciformes       | Ephippidae     | Chaetodipterus lippei      | Ma       | p1-mc     | 3.66 | 310  | 816  |
| 10     | Pompaneau +     | Perciformes       | Carangidae     | Alectis alexandrinus       | Mo       | p1-mc     | 3.6  | 1000 | 427  |
| 10     | Pompaneau +     | Perciformes       | Ephippidae     | Chaetodipterus goreensis   | Mo       | p1-mc     | 3.45 | 300  |      |
| 10     | Pompaneau +     | Batrachoidiformes | Batrachoididae | Batrachoides liberiensis   | Ma       | p1-mc     | 3.67 | 460  | 293  |

|    |                            |                   |                 |                           |    |        |      |      |     |
|----|----------------------------|-------------------|-----------------|---------------------------|----|--------|------|------|-----|
| 10 | Pompaneau +                | Perciformes       | Drepaneidae     | Drepane africana          | ME | p1-mc  | 3.1  | 450  | 163 |
| 10 | Pompaneau +                | Beloniformes      | Exocoetidae     | Fodiator acutus           | Ma | p1-mc  | 3.34 | 180  | 137 |
| 11 | Carangues                  | Perciformes       | Carangidae      | Chloroscombrus chrysurus  | ME | p2-ge  | 3.21 | 650  | 153 |
| 11 | Carangues                  | Perciformes       | Carangidae      | Caranx senegallus         | ME | p2-ge  | 3.86 | 1000 | 516 |
| 11 | Carangues                  | Perciformes       | Carangidae      | Caranx hippos             | ME | p2-ge  | 3.5  | 1240 | 591 |
| 11 | Carangues                  | Perciformes       | Carangidae      | Trachinotus ovatus        | Ma | p2-ge  | 3.73 | 380  | 125 |
| 11 | Carangues                  | Perciformes       | Carangidae      | Hemicaranx bicolor        | Mo | p2-ge  | 3.88 | 700  | 82  |
| 12 | Mâchoirons marins          | Siluriformes      | Ariidae         | Arius latiscutatus        | ME | p2-ge  | 3.34 | 830  | 614 |
| 12 | Mâchoirons marins          | Siluriformes      | Ariidae         | Arius parkii              | ME | p2-ge  | 4.06 | 750  | 526 |
| 12 | Mâchoirons marins          | Siluriformes      | Ariidae         | Arius heudelotii          | ME | p2-ge  | 3.77 | 700  | 455 |
| 13 | Elops                      | Elopiformes       | Elopidae        | Elops lacerta             | ME | p2-pi  | 4.24 | 1000 | 390 |
| 13 | Elops                      | Elopiformes       | Elopidae        | Elops senegalensis        | Ma | p2-pi  | 4.06 | 900  | 525 |
| 14 | Breton africain +          | Perciformes       | Monodactylidae  | Monodactylus sebae        | Es | p2-ge  | 3.88 | 250  | 249 |
| 14 | Breton africain +          | Pleuronectiformes | Paralichthyidae | Citharichthys stampflii   | Em | p2-ge  | 3.87 | 160  | 145 |
| 15 | Sole-langue +              | Pleuronectiformes | Cynoglossidae   | Cynoglossus senegalensis  | Em | p1-bt  | 3.62 | 400  | 524 |
| 15 | Sole-langue +              | Pleuronectiformes | Cynoglossidae   | Cynoglossus monodi        | Mo | p1-bt  | 3.6  | 660  | 132 |
| 15 | Sole-langue +              | Pleuronectiformes | Soleidae        | Synaptura lusitanica      | Ma | p1-bt  | 3.82 | 400  | 333 |
| 16 | Sardinelle +               | Clupéiformes      | Clupeidae       | Sardinella maderensis     | ME | p1-zo  | 3.2  | 310  | 223 |
| 16 | Sardinelle +               | Clupéiformes      | Clupeidae       | Illosha africana          | Em | p1-zo  | 3.44 | 373  | 220 |
| 16 | Sardinelle +               | Clupéiformes      | Clupeidae       | Sardinella aurita         | Ma | p1-zo  | 3.4  | 300  | 133 |
| 16 | Sardinelle +               | Perciformes       | Echeneidae      | Echeneis naucrates        | Mo | p1-zo  | 3.36 | 1100 | 321 |
| 16 | Sardinelle +               | Perciformes       | Echeneidae      | Remora remora             | M  | p1-zo  | 3.08 | 864  | 233 |
| 17 | Gerres                     | Perciformes       | Gerreidae       | Gerres nigr               | Es | p1-mc  | 3.19 | 300  | 222 |
| 17 | Gerres                     | Perciformes       | Gerreidae       | Eucinostomus melanopterus | ME | p1-mc  | 3.39 | 200  | 259 |
| 18 | Ethmalose                  | Clupéiformes      | Clupeidae       | Ethmalosa fimbriata       | Em | he-ph  | 2.5  | 450  | 264 |
| 19 | Mulets +                   | Perciformes       | Mugilidae       | Liza dumerili             | Em | he-de  | 2.68 | 400  | 310 |
| 19 | Mulets +                   | Perciformes       | Mugilidae       | Liza falcipinnis          | Em | he-de  | 2.28 | 410  | 330 |
| 19 | Mulets +                   | Perciformes       | Mugilidae       | Liza grandisquamis        | Em | he-de  | 2.02 | 400  | 300 |
| 19 | Mulets +                   | Perciformes       | Mugilidae       | Mugil curema              | Em | he-de  | 2.01 | 400  | 300 |
| 19 | Mulets +                   | Perciformes       | Mugilidae       | Mugil bananensis          | ME | he-de  | 2.77 | 1000 | 800 |
| 19 | Mulets +                   | Perciformes       | Mugilidae       | Mugil cephalus            | ME | he-de  | 2.13 | 900  | 239 |
| 19 | Mulets +                   | Perciformes       | Scaridae        | Scarus hoefleri           | Mo | he-de? | 2    | 600  | 200 |
| 20 | Pomadasys                  | Perciformes       | Haemulidae      | Pomadasys jubelini        | Em | p1-bt  | 3.33 | 600  | 507 |
| 20 | Pomadasys                  | Perciformes       | Haemulidae      | Pomadasys perotaei        | Em | p1-bt  | 3.31 | 360  | 348 |
| 20 | Pomadasys                  | Perciformes       | Haemulidae      | Pomadasys incisus         | Ma | p1-bt  | 3.8  | 500  | 173 |
| 21 | Tilapias                   | Perciformes       | Cichlidae       | Sarotherodon melanothron  | Es | he-ph  | 2.01 | 280  | 234 |
| 21 | Tilapias                   | Perciformes       | Cichlidae       | Tilapia guineensis        | Es | he-de  | 2.79 | 300  | 298 |
| 22 | Petits benthophages        | Perciformes       | Blenniidae      | Hypleurochilus langi      | Es | p1-bt  | 3.16 | 70   | 51  |
| 22 | Petits benthophages        | Perciformes       | Gobiidae        | Chonophorus lateristriga  | Es | p1-bt  | 2.19 | 264  |     |
| 22 | Petits benthophages        | Tétraodontiformes | Tetraodontidae  | Sphoeroides spengleri     | Mo | p1-bt  | 3.15 | 300  | 133 |
| 22 | Petits benthophages        | Syngnathiformes   | Syngnathidae    | Hippocampus algiricus     | Ma | p1-bt  | 3.44 | 192  | 58  |
| 22 | Petits benthophages        | Syngnathiformes   | Syngnathidae    | Syngnathus pelagicus      | Ma | p1-bt  | 3.33 | 181  | 150 |
| 23 | Oiseaux                    |                   |                 |                           |    |        |      |      |     |
| 24 | Crevettes                  |                   |                 |                           |    |        |      |      |     |
| 25 | Crabes et autres crustacés |                   |                 |                           |    |        |      |      |     |
| 26 | Macrobenthos               |                   |                 |                           |    |        |      |      |     |
| 27 | Méiobenthos                |                   |                 |                           |    |        |      |      |     |
| 28 | Zooplankton                |                   |                 |                           |    |        |      |      |     |



|    |                   |
|----|-------------------|
| 29 | Phytoplankton     |
| 30 | Microphytobenthos |
| 31 | Detritus          |

### Annexe 3 : Tableau présentant le calcul de la mortalité M et du rapport Q/B

| Groupe          | %B<br>groupe | Code<br>Esp | Espèce                      | M<br>Hoenig  | Q/B      | M Gascuel  | Q/B        | M<br>choisi | Q/B<br>choisi | M<br>groupe | Q/B<br>groupe |
|-----------------|--------------|-------------|-----------------------------|--------------|----------|------------|------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| Groupe          | % B          | Code esp    | Nom_espece                  | Fishbas<br>e | Fishbase | Villanueva | Villanueva |             |               |             |               |
| Requin          | 99.858       | CLC         | Carcharhinus leucas         | 0.124        | 4.987    | 0.000      | 0.000      | 0.124       | 4.987         | 0.124       | 4.991         |
|                 | 0.000        | PTB         | Pteromylaeus bovinus        | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 0.142        | TOR         | Torpedo sp.                 | 0.173        | 8.517    | 0.000      | 0.000      | 0.173       | 8.517         |             |               |
| Raies           | 33.958       | DMA         | Dasyatis margarita          | 0.000        | 0.000    | 0.443      | 7.975      | 0.443       | 7.975         | 0.443       | 7.975         |
|                 | 29.218       | DAM         | Dasyatis margaritella       | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 36.824       | RMA         | Rhinoptera marginata        | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
| Oiseaux         |              |             |                             |              |          |            |            |             |               |             |               |
| Otolithes       | 71.280       | PBR         | Pseudotolithus senegallus   | 0.000        | 0.000    | 0.563      | 6.898      | 0.563       | 6.898         | 0.490       | 7.124         |
|                 | 26.983       | PEL         | Pseudotolithus elongatus    | 0.415        | 9.346    | 0.307      | 7.895      | 0.307       | 7.895         |             |               |
|                 | 1.737        | PSN         | Pseudotolithus senegalensis | 0.504        | 6.207    | 0.318      | 4.359      | 0.318       | 4.359         |             |               |
|                 | 0.357        | PTY         | Pseudotolithus typus        | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 23.640       | LIA         | Lichia amia                 | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
| Barracudas      | 91.589       | SPI         | Sphyræna afra               | 0.000        | 0.000    | 0.366      | 7.463      | 0.366       | 7.463         | 0.374       | 7.613         |
|                 | 0.821        | SGU         | Sphyræna guachancho         | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 8.003        | TCR         | Tylosurus crocodilus        | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 2.444        | BES         | Strongylura senegalensis    | 0.000        | 0.000    | 0.461      | 16.436     | 0.461       | 16.436        |             |               |
|                 | 1.253        | HBR         | Hemiramphus brasiliensis    | 0.000        | 0.000    | 1.239      | 15.546     | 1.239       | 15.546        |             |               |
|                 | 5.967        | TLE         | Trichiurus lepturus         | 0.458        | 6.376    | 0.000      | 0.000      | 0.458       | 6.376         |             |               |
| Grand capitaine | 0.000        | POQ         | Polydactylus quadrifilis    | 0.516        | 5.316    | 0.399      | 4.035      | 0.399       | 4.035         | 0.399       | 4.035         |
| Vivaneaux       | 91.761       | LGO         | Lutjanus goreensis          | 0.000        | 0.000    | 1.085      | 12.348     | 1.085       | 12.348        | 0.375       | 4.830         |
|                 | 6.597        | LUD         | Lutjanus dentatus           | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 0.664        | EAE         | Epinephelus aeneus          | 0.261        | 3.979    | 0.427      | 9.887      | 0.261       | 3.979         |             |               |
|                 | 0.459        | OUN         | Orcynopsis unicolor         | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 0.359        | CTR         | Scomberomorus tritor        | 0.488        | 5.682    | 1.109      | 8.122      | 0.488       | 5.682         |             |               |
|                 | 0.143        | ARE         | Argyrosomus regius          | 0.140        | 4.124    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 0.016        | SEC         | Serranus cabrilla           | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
| Tetrodon        | 99.032       | EGU         | Ephippion guttifer          | 0.248        | 6.134    | 0.335      | 6.134      | 0.335       | 6.134         | 0.336       | 6.153         |
|                 | 0.089        | CRH         | Caranx rhonchus             | 0.463        | 8.123    | 0.000      | 0.000      | 0.463       | 8.123         |             |               |
|                 | 0.826        | DBE         | Diplodus bellottii          | 0.419        | 9.372    | 0.000      | 0.000      | 0.419       | 9.372         |             |               |
|                 | 0.032        | AVU         | Albula vulpes               | 0.427        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 0.020        | CHO         | Chaetodon hoeferi           | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
| Diagramme       | 72.445       | PLM         | Plectorhynchus macrolepis   | 0.000        | 0.000    | 0.747      | 10.003     | 0.747       | 10.003        | 0.713       | 9.493         |
|                 | 18.943       | GDE         | Galeoides decadactylus      | 0.624        | 6.811    | 0.935      | 14.853     | 0.624       | 6.811         |             |               |
|                 | 8.612        | BAU         | Brachydeuterus auritus      | 0.616        | 11.083   | 1.280      | 19.316     | 0.616       | 11.083        |             |               |
|                 | 0.016        | LLA         | Lagocephalus laevigatus     | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 0.193        | DPU         | Dicentrarchus punctatus     | 0.250        | 9.367    | 0.000      | 0.000      | 0.250       | 9.367         |             |               |
|                 | 2.245        | AMO         | Acanthurus monroviae        | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
| Pompaneau       | 74.485       | TFA         | Trachinotus teraia          | 0.000        | 0.000    | 0.388      | 6.411      | 0.388       | 6.411         | 0.388       | 6.411         |
|                 | 10.713       | CLI         | Chaetodipterus lippei       | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 11.036       | SAL         | Alectis alexandrinus        | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 0.076        | CHG         | Ephippus goreensis          | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 3.360        | BLI         | Batrachoides liberiensis    | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 | 0.172        | DAF         | Drepane africana            | 0.371        | 7.351    | 0.701      | 7.549      | 0.701       | 7.549         |             |               |
|                 | 0.157        | FAC         | Fodiator acutus             | 0.000        | 0.000    | 0.000      | 0.000      |             |               |             |               |
|                 |              |             |                             |              |          |            |            |             |               |             |               |

|                     |        |     |                           |       |        |       |        |       |        |       |        |
|---------------------|--------|-----|---------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| Carangues           | 70.325 | CHL | Chloroscombrus chrysurus  | 0.340 | 12.643 | 0.745 | 22.829 | 0.745 | 22.829 | 0.732 | 20.308 |
|                     | 15.456 | CAS | Caranx senegallus         | 0.000 | 0.000  | 0.424 | 13.356 | 0.424 | 13.356 |       |        |
|                     | 14.158 | CHI | Caranx hippos             | 0.985 | 13.033 | 1.000 | 15.416 | 1.000 | 15.416 |       |        |
|                     | 0.045  | LGL | Trachinotus ovatus        | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     | 0.016  | AAM | Hemicaranx bicolor        | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     |        |     |                           |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Machoirons marins   | 74.502 | AGA | Arius latiscutatus        | 0.233 | 6.459  | 0.331 | 10.744 | 0.331 | 10.744 | 0.314 | 9.729  |
|                     | 0.161  | AHE | Arius heudelotii          | 0.217 | 6.800  | 0.000 | 0.000  | 0.217 | 6.800  |       |        |
|                     | 25.337 | ARP | Arius parkii              | 0.263 | 6.764  | 0.000 | 0.000  | 0.263 | 6.764  |       |        |
|                     |        |     |                           |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Elops               | 86.330 | ELA | Elops lacerta             | 0.000 | 0.000  | 0.506 | 10.293 | 0.506 | 10.293 | 0.506 | 10.293 |
|                     | 13.670 | ELS | Elops senegalensis        | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     |        |     |                           |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Breton africain     | 99.438 | PSB | Monodactylus sebae        | 0.000 | 0.000  | 1.029 | 18.269 | 1.029 | 18.269 | 1.029 | 18.269 |
|                     | 0.562  | CST | Citharichthys stampflii   | 0.000 | 0.000  | 1.261 | 15.458 | 1.261 | 15.458 |       |        |
|                     |        |     |                           |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Sole-langue         | 95.964 | CYS | Cynoglossus senegalensis  | 0.156 | 6.156  | 0.280 | 6.513  | 0.280 | 6.513  | 0.280 | 6.513  |
|                     | 0.102  | CYM | Cynoglossus monodi        | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     | 3.933  | SLU | Synaptura lusitanica      | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     |        |     |                           |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Sardinelle          | 78.472 | SEB | Sardinella maderensis     | 0.510 | 10.554 | 0.893 | 17.941 | 0.893 | 17.941 | 0.848 | 18.101 |
|                     | 21.528 | IAF | Ilisha africana           | 1.233 | 12.213 | 0.684 | 18.682 | 0.684 | 18.682 |       |        |
|                     | 0.103  | ENA | Echeneis naucrates        | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     | 0.016  | RRE | Remora remora             | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     | 0.010  | SAU | Sardinella aurita         | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     |        |     |                           |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Gerres              | 30.951 | GME | Eucinostomus melanopterus | 0.000 | 0.000  | 0.616 | 13.636 | 0.616 | 13.636 | 0.616 | 13.636 |
|                     | 69.049 | GNI | Gerres nigri              | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     |        |     |                           |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Ethmalose           | 0.000  | EFI | Ethmalosa fimbriata       | 0.662 | 34.931 | 0.698 | 28.978 | 0.698 | 28.978 | 0.698 | 28.978 |
|                     |        |     |                           |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Mulets              | 58.156 | LDU | Liza dumerili             | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        | 0.403 | 26.221 |
|                     | 16.698 | LFA | Liza falcipinnis          | 0.000 | 0.000  | 1.478 | 32.995 | 1.478 | 32.995 |       |        |
|                     | 4.436  | LGR | Liza grandisquamis        | 0.279 | 20.920 | 0.510 | 29.319 | 0.510 | 29.319 |       |        |
|                     | 5.993  | MBA | Mugil bananensis          | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     | 0.247  | MCE | Mugil cephalus            | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     | 14.410 | MCU | Mugil curema              | 0.295 | 23.123 | 0.000 | 0.000  | 0.295 | 23.123 |       |        |
|                     | 0.060  | SHO | Scarus hoefleri           | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     |        |     |                           |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Pomadasys           | 22.952 | PIN | Pomadasys incisus         | 0.343 | 10.166 | 0.000 | 0.000  | 0.343 | 10.166 | 0.535 | 9.939  |
|                     | 77.048 | PJU | Pomadasys jubelini        | 0.463 | 7.167  | 0.728 | 9.712  | 0.728 | 9.712  |       |        |
|                     | 58.210 | PPE | Pomadasys perotaei        | 0.000 | 0.000  | 0.000 | 0.000  |       |        |       |        |
|                     |        |     |                           |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Tilapias            | 58.757 | TGU | Tilapia guineensis        | 0.000 | 0.000  | 0.914 | 37.258 | 0.914 | 37.258 | 0.948 | 33.926 |
|                     | 41.243 | THE | Sarotherodon melanothron  | 0.000 | 0.000  | 0.995 | 29.172 | 0.995 | 29.172 |       |        |
|                     |        |     |                           |       |        |       |        |       |        |       |        |
| Petits benthophages | 1.456  | HLA | Hyleurochilus langi       |       |        |       |        |       |        |       |        |
|                     | 0.485  | GGU | Awaous lateristriga       |       |        |       |        |       |        |       |        |
|                     | 96.602 | SSP | Sphoeroides spengleri     |       |        |       |        |       |        |       |        |
|                     | 0.971  | HPU | Hippocampus algiricus     |       |        |       |        |       |        |       |        |
|                     | 0.485  | SPE | Syngnathus pelagicus      |       |        |       |        |       |        |       |        |

**Annexe 4 : Paramètres entrés dans le modèle Ecopath 2003 pour F=0.1**

| Group name          | B      | P/B   | Q/B    | EE    |
|---------------------|--------|-------|--------|-------|
| Requins             | 0.004  | 0.224 | 4.991  |       |
| Dauphins            |        | 0.07  | 12.12  | 0.15  |
| Oiseaux             | 0.0024 | 0.5   | 79.5   |       |
| Raies               | 0.96   | 0.543 | 7.975  |       |
| Otolithes +         | 1.26   | 0.59  | 7.124  |       |
| Barracudas +        | 1.87   | 0.474 | 7.613  |       |
| Grand capitaine     | 2.77   | 0.499 | 4.035  |       |
| Vivaneaux +         | 0.76   | 0.475 | 4.83   |       |
| Tétrodon +          | 1.22   | 0.436 | 6.153  |       |
| Petit capitaine +   | 1.24   | 0.813 | 9.493  |       |
| Pompaneau +         | 0.79   | 0.488 | 6.411  |       |
| Carangues           | 0.75   | 0.832 | 20.308 |       |
| Mâchoirons marins   | 7.01   | 0.414 | 9.729  |       |
| Elops               | 1.29   | 0.606 | 10.293 |       |
| Breton africain     | 0.66   | 1.129 | 18.269 |       |
| Sole-langue +       | 0.8    | 0.38  | 6.513  |       |
| Sardinelle +        | 4.49   | 0.948 | 18.101 |       |
| Gerres              | 3.35   | 0.716 | 13.636 |       |
| Ethmalose           | 24.75  | 0.798 | 28.978 |       |
| Mulets              | 16.08  | 0.503 | 26.221 |       |
| Pomadasys           | 1.88   | 0.635 | 9.939  |       |
| Tilapias            | 2      | 1.048 | 33.926 |       |
| Petits benthophages |        | 2.5   | 19.887 | 0.541 |
| Crevettes           |        | 4.605 | 22     | 0.95  |
| Crabes              |        | 2.5   | 8.5    | 0.8   |
| Macrobenthos        |        | 1.2   | 10     | 0.95  |
| Meiobenthos         |        | 4     | 50     | 0.95  |
| Zooplancton         |        | 50    | 150    | 0.95  |
| Phytoplancton       |        | 138   |        | 0.5   |
| Microphytobenthos   |        | 15    |        | 0.5   |
| Detritus            | 1      |       |        |       |

### **Annexe 5 : Matrice des régimes alimentaire pour le modèle Bamboung 2003**

| modèle 2003       | Requins+ | Dauphins | Oiseaux | Raies | Otolithes+ | Barracudas | Grand capitaine | Vivaneaux+ |
|-------------------|----------|----------|---------|-------|------------|------------|-----------------|------------|
| Requins           | 0.001    | 0        | 0       | 0     | 0          | 0          | 0               | 0          |
| Dauphins          | 0.001    | 0        | 0       | 0     | 0          | 0          | 0               | 0          |
| Oiseaux           | 0.00001  | 0        | 0       | 0     | 0          | 0          | 0               | 0          |
| Raies             | 0.08     | 0        | 0       | 0     | 0          | 0.001      | 0.001           | 0          |
| Otolithes +       | 0.02     | 0        | 0.006   | 0     | 0          | 0.01       | 0.002           | 0          |
| Barracudas +      | 0.01     | 0        | 0.002   | 0     | 0          | 0          | 0.001           | 0          |
| Grand capitaine   | 0.01     | 0        | 0.00046 | 0     | 0          | 0.005      | 0               | 0          |
| Vivaneaux +       | 0.059    | 0.01     | 0       | 0     | 0.005      | 0          | 0.005           | 0          |
| Tétrodon +        | 0.032    | 0.01     | 0.001   | 0     | 0          | 0.017      | 0.005           | 0          |
| Petit capitaine + | 0.06     | 0.01     | 0.083   | 0     | 0.006      | 0.01       | 0.007           | 0          |
| Pompaneau +       | 0.042    | 0        | 0       | 0     | 0          | 0.005      | 0.005           | 0          |
| Carangues         | 0.09     | 0.01     | 0.018   | 0     | 0.01       | 0.002      | 0               | 0          |
| Mâchoirons mari   | 0.12     | 0        | 0.012   | 0     | 0          | 0.03       | 0.03            | 0.03       |
| Elops             | 0.05     | 0.01     | 0       | 0     | 0          | 0.005      | 0               | 0          |
| Breton africain   | 0.01     | 0.01     | 0.009   | 0     | 0.02       | 0.005      | 0.005           | 0          |
| Sole-langue +     | 0.01     | 0        | 0.012   | 0     | 0.005      | 0.005      | 0.005           | 0          |
| Sardinelle +      | 0.04     | 0.17     | 0.093   | 0     | 0.03       | 0.04       | 0.03            | 0.04       |
| Gerres            | 0.02     | 0.09     | 0.032   | 0     | 0.004      | 0.03       | 0.03            | 0.04       |
| Ethmalose         | 0.1      | 0.19     | 0.026   | 0     | 0.09       | 0.41       | 0.13            | 0.08       |
| Mulets            | 0.099    | 0.21     | 0.06    | 0     | 0.007      | 0.07       | 0.027           | 0.06       |
| Pomadasys         | 0.05     | 0.06     | 0.003   | 0     | 0.004      | 0.02       | 0.025           | 0          |
| Tilapias          | 0.02     | 0.01     | 0.032   | 0     | 0.01       | 0.01       | 0.02            | 0          |
| Petits benthoph   | 0.01     | 0.02     | 0.079   | 0     | 0.04       | 0.07       | 0.05            | 0.03       |
| Crevettes         | 0.01     | 0.09     | 0.026   | 0.5   | 0.369      | 0.235      | 0.266           | 0.22       |
| Crabes            | 0.04     | 0.08     | 0.061   | 0     | 0.25       | 0.01       | 0.16            | 0.3        |
| Macrobenthos      | 0.01     | 0.02     | 0.382   | 0.3   | 0.01       | 0.01       | 0               | 0.2        |
| Meiobenthos       | 0        | 0        | 0       | 0.15  | 0.07       | 0          | 0.16            | 0          |
| Zooplankton       | 0        | 0        | 0       | 0     | 0.07       | 0          | 0.036           | 0          |
| Phytoplankton     | 0        | 0        | 0       | 0     | 0          | 0          | 0               | 0          |
| Microphytobenth   | 0        | 0        | 0       | 0.03  | 0          | 0          | 0               | 0          |
| Detritus          | 0.005    | 0        | 0       | 0.02  | 0          | 0          | 0               | 0          |
| Import            | 0        | 0        | 0.063   | 0     | 0          | 0          | 0               | 0          |
| Sum               | 0.999    | 1        | 1       | 1     | 1          | 1          | 1               | 1          |

| Tetrodon+ | Diagramme+ | Pompaneau+ | Carangues | Mâchoirons_marins | Elops | Breton_africain+ | Sole-langue+ |
|-----------|------------|------------|-----------|-------------------|-------|------------------|--------------|
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0.005     | 0          | 0          | 0         | 0.002             | 0.01  | 0.002            | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0.001 | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0.001 | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0.005     | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0.04      | 0.02       | 0.002      | 0.02      | 0.005             | 0.04  | 0.007            | 0            |
| 0.04      | 0.01       | 0.002      | 0.001     | 0.005             | 0.01  | 0                | 0            |
| 0.06      | 0.01       | 0.002      | 0.005     | 0.045             | 0.19  | 0.005            | 0            |
| 0         | 0.02       | 0.002      | 0.005     | 0.02              | 0.03  | 0.005            | 0.01         |
| 0.005     | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0.002 | 0                | 0            |
| 0.005     | 0.005      | 0.002      | 0.01      | 0.005             | 0.01  | 0                | 0            |
| 0.01      | 0.015      | 0.002      | 0.02      | 0.013             | 0.01  | 0                | 0            |
| 0.11      | 0.22       | 0.313      | 0.255     | 0.25              | 0.56  | 0.1              | 0.11         |
| 0.21      | 0.15       | 0.2        | 0         | 0.3               | 0     | 0.1              | 0.22         |
| 0.51      | 0.1        | 0.175      | 0         | 0.091             | 0.042 | 0.205            | 0.36         |
| 0         | 0.06       | 0.25       | 0.05      | 0.1               | 0     | 0.03             | 0.2          |
| 0         | 0.27       | 0.05       | 0.574     | 0.154             | 0.094 | 0.546            | 0.1          |
| 0         | 0.09       | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0.01       | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0.02       | 0          | 0.06      | 0.01              | 0     | 0                | 0            |
| 0         | 0          | 0          | 0         | 0                 | 0     | 0                | 0            |
| 1         | 1          | 1          | 1         | 1                 | 1     | 1                | 1            |

| Sardinelle+ | Gerres | Ethmalose | Mulets+ | Pomadasys | Tilapias | Petits_benthophages | Crevettes |
|-------------|--------|-----------|---------|-----------|----------|---------------------|-----------|
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0.02      | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0.04      | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0.01      | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0.02      | 0        | 0                   | 0         |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0.01      | 0        | 0                   | 0         |
| 0.05        | 0.24   | 0         | 0       | 0.11      | 0        | 0.005               | 0         |
| 0           | 0.05   | 0         | 0       | 0.07      | 0        | 0                   | 0         |
| 0.25        | 0.25   | 0.14      | 0.3     | 0.36      | 0.003    | 0.075               | 0         |
| 0.05        | 0.2    | 0.01      | 0.05    | 0.2       | 0.003    | 0.1                 | 0.1       |
| 0.35        | 0.1    | 0.4       | 0.3     | 0.15      | 0.024    | 0.15                | 0.4       |
| 0.2         | 0.1    | 0.3       | 0.2     | 0         | 0.31     | 0.1                 | 0.3       |
| 0.05        | 0.05   | 0.1       | 0.05    | 0         | 0.2      | 0.15                | 0.1       |
| 0.05        | 0.01   | 0.05      | 0.1     | 0.01      | 0.46     | 0.42                | 0.1       |
| 0           | 0      | 0         | 0       | 0         | 0        | 0                   | 0         |
| 1           | 1      | 1         | 1       | 1         | 1        | 1                   | 1         |

| Crabes et autres crustacés | Macrobenthos | Meiobenthos | Zooplancton |
|----------------------------|--------------|-------------|-------------|
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 0.005                      | 0            | 0           | 0           |
| 0.4                        | 0            | 0           | 0           |
| 0.2                        | 0            | 0.01        | 0           |
| 0.1                        | 0            | 0.1         | 0.05        |
| 0.03                       | 0.5          | 0.1         | 0.85        |
| 0.06                       | 0.15         | 0.14        | 0.05        |
| 0.205                      | 0.35         | 0.65        | 0.05        |
| 0                          | 0            | 0           | 0           |
| 1                          | 1            | 1           | 1           |



## **Annexe 6 : Résultats des modèles effets-variables environnementales**

- Analysis of Variance Table

Response: bamboung\$Salinite\_Sfce

|                   | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)        |
|-------------------|-----|--------|---------|---------|---------------|
| bamboung\$Saison  | 2   | 6359.5 | 3179.8  | 677.745 | < 2.2e-16 *** |
| bamboung\$Secteur | 2   | 307.3  | 153.7   | 32.751  | 4.544e-13 *** |
| bamboung\$Année   | 6   | 295.4  | 49.2    | 10.494  | 3.794e-10 *** |
| Residuals         | 205 | 961.8  | 4.7     |         |               |

- Analysis of Variance Table

Response: bamboung\$Temperature\_Sfce

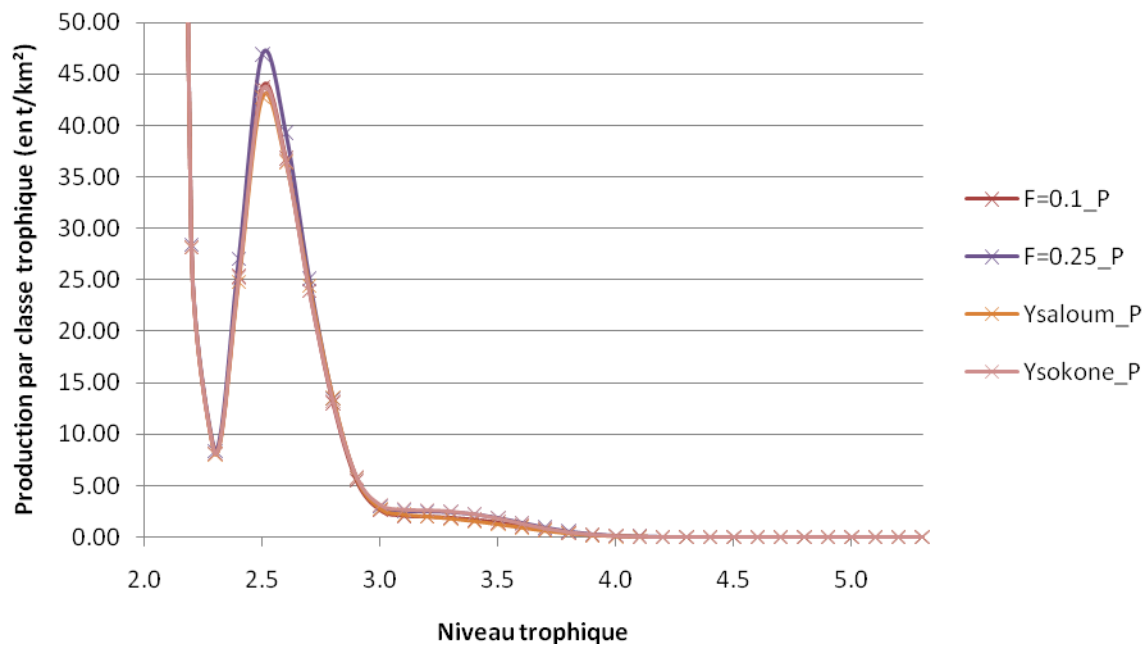
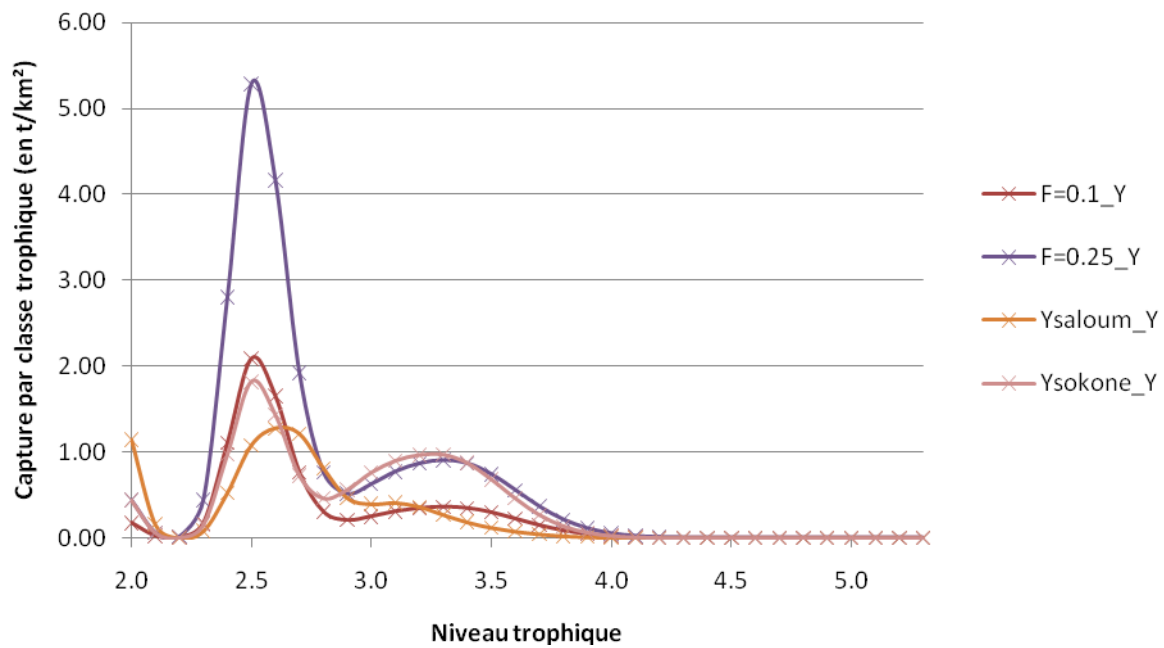
|                   | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value  | Pr(>F)        |
|-------------------|-----|--------|---------|----------|---------------|
| bamboung\$Saison  | 2   | 980.46 | 490.23  | 435.2855 | < 2.2e-16 *** |
| bamboung\$Secteur | 2   | 34.51  | 17.26   | 15.3222  | 6.287e-07 *** |
| bamboung\$Année   | 6   | 36.20  | 6.03    | 5.3577   | 3.683e-05 *** |
| Residuals         | 205 | 230.88 | 1.13    |          |               |

- Analysis of Variance Table

Response: bamboung\$Oxygene\_Sfce

|                   | Df  | Sum Sq  | Mean Sq | F value | Pr(>F)        |
|-------------------|-----|---------|---------|---------|---------------|
| bamboung\$Saison  | 2   | 9163.5  | 4581.8  | 53.1540 | < 2.2e-16 *** |
| bamboung\$Secteur | 2   | 5391.2  | 2695.6  | 31.2721 | 1.549e-12 *** |
| bamboung\$Année   | 6   | 1212.5  | 202.1   | 2.3444  | 0.03284 *     |
| Residuals         | 199 | 17153.3 | 86.2    |         |               |

**Annexe 7 : Spectre de capture et de production pour les différentes hypothèses de capture du modèle Bamboung 2003.**



**Annexe 8 : Résultats des tests de comparaison du modèle Bamboung 2008 et de la démarche EcoTroph (ET-Diagnosis) en partant des différentes hypothèses de capture du modèle Bamboung 2003**

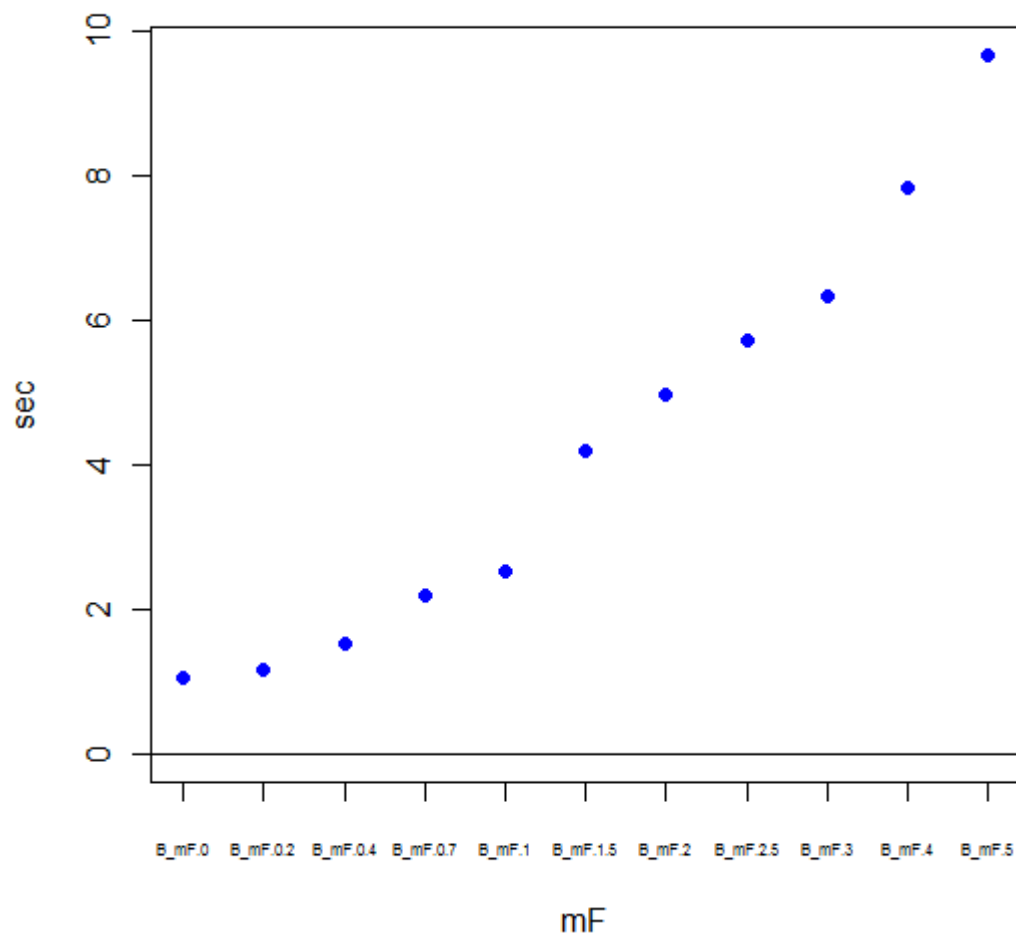


Figure 1 : En partant de Y=Ysaloum

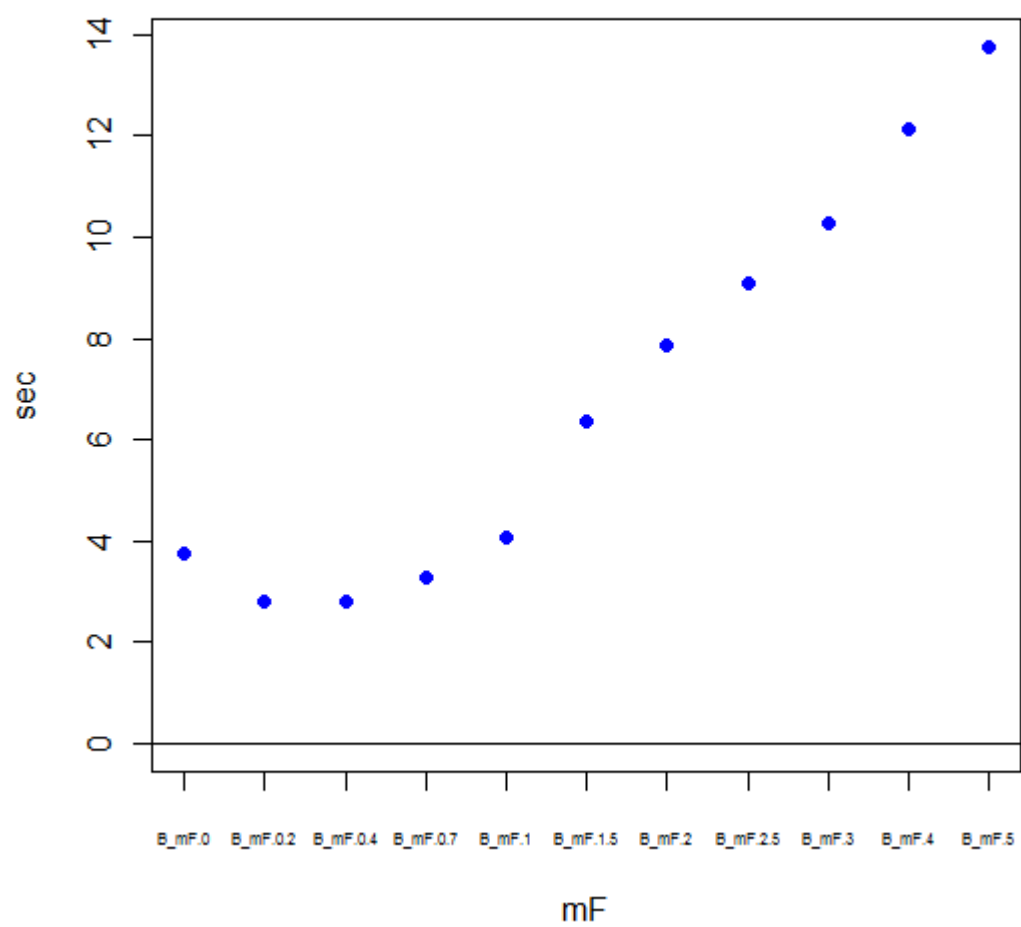


Figure 2 : En partant de Y=Ysokone

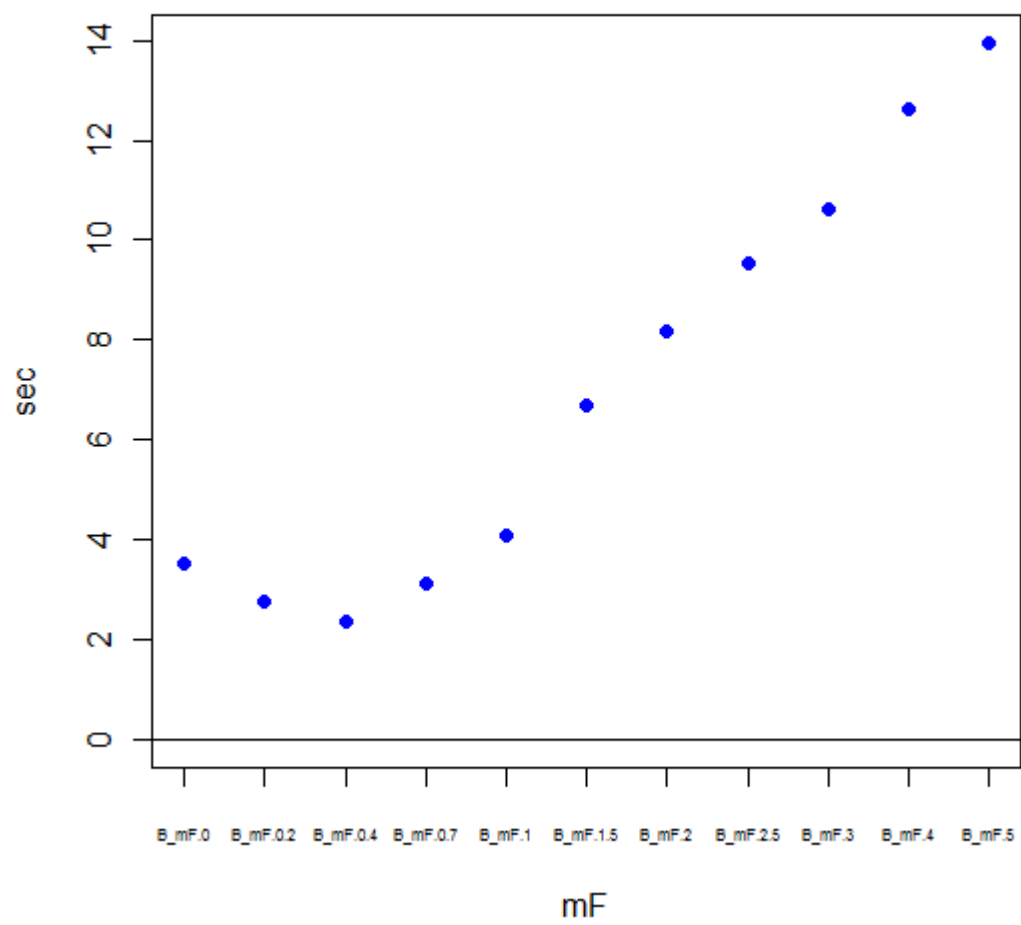


Figure 3 : En partant de  $F=0.25$





|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                               |                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Pôle Halieutique :<br>Spécialisation ou spécialité : SHA dominante : REA<br>Enseignant responsable : Olivier Le Pape          | Cadre réservé à la bibliothèque centrale |
| Auteur(s) : Colléter Mathieu<br>Nb pages : 41 p.      Annexe(s) : 18 p.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Organisme d'accueil : Agrocampus Ouest<br>Laboratoire d'Ecologie Halieutique                                                  |                                          |
| Année de soutenance : 2010                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Adresse : 65 rue de St-Brieuc – CS 84215<br>35042 RENNES – Cedex - France<br>Maître de stage : Didier Gascuel                 |                                          |
| Titre : Analyse de l'impact d'une Aire Marine Protégée (AMP) sur le fonctionnement trophique d'un écosystème :<br>Modélisation Ecopath/EcoTroph de la réserve du bolong de Bamboung, Sénégal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                               |                                          |
| <p>Résumé :</p> <p>Les écosystèmes marins ont connu de profonds bouleversements durant les dernières décennies, et ce notamment par une augmentation de la pression anthropique. La pêche a un impact direct sur les ressources, mais également indirect via les réseaux trophiques. Face à ce constat alarmant, de nombreux Etats se sont engagés à mettre en place une Approche Ecosystémique des Pêches (AEP) afin de mieux gérer les ressources en prenant en compte les impacts anthropiques sur l'ensemble des compartiments d'un écosystème. Au sein de cette politique de gestion, l'utilisation des Aires Marines Protégées (AMP) pour sauvegarder et gérer les écosystèmes s'est imposée comme un outil efficace. Cependant, l'intérêt des AMP comme outil de gestion des stocks halieutiques, et comme méthode de minimisation de l'impact de la pêche à l'échelle d'un écosystème global, reste mal connu. L'objectif de cette étude, menée dans le cadre du projet de recherche AMPHORE, est d'évaluer l'impact de la mise en place d'une AMP sur le fonctionnement trophique de l'écosystème du bolong de Bamboung (Sine-Saloum, Sénégal). Cette zone fait l'objet d'un suivi scientifique depuis 2003, dernière année où la pêche était autorisée. Dans un premier temps, un modèle trophodynamique Ecopath est construit pour l'année 2003. Ce modèle de référence permet une synthèse cohérente du fonctionnement trophique de l'écosystème. Puis des séries d'indices d'abondance sont calculées grâce aux données de pêche expérimentale, nous permettant de construire des modèles dérivés pour l'année 2008 et le Sangako, bolong similaire mais pêché. Nous cherchons ensuite à mesurer l'effet réserve en simulant, à l'aide des routines EcoTroph, différents scénarii de pêche, et en quantifiant leurs effets sur les biomasses et la biodiversité trophique de l'écosystème. Enfin, une analyse de sensibilité est menée.</p> |                                                                                                                               |                                          |
| <p>Abstract :</p> <p><i>Marine ecosystems encountered deep changes during last decades, notably by an increase of human pressure. Fishing has a direct impact on resources, but also indirect via the trophic networks. In view of this alarming situation, many States decided to set up an Ecosystem Approach to Fisheries (EAF) to manage in a better way fishing stocks, by taking into account human impacts on all the compartments of an ecosystem. Within this EAF, the use of the Marine Protected Areas (MPA) to protect and manage ecosystems is now viewed as an efficient tool. However, the efficiency of MPA as a tool to manage fishing stocks, and as method of minimization of the fishing impact on an entire ecosystem is badly known. The objective of this study, led as part of the research project AMPHORE, is to assess the impact of the implementation of an MPA on the trophic network of the bolong of Bamboung (Sine-Saloum, Senegal). This zone is scientifically monitored since 2003, last year of allowed fishing. First, we built an Ecopath mass-balanced model for the year 2003 with the aim of synthesizing the data available on this marine ecosystem and the trophic network. Then series of abundance index are calculated thanks to data of experimental fishing, allowing us to construct models derived for the year 2008 and the Sangako, similar but still fished bolong. Moreover, we try to measure the reserve effect by simulating, with EcoTroph routines, different fishing scenarios, and by quantifying their effects on biomasses and trophic biodiversity of the ecosystem. Finally, a sensitiveness analysis is led.</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                               |                                          |
| Mots-clés : AMP, Bamboung, Réseau trophique, Ecopath, EcoTroph<br><br>Key-words : MPA, Bamboung, Trophic network, Ecopath, EcoTroph                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Diffusion :</b><br><input checked="" type="checkbox"/> Non limitée<br><input type="checkbox"/> Limitée (préciser au verso) |                                          |

Je soussigné Colléter Mathieu propriétaire des droits de reproduction du résumé du présent document, autorise toutes les sources bibliographiques à signaler et publier ce résumé.

Date :

Signature :