

Laboratoire Ecologie Halieutique  
Agrocampus Ouest Centre de Rennes



Laboratoire Environnement Marin Littoral  
Université de Nice Sophia Antipolis



---

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

**Evaluation de l'efficacité des AMP par modélisation  
du fonctionnement trophique de l'écosystème :  
Cas du Parc national de Port-Cros, en Méditerranée**



**Présenté par :** VALLS Audrey

**Soutenu le :** 11 septembre 2009





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

**Evaluation de l'efficacité des AMP par modélisation  
du fonctionnement trophique de l'écosystème :  
Cas du Parc national de Port-Cros, en Méditerranée**

**Présenté par :** VALLS Audrey

**Soutenu le :** 11 septembre 2009

**Devant le Jury :**

M. GASCUEL Didier, Pôle Halieutique, Agrocampus Ouest

M. LE PAPE Olivier, Pôle Halieutique, Agrocampus Ouest

M. BOZEC Yves-Marie, Agrocampus Ouest

M. LOBRY Jérémie, CEMAGREF



## Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier les membres du Laboratoire Environnement Marin Littoral de l'Université de Nice, qui m'ont accueillie dans leur équipe au début de mon stage.

J'adresse plus particulièrement des remerciements au Professeur Patrice Francour, co-encadrant de ce stage, pour sa disponibilité, ses conseils avisés et pour m'avoir guidée dans la consultation des thèses et publications de sa bibliothèque. Son aide m'a permis de gagner un temps précieux dans la collecte des données nécessaires à la construction du modèle.

Merci également aux stagiaires, doctorants et post-doctorants, ingénieurs et chercheurs du laboratoire, pour m'avoir reçue chaleureusement au cours de mes deux premiers mois de stage à Nice.

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

Un merci tout particulier au Professeur Sylvie Guénette, co-encadrante de mon stage, pour sa bonne humeur, sa disponibilité et ses conseils, et surtout pour son aide précieuse dans l'apprentissage de l'utilisation du logiciel Ecopath.

Merci également au Professeur Didier Gascuel, encadrant principal de ce stage, pour ses conseils avisés tout au long de mon stage et son aide dans l'utilisation d'EcoTroph.

Merci aussi aux stagiaires, qui ont occupé le même « bocal » que moi, pour leur compagnie et leur sympathie, et aux thésards et chercheurs du laboratoire de Rennes, pour m'avoir accueillie dans leur équipe.

Merci enfin à Catherine Cliquet, la documentaliste, pour son aide lorsque mes recherches bibliographiques semblaient dans l'impasse.

Pour finir, je remercie toutes les personnes que j'ai pu rencontrer pendant mon stage, et qui m'ont aidée, de près ou de loin, à améliorer mon travail.

Je pense notamment aux personnes rencontrées lors du 9<sup>ème</sup> Forum de l'Association Française d'Halieumétrie, à Brest, et aux chercheurs du Centre de Recherche Halieutique, à Sète.



# Table des matières

I. Introduction	1
II. Matériel et Méthodes	3
1. Le site d'étude : présentation de l'AMP de Port-Cros	3
1-1. Généralités	3
1-2. La pêche professionnelle à Port-Cros	3
2. Les outils : présentation des modèles trophodynamiques	4
2-1. Présentation d'Ecopath	4
2-2. Présentation d'EcoTroph	5
3. Méthodologie : construction du modèle Ecopath	6
3-1. Elaboration des groupes trophiques	6
3-2. Détermination des paramètres d'entrée des groupes trophiques	11
3-3. Equilibrage du modèle Ecopath	15
4. Méthodologie : simulations sous EcoTroph	15
4-1. Passage de Ecopath à EcoTroph avec « ET-Tranpose »	15
4-2. Simulations de différents scénarii de pêche avec « ET-Diagnosis »	15
III. Résultats	17
1. Résultats du modèle Ecopath	17
1-1. Equilibrage du modèle Ecopath	17
1-2. Indices écologiques du modèle Ecopath	18
2. Résultats du modèle EcoTroph	23
2-1. Représentation du modèle Ecopath en fonction des niveaux trophiques	23
2-2. Simulation de différents scénarii de pêche	24
IV. Discussion	27
1. Analyse critique des choix méthodologiques	27
2. Analyse critique des données manquantes et disponibles	27
2-1. Mise en évidence des données manquantes	27
2-2. Prise en compte de l'incertitude sur les données	28
3. Validation des résultats du modèle	29
V. Conclusion	30
Bibliographie	31



# Liste des tableaux et figures

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Critères d'élaboration des groupes trophiques de poissons	8
Tableau 2 : Détail des groupes trophiques de poissons	9
Tableau 3 : Détail des groupes trophiques d'invertébrés et d'oiseaux	10
Tableau 4 : Hypothèses des différents scénarii de pêche	16
Tableau 5 : Paramètres en entrée (en normal) et en sortie (en gras) du modèle Ecopath	17
Tableau 6 : Valeur relative (en %) des indicateurs de biomasse par rapport à l'état vierge	24

## Liste des figures

Figure 1 : Réglementation marine de Port-Cros (Source : Parc national de Port-Cros)	3
Figure 2 : Mortalité par pêche accessible $F^*$ et Taux de pertes par pêche accessible $\phi^*$ par scénario	16
Figure 3 : Représentation schématique des groupes trophiques du modèle Ecopath en fonction de leur niveau trophique moyen $\tau_i$	19
Figure 4 : Indice d'Omnivorie $IO_i$ et niveau trophique moyen $\tau_i$ par groupe trophique	20
Figure 5 : Efficacité Ecotrophique $EE_i$ des différents groupes trophiques	20
Figure 6 : Impact Trophique Mixte $ITM_i$ des groupes trophiques de poissons et de la pêche	21
Figure 7 : Indices de recouvrement de niche trophique	22
Figure 8 : Biomasse en fonction du niveau trophique par groupe trophique d'invertébrés	23
Figure 9 : Biomasse en fonction du niveau trophique par groupe trophique de poissons	23
Figure 10 : Captures en fonction du niveau trophique par groupe trophique pêché	24
Figure 11 : Indicateurs : niveau trophique moyen (en haut) et biomasse (en bas)	25
Figure 12 : Spectres trophiques du ratio de biomasse (en haut) et des captures (en bas)	26



## Liste des annexes

Annexe I : Autorités	I
Annexe II : Niveau trophique $\tau$ et Longueur maximale $L_{\max}$ des poissons	II
Annexe III : Calcul des captures Y et accessibilités par groupe trophique pêché	III
Annexe IV : Calcul des biomasses B par groupe trophique de poissons	IV
Annexe V : Calcul des ratios P/B et Q/B par groupe trophique de poissons	VII
Annexe VI : Références des données de composition alimentaire des poissons	X
Annexe VII : Calcul des biomasses B par groupe trophique d'invertébrés	XII
Annexe VIII : Calcul des ratios P/B et Q/B par groupe trophique d'invertébrés	XIV
Annexe IX : Equilibrage des biomasses B et des ratios P/B et Q/B	XV
Annexe X : Compositions alimentaires DC des groupes trophiques	XVI
Annexe XI : Analyse de sensibilité du modèle EcoTroph	XIX



## Table des notations

<b>Notation</b>	<b>Définition du paramètre</b>	<b>Unité</b>
$\alpha\tau$ :	Coefficient de contrôle Top-Down	
a, b :	Coefficients de croissance	
A :	Ratio de l'aspect de la nageoire caudale	( $\_$ )
$\beta\tau$ :	Coefficient de recyclage de biomasse	
B :	Biomasse totale	(t)
$B_i$ :	Biomasse du groupe trophique i	(t/km <sup>2</sup> )
$B_\tau$ :	Biomasse de la classe trophique $\Delta\tau$	(t)
$B^*\tau$ :	Biomasse accessible à la pêche de la classe trophique $\Delta\tau$	(t)
$B_{\text{acci}}$ :	Biomasse accumulée du groupe trophique i	(t/km <sup>2</sup> /an)
$B_{\text{préd}}$ :	Biomasse des prédateurs ( $\tau > 3,5$ )	(t)
d :	Constante de régime alimentaire détritivore	
$DC_{ij}$ :	Fraction du groupe i dans le régime alimentaire du groupe j	
EE :	Efficacité Ecotrophique	( $\_$ )
$EE_i$ :	Efficacité Ecotrophique du groupe trophique i	( $\_$ )
Ex :	Exportations	(t/km <sup>2</sup> /an)
$Ex_i$ :	Exportations du groupe trophique i	(t/km <sup>2</sup> /an)
F :	Mortalité par pêche	(/an)
$F_i$ :	Mortalité par pêche du groupe trophique i	(/an)
$F_\tau$ :	Mortalité par pêche de la classe trophique $\Delta\tau$	(/an)
$F^*\tau$ :	Mortalité par pêche accessible de la classe trophique $\Delta\tau$	(/an)
h :	Constante de régime alimentaire herbivore	
i :	Groupe trophique (proie)	
$IO_i$ :	Indice d'Omnivorie du groupe trophique i	
$ITM_i$ :	Impact Trophique Mixte du groupe trophique i	
j :	Groupe trophique prédateur	
K :	Coefficient de croissance de Von Bertalanffy	(/an)
L :	Longueur totale moyenne	(cm)
$L_{\text{inf}}$ :	Longueur infinie	(cm)
$L_{\text{max}}$ :	Longueur maximale	(cm)
mF :	Multiplicateur d'effort de pêche	
M :	Mortalité naturelle	(/an)
$M_{0i}$ :	Mortalité naturelle par autres causes du groupe trophique i	(/an)
$M_{2i}$ :	Mortalité naturelle par prédation du groupe trophique i	(/an)

<b>Notation</b>	<b>Définition du paramètre</b>	<b>Unité</b>
$\varphi$ :	Pertes par pêche	(/an)
$\varphi\tau$ :	Pertes par pêche de la classe trophique $\Delta\tau$	(/an)
$\varphi^*\tau$ :	Pertes par pêche accessible de la classe trophique $\Delta\tau$	(/an)
$\Phi\tau$ :	Flux de biomasse de la classe trophique $\Delta\tau$	(t/an)
P :	Production	(t/km <sup>2</sup> /an)
$P_i$ :	Production du groupe trophique i	(t/km <sup>2</sup> /an)
$P\tau$ :	Production de la classe trophique $\Delta\tau$	(t)
P/B :	Ratio Production/Biomasse	(/an)
$(P/B)_i$ :	Ratio Production/Biomasse du groupe trophique i	(/an)
P/Q :	Ratio Production/Consommation	( $\_$ )
$(P/Q)_i$ :	Ratio Production/Consommation du groupe trophique i	( $\_$ )
$Ph_i$ :	Production hétérotrophe du groupe trophique i	(t/km <sup>2</sup> /an)
PH :	Poids Humide	(g)
PH/PS :	Coefficient de conversion de Poids Humide en Poids Sec	(g)
PP :	Production Primaire totale	(t/km <sup>2</sup> /an)
$PP_i$ :	Production Primaire du groupe trophique i	(t/km <sup>2</sup> /an)
PS :	Poids Sec	(g)
Q :	Consommation	(t/km <sup>2</sup> /an)
$Q_i$ :	Consommation du groupe trophique i	(t/km <sup>2</sup> /an)
Q/B :	Ratio Consommation/Biomasse	(/an)
$(Q/B)_i$ :	Ratio Consommation/Biomasse du groupe trophique i	(/an)
$Resp_i$ :	Respiration du groupe trophique i	(t/km <sup>2</sup> /an)
$\tau$ :	Niveau trophique	
$\tau_i$ :	Niveau trophique moyen du groupe trophique i	
$\Delta\tau$ :	Classe trophique [ $\tau$ ; $\tau+\Delta\tau$ ]	
$t_{max}$ :	Age maximal	(an)
T :	Température moyenne de l'eau	(°C)
T' :	Variable de température de l'eau	
U/Q :	Ratio Part non assimilée/Consommation	( $\_$ )
$(U/Q)_i$ :	Ratio Part non assimilée/Consommation du groupe trophique i	( $\_$ )
$V\tau$ :	Vitesse de transit de la classe trophique $\Delta\tau$	(niveau trophique/an)
$W_{inf}$ :	Poids infini	(g)
Y :	Captures totales	(t/km <sup>2</sup> /an)
$Y_i$ :	Captures du groupe trophique i	(t/km <sup>2</sup> /an)
$Y\tau$ :	Captures de la classe trophique $\Delta\tau$	(t/an)
Z :	Mortalité totale	(/an)

# **I. Introduction**

Les écosystèmes marins sont aujourd'hui menacés par une pression anthropique croissante dans les océans. Avec le développement du tourisme, l'urbanisation et la fréquentation croissante du littoral s'ajoutent à la surexploitation des ressources halieutiques par la pêche. Ces différents processus sont parmi les facteurs à l'origine de la dégradation des habitats et des peuplements marins (Bianchi & Morri, 2000 ; National Research Council., 1995). Or, la perte de la biodiversité entraîne un ralentissement des activités économiques de pêche et de tourisme, qui dépendent du bon état des stocks et de la qualité des sites qu'elles exploitent (Sumaila *et al.*, 2000).

Afin d'enrayer ce phénomène, les gestionnaires et les scientifiques ont développé depuis une trentaine d'années un nouvel outil : les Aires Marines Protégées (AMP). Une AMP est un espace délimité en mer, sur lequel est fixé un objectif de protection à long terme de la nature, associé à un double objectif de développement socio-économique et de gestion durable des ressources (Agence des aires marines protégées, 2009). La mise en place de réseaux d'AMP partout dans le monde est considérée comme une mesure phare pour améliorer la gestion des écosystèmes marins (Allison *et al.*, 1998). Ainsi, en 2005, le rapport du réseau des gestionnaires d'AMP en Méditerranée, le réseau MedPAN, recense 74 AMP dans toute la Méditerranée et 63 projets de futures AMP (Mabile & Piante, 2005). Toutefois, si l'impact positif d'une AMP sur les écosystèmes semble évident, il est important de pouvoir l'analyser avec précision et certitude.

De nombreux travaux s'intéressent à l'élaboration de méthodes d'évaluation de l'efficacité des AMP (Sumaila *et al.*, 2000). C'est l'objet de notre étude, qui s'inscrit dans le cadre du projet de recherche intitulé « Aires Marines Protégées et gestion Halieutique par Optimisation des Ressources et des Ecosystèmes » (AMPHORE). Ce projet cherche à définir le rôle des AMP dans la gestion durable de la pêche, outre leur rôle de conservation de la biodiversité. En effet, un concept nouveau s'est récemment développé en halieutique : l'Approche Ecosystémique des Pêches (Cury *et al.*, 2005 ; Garcia *et al.*, 2003 ; Garcia & Cochrane, 2005). Ce concept repose sur le fait que l'impact de la pêche ne se limite pas aux seules espèces cibles, mais se répercute, au travers des relations prédateurs-proies, sur l'ensemble de l'écosystème (Jennings & Kaiser, 1998). Dans cette perspective, l'objectif du projet AMPHORE est d'évaluer les effets positifs des AMP sur les stocks halieutiques, en utilisant différents indicateurs et modèles, afin de définir des mécanismes décisionnels de mise en place des AMP. Il est porté par l'Institut de Recherche et Développement (IRD) et 11 autres organismes de recherche partenaires, dont le Laboratoire d'Ecologie Halieutique d'Agrocampus Ouest, commanditaire de ce stage.

Au sein du projet AMPHORE, notre étude vise à évaluer l'efficacité des AMP par des modèles écosystémiques. L'originalité de cette approche réside dans l'étude des effets multispécifiques des AMP, c'est-à-dire sur l'ensemble des compartiments biologiques de l'écosystème bénéficiant d'une protection. En effet, si l'impact positif des réserves marines sur les stocks halieutiques est démontré à l'aide de modèles monospécifiques (Guénette *et al.*, 1998), les effets potentiellement positifs sur la pêche à l'échelle de l'écosystème restent encore assez largement à démontrer.

Plus précisément, nous utiliserons dans cette étude des modèles trophodynamiques. Il s'agit de modèles écosystémiques dans lesquels la dynamique de l'écosystème est assimilée à une dynamique trophique. L'un des modèles trophodynamiques le plus abouti et le plus simple à mettre en œuvre est le modèle Ecopath, développé par les chercheurs du *Fisheries Centre* de Vancouver depuis de nombreuses années (Christensen *et al.*, 2005 ; Christensen & Lai, 2007 ; Christensen & Pauly, 1992 ; 1993 ; Pauly *et al.*, 2000). C'est donc ce modèle que nous avons choisi, prolongé par un modèle EcoTroph, récemment incorporé à la famille des modèles Ecopath (Gascuel, 2001 ; 2005 ; Gascuel *et al.*, 2008 ; 2009 ; Gascuel et Pauly, *In press*).

Notre étude s'applique au Parc national de Port-Cros, une île au large de Toulon, dans le Var, en Méditerranée. Cette AMP présente plusieurs atouts pour notre étude. C'est une réserve ancienne, créée en 1963. De nombreuses études sur les peuplements de poissons y ont donc été réalisées depuis les années 80 (Francour, 1990 ; 1997 ; 2007 ; GEM, 2007 ; Harmelin, 1987 ; 1990 ; Harmelin & Ruitton, 2007 ; Khoury, 1987 ; Ruitton et al., 2004). De plus, c'est une AMP de petite taille (13 km<sup>2</sup>), ce qui a permis une cartographie précise des habitats sous-marins (Belsher *et al.*, 2005). Enfin, une gestion concertée entre les différents usagers du Parc a favorisé le maintien et surtout le suivi de la pêche artisanale à Port-Cros (Cadiou & Bernard, 2004 ; Cadiou & Bonhomme, 2005 ; 2006).

Dans cette étude, nous cherchons à répondre à la problématique suivante : « La modélisation du fonctionnement trophique d'un écosystème est-elle une méthode pertinente pour l'évaluation de l'efficacité des AMP ? ». Pour répondre à cette problématique, nous suivons une méthodologie organisée en trois étapes principales :

1. Réaliser une synthèse cohérente des connaissances sur Port-Cros par la construction d'un modèle Ecopath
2. Proposer une analyse de l'impact de la pêche par des simulations de différents scénarii de gestion sous EcoTroph
3. Démontrer la robustesse de cette étude pour évaluer l'impact de la pêche par des analyses de sensibilité sous EcoTroph

Les résultats attendus de cette étude sont une représentation synthétique du fonctionnement trophique de l'écosystème et une mise en évidence de l'efficacité de l'AMP : préservation de la biomasse, conservation de la biodiversité fonctionnelle et accroissement de la stabilité de l'écosystème.

Dans ce rapport, nous détaillerons tout d'abord le site d'étude, les outils et les méthodes utilisés. Puis, nous présenterons les principaux résultats obtenus. Enfin, une discussion critique des résultats permettra d'envisager des perspectives de prolongement à cette étude.

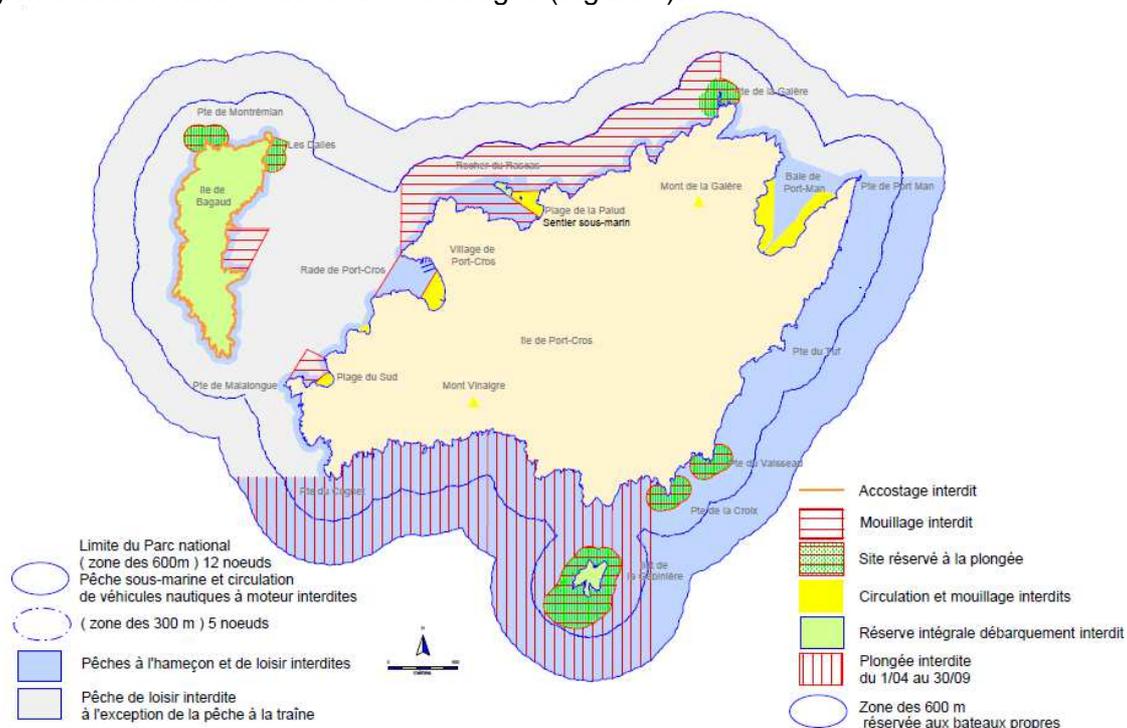
## II. Matériel et Méthodes

### 1. Le site d'étude : présentation de l'AMP de Port-Cros

#### 1-1. Généralités

Port-Cros est le premier Parc national marin d'Europe, créé le 14 décembre 1963. Il est formé par l'île de Port-Cros, l'île de Bagaud et les îlots de la Gabinière et du Rascas, soit 7 km<sup>2</sup> terrestres et 13 km<sup>2</sup> marins. L'île de Port-Cros est la seule habitée et accessible aux touristes. Elle abrite une cinquantaine d'habitants permanents et reçoit environ 200 000 visiteurs par an, principalement l'été (Parc national de Port-Cros, 2009).

La biodiversité est importante à Port-Cros, en particulier en milieu marin où l'on trouve deux biotopes très riches et caractéristiques de la Méditerranée : l'herbier de posidonie, une plante à fleurs formant des prairies sous-marines, et le coralligène, des constructions organogènes sous-marines formées de gorgones. Afin de protéger cet écosystème particulier, la chasse sous-marine et les arts traïnants y sont interdits. Deux chartes de partenariat avec les gestionnaires, l'un obligatoire pour les pêcheurs professionnels, et l'autre volontaire pour les plongeurs, réglementent ces activités dans les eaux du Parc (Parc national de Port-Cros, 2009). La fréquentation importante du site est ainsi régulée par une réglementation marine stricte de ces usages (Figure 1).



**Figure 1 : Réglementation marine de Port-Cros (Source : Parc national de Port-Cros)**

#### 1-2. La pêche professionnelle à Port-Cros

La flottille de pêche professionnelle à Port-Cros correspond à de la petite pêche et se compose de petites unités, d'une longueur inférieure à 12 m (8,6 m en moyenne), ayant une coque en bois et une faible puissance moteur (93 KW en moyenne) (Cadiou & Bonhomme, 2006). En 2005, il y avait 22 pêcheurs professionnels et 13 bateaux ont été identifiés en mer. La zone concernée par la pêche s'étend sur l'ensemble du pourtour des îles du Parc. Les bateaux ont différents ports d'attache : Le Lavandou, Hyères, Le Levant, Porquerolles, et un seul navire mouille à Port-Cros (Cadiou & Bonhomme, 2006).

Les engins utilisés sont à 88% des filets trémails, avec des mailles de 7-8 cm. Les filets maillants représentent 10 à 15% des engins. Le nombre moyen d'engins par jour est de 4,16 sur toute la saison de pêche de 2005. La durée de calée des engins varie de quelques heures à 48h maximum, suivant la réglementation en vigueur (Cadiou & Bonhomme, 2006).

## 2. Les outils : présentation des modèles trophodynamiques

### 2-1. Présentation d'Ecopath

Ecopath est à la fois un modèle et un logiciel, développé à l'origine par Polovina (1984), puis repris par Christensen & Pauly (1992), qui en font un logiciel applicable à tout écosystème marin. Il existe aujourd'hui des centaines de modèles Ecopath d'écosystèmes partout dans le monde, dont certains représentent des écosystèmes de Méditerranée (Coll *et al.*, 2006 ; Dufour, 2006 ; Pinnegar, 2000).

#### 2.1.1 Principe : la notion de groupe trophique

Dans un modèle Ecopath, l'ensemble de la biomasse présente dans l'écosystème est réparti dans des boîtes trophiques. Chaque boîte trophique correspond à un groupe d'espèces occupant la même fonction trophique dans l'écosystème, c'est-à-dire ayant les mêmes proies et les mêmes prédateurs. Les paramètres modélisés sont la taille des boîtes et les flux entre boîtes, autrement dit, la quantité de biomasse représentée par chaque groupe trophique ainsi que celle qu'il produit ou consomme.

Un modèle Ecopath est une représentation possible du fonctionnement trophique d'un écosystème sur une période moyenne (ici une année), compatible avec les connaissances disponibles. Il en donne une vision cohérente, synthétique et globale, pour une situation donnée, mais ne renseigne pas sur son évolution dans le temps.

#### 2.1.2 Equations et paramètres

Le modèle Ecopath repose sur deux équations de base (Christensen *et al.*, 2005) :

##### ➤ **Equation de production**

L'équation de production, ou équation des flux sortant, indique comment se réparti la production de chaque boîte trophique, soit :

$$\text{Production} = \text{Prédation} + \text{Mortalité naturelle} + \text{Captures} + \text{Exportations} + \text{Accumulation de biomasse}$$

Pour chaque groupe trophique  $i$ , cette relation se traduit par l'équation :

$$P_i = M_{2i} * B_i + M_{0i} * B_i + Y_i + Ex_i + B_{acci}$$

Avec  $P$  la Production,  $B$  la Biomasse,  $M_2$  la Mortalité naturelle par prédation,  $M_0$  la Mortalité naturelle par les autres causes (vieillesse, maladie...),  $Y$  les captures par la pêche,  $Ex$  les Exportations (courants, émigrations, prédation par l'extérieur du système), et  $B_{acc}$  la Biomasse accumulée par le groupe trophique pendant l'intervalle de temps (ici une année).

La prédation correspond à la quantité de biomasse du groupe  $i$  consommée par l'ensemble des groupes  $j$  prédateurs du groupe  $i$  et s'écrit aussi :  $M_{2i} * B_i = \sum_j Q_j * DC_{ij}$   
Avec  $Q$  la consommation du groupe prédateur  $j$  et  $DC$  la fraction du groupe proie  $i$  dans le régime alimentaire du prédateur  $j$ .

Les autres causes de mortalité naturelle sont égales à la quantité de biomasse produite par le groupe  $i$  non utilisée par le réseau trophique :  $M_{0i} * B_i = P_i (1 - EE_i)$

Avec  $EE$  l'efficacité écotrophique du groupe  $i$ , définie comme la proportion de la production du groupe  $i$  qui n'alimente pas la boîte détritique, mais qui est utilisée (consommée dans la chaîne trophique, exportée, accumulée ou pêchée).

On obtient ainsi l'équation suivante :

$$P_i = \sum_j Q_j * DC_{ij} + P_i (1 - EE_i) + Y_i + Ex_i + B_{acci}$$

Cette équation peut aussi s'écrire :

$$(1) \quad (P/B)_i * B_i * EE_i - \sum_j (Q/B)_j * B_i * DC_{ij} - Y_i - Ex_i - B_{acci} = 0$$

##### ➤ **Equation de consommation**

L'équation de consommation, ou équation des flux entrant, indique comment se réparti la consommation de chaque boîte trophique, soit :

$$\text{Consommation} = \text{Production hétérotrophe} + \text{Respiration} + \text{Nourriture non assimilée}$$

Pour chaque groupe trophique  $i$ , cette relation se traduit par l'équation :

$$Q_i = Ph_i + Resp_i + (U/Q)_i * Q_i$$

Avec  $Q$  la Consommation,  $Ph$  la Production hétérotrophe,  $Resp$  la Respiration et  $U/Q$  le rapport de l'alimentation non assimilée sur la consommation.

La production hétérotrophe est la quantité de biomasse produite par le groupe  $i$  non issue de la production primaire  $PP$  du groupe  $i$  :  $Ph_i = P_i * (1 - PP_i)$

On obtient ainsi l'équation suivante :

$$Q_i = P_i * (1 - PP_i) + Resp_i + (U/Q)_i * Q_i$$

Cette équation peut aussi s'écrire :

$$(2) \quad Resp_i = - (P/B)_i * B_i * (1 - PP_i) + (Q/B)_i * B_i * (1 - (U/Q)_i)$$

Afin de permettre au modèle de résoudre les équations précédentes, il faut définir un certain nombre de paramètres. Si ces paramètres sont connus, ils sont alors des entrées du modèle, et on fixe leur valeur. Au contraire, si ces paramètres sont inconnus, ils sont des sorties du modèle, qui en donne une estimation.

Généralement, les paramètres en entrée sont les captures  $Y_i$ , les compositions alimentaires de chaque groupe  $DC_{ij}$ , les exportations  $Ex_i$ , la biomasse accumulée  $B_{acci}$ , et les taux de non assimilation  $(U/Q)_i$ . Les paramètres en sortie sont la respiration  $Resp_i$  et l'un des 4 paramètres suivants : la biomasse  $B_i$ , le rapport production/biomasse  $(P/B)_i$ , le rapport consommation/biomasse  $(Q/B)_i$ , ou l'efficacité écotrophique  $EE_i$ . Le plus souvent, le paramètre estimé est  $EE_i$ , les paramètres  $B_i$ ,  $(P/B)_i$  et  $(Q/B)_i$  étant généralement connus. A l'inverse, lorsque la biomasse  $B_i$  est inconnue, l'efficacité écotrophique  $EE_i$  doit être fixée. Et lorsque l'un des deux ratios  $(P/B)_i$  ou  $(Q/B)_i$  est inconnu, c'est le ratio production/consommation  $(P/Q)_i$  qui est fixé.

## 2-2. Présentation d'EcoTroph

EcoTroph est un modèle trophodynamique développé depuis 2001 par Gascuel (Gascuel, 2001). En 2005, les améliorations apportées au modèle permettent d'obtenir une représentation théorique du fonctionnement des écosystèmes, ce qui en fait un modèle à la fois théorique et pratique (Gascuel, 2005). La version actuelle d'EcoTroph résulte de la comparaison avec Ecopath et de l'incorporation d'EcoTroph à la famille des modèles *Ecopath with Ecosim* (Gascuel *et al.*, 2009 ; Gascuel et Pauly, *In press*).

### 2.2.1 Principe : la notion de niveau trophique

EcoTroph s'appuie sur une extrapolation à l'échelle d'un écosystème d'un modèle monospécifique de dynamique des populations. A la différence de ces modèles, EcoTroph ne s'intéresse pas à une seule espèce, mais à toutes les espèces de l'écosystème, et il est basé non pas sur le temps, mais sur les niveaux trophiques. Un modèle EcoTroph est une représentation de la distribution de la biomasse dans l'écosystème en fonction du niveau trophique.

Le niveau trophique est un indicateur de la position des espèces au sein du réseau trophique (Lindeman, 1942). Par convention, les producteurs primaires et les détritiques ont un niveau trophique minimal égal à 1, les consommateurs primaires occupent le niveau trophique 2 et les consommateurs secondaires sont de niveau trophique 3. Cependant, en milieu marin, les niveaux trophiques des consommateurs ne correspondent pas à des nombres entiers, du fait de leur comportement opportuniste. Le niveau trophique fractionnel moyen du consommateur  $j$  se calcule donc à l'aide de la formule suivante (Adams *et al.*, 1983 ; Odum & Heald, 1975) :  $\tau_j = 1 + \sum_i (DC_{ij} * \tau_i)$

Où  $\tau_i$  est le niveau trophique fractionnel moyen de la proie  $i$ ,  $DC_{ij}$  est la fraction représentée par  $i$  dans l'alimentation de  $j$  et  $\sum_i$  représente la somme sur toutes les proies  $i$ .

Dans un modèle EcoTroph, la biomasse entre dans l'écosystème au niveau trophique 1, correspondant à la production primaire par la photosynthèse et au recyclage des détritiques par la boucle microbienne. Puis, à partir du niveau 2 et jusqu'au niveau 5, la biomasse passe aux niveaux supérieurs par des processus de croissance et de prédation. Un modèle

EcoTroph donne donc une base théorique pour expliquer la répartition de la biomasse dans un écosystème, afin d'étudier ensuite l'impact de la pêche.

### 2.2.2 Equations et paramètres

EcoTroph modélise le flux trophique de biomasse dans l'écosystème, depuis les bas vers les hauts niveaux trophiques. Ce flux est caractérisé par la quantité de biomasse qui transite du niveau  $\tau$  au niveau  $\tau + 1$  ou flux de biomasse  $\Phi_\tau$ , et par la vitesse de déplacement de la biomasse du niveau  $\tau$  au niveau  $\tau + 1$  ou vitesse de transit  $V_\tau$ . On obtient ainsi la quantité de biomasse  $B_\tau$  présente dans une classe trophique  $[\tau; \tau + \Delta\tau]$ , chaque classe trophique correspondant par convention à un dixième de niveau trophique (soit  $\Delta\tau = 0,1$ ).

L'équation fondamentale du modèle s'exprime donc comme suit :

$$B_\tau = \Phi_\tau / V_\tau * \Delta\tau,$$

Gascuel *et al.* (2008) montrent par ailleurs que le flux de biomasse  $\Phi_\tau$  par petite classe trophique  $\Delta\tau$  est équivalent à la production  $P_\tau$ , et que le ratio P/B constitue une mesure de la vitesse du flux trophique  $V_\tau$ , autrement dit :  $P_\tau = \Phi_\tau * \Delta\tau$  et  $V_\tau = P_\tau / B_\tau$ .

Le flux de biomasse  $\Phi_\tau$  est une fonction monotone décroissante. En effet, toute la biomasse produite au niveau trophique  $\tau$  ne transite pas vers le niveau  $\tau + 1$ , à cause de pertes d'origine naturelle (respiration, excrétion, mortalité naturelle de maladie ou de vieillesse) ou anthropique (prélèvements par la pêche). Le taux de pertes par pêche noté  $\varphi_\tau$  est obtenu en divisant les captures  $Y_\tau$  par la production  $P_\tau$ , tel que  $\varphi_\tau = Y_\tau / P_\tau$ , alors que le paramètre de mortalité par pêche est obtenu en divisant les captures  $Y$  par la biomasse  $B$ . Ainsi,  $F$  est une mesure du ciblage de la pêche, alors que  $\varphi$  est une mesure de l'impact de la pêche (Gascuel *et al.*, 2009).

Les paramètres en entrée du modèle EcoTroph sont le niveau trophique moyen  $\tau_i$ , la biomasse moyenne  $B_i$ , le ratio moyen  $(P/B)_i$  et les captures  $Y_i$  de chaque groupe trophique  $i$ .

## 3. Méthodologie : construction du modèle Ecopath

Pour construire le modèle Ecopath de l'AMP de Port-cros, la version 5 du logiciel a été utilisée. La surface totale de l'écosystème est de 12,88 km<sup>2</sup> et l'unité de biomasse choisie est le poids humide (PH) en t, rapporté à unité de surface, le km<sup>2</sup>, et à une unité de temps, l'année.

### 3-1. Elaboration des groupes trophiques

Le modèle Ecopath est construit dans l'objectif d'analyser l'impact de la pêche sur l'écosystème. C'est donc les compartiments des poissons qui nous intéressent plus particulièrement dans cette étude. Ainsi, la construction des groupes trophiques du modèle est basée sur l'élaboration des groupes de poissons.

#### 3.1.1 Les groupes trophiques de poissons

##### ➤ **Sélection des espèces**

La première étape lors de la constitution des groupes est l'établissement d'une liste d'espèces de poissons, d'après les critères suivants :

- Ces espèces sont présentes à Port-Cros : elles y ont déjà été recensées et figurent dans l'inventaire mis à jour en 2006 (Dufour *et al.*, 2007).
- Ces espèces sont présentes en quantité importante et/ou ont un rôle trophique particulier au sein de l'écosystème (Francour, comm. pers.).
- Des données de biomasse, issues de comptages visuels en plongée ou de chalutages, sont disponibles pour ces espèces.

A l'issue de cette première étape, on obtient une liste de 89 espèces de poissons, à partir desquelles construire les groupes trophiques du modèle. Cette liste représente 41 % des espèces recensées à Port-Cros depuis la création du Parc national : 89 espèces sur les 215

inventoriées (Dufour *et al.*, 2007). Pour certains genres, étant donné qu'il est difficile de différencier les espèces les unes des autres, ces différentes espèces sont assimilées à une seule espèce unique, identifiée par le nom du genre (*Trachurus spp.*, *Trisopterus spp.*, *Mugilidae*, *Hippocampus spp.* et *Tripterygion spp.*). On obtient donc finalement 83 espèces (ou genres) de poissons.

### ➤ **Construction des groupes d'espèces**

Les 4 critères retenus pour la constitution des groupes trophiques de poissons sont : le niveau trophique, la longueur maximale, le régime alimentaire et les proies préférentielles (Tableau 1).

Les niveaux trophiques utilisés dans cette étude sont issus de travaux antérieurs (Stergiou & Karpouzi, 2002). Ces auteurs ont réalisé une synthèse bibliographique des données disponibles concernant la Méditerranée, et principalement la Méditerranée Nord-Occidentale (73% de leurs 332 jeux de données provenant de Méditerranée Nord-Ouest, cette synthèse est donc bien représentative de la partie Nord Occidentale de la Méditerranée, dans laquelle se trouve Port-Cros). Lorsque les espèces sélectionnées ne figuraient pas dans cette publication, les valeurs de niveau trophique sont reprises du site fishbase.org (Froese & Pauly, FishBase, 2009), en choisissant préférentiellement des données issues de la Méditerranée, dans la mesure du possible. La longueur maximale correspond à la longueur totale la plus grande mesurée sur un individu de l'espèce et répertoriée sur le site fishbase.org (Froese & Pauly, FishBase, 2009).

Pour chacune des 83 espèces du modèle, les valeurs correspondant au niveau trophique  $\tau$  et à la longueur maximale  $L_{max}$  sont ainsi relevées (Annexe II). Puis, les espèces sont classées par niveau trophique décroissant, puis longueur décroissante. Ce classement permet d'obtenir un premier découpage en groupes, corrigé et affiné par la suite en fonction des données de régime alimentaire dominant (piscivore, carnivore, herbivore, omnivore ou détritivore) et de proies préférentielles (poissons, crustacés, mollusques, polychètes...) de chaque espèce. Ces dernières informations sont collectées dans différentes études antérieures, proposant des regroupements d'espèces d'après l'analyse de contenus stomacaux (Bell & Harmelin-Vivien, 1983 ; Ganteaume *et al.*, 2005 ; Harmelin, 1987 ; Khoury, 1987 ; Stergiou & Karpouzi, 2002).

### ➤ **Description des groupes trophiques particuliers**

#### ✓ *Les groupes monospécifiques*

L'espèce *Epinephelus marginatus*, le mérrou brun, est volontairement isolée lors du découpage des groupes. En effet, il s'agit d'une espèce emblématique en Méditerranée, protégée, sur l'ensemble du territoire français, par un moratoire interdisant sa chasse depuis 1993 et sa pêche à l'hameçon depuis 2002 (GEM, *In press*). On désire donc évaluer l'effet réserve sur le mérrou, indépendamment des autres espèces de poisson de même niveau trophique. L'espèce *Sarpa salpa*, la saupe, et le taxon des Mugilidés, les mullets, sont également isolés lors de la construction des groupes trophiques, en raison de leur régime alimentaire particulier, respectivement herbivore et détritivore.

#### ✓ *Les groupes ontogéniques*

Les groupes « Mérou » et « Saupes » sont séparés en sous-groupes représentant les différentes classes de taille de l'espèce (Tableau 1). Ce choix s'explique par une variabilité importante du régime alimentaire avec l'augmentation de la taille pour ces deux espèces (Harmelin & Harmelin-Vivien, 1999 ; Verlaque, 1990).

#### ✓ *Les groupes supplémentaires*

Après constitution des groupes, l'analyse des données de pêche professionnelle à Port-Cros (Cadiou & Bernard, 2004 ; Cadiou & Bonhomme, 2005 ; 2006) fait apparaître de nouvelles espèces, ne figurant pas dans la liste des espèces sélectionnées pour le modèle. Parmi ces espèces pêchées, les pageots, *Pagellus spp.*, représentent la plus forte biomasse de captures et sont donc ajoutés au modèle sous la forme d'un nouveau groupe

« Pageots ». Les raies, *Raja spp.*, représentent une biomasse de captures plus faible, mais sont également ajoutées au modèle sous la forme d'un groupe « Raies » à cause de leur valeur emblématique. En effet, certaines espèces de raies figurent sur la Liste Rouge de l'UICN (IUCN, 2009).

### ➤ **Dénomination des groupes trophiques**

On obtient finalement 18 groupes trophiques de poissons, rassemblant 85 espèces (ou genres) et 30 taxons. Le nom d'un groupe trophique correspond à celui de l'espèce (ou des espèces) dominante(s) en biomasse dans ce groupe. Le signe + indique la présence dans le groupe d'espèces appartenant à d'autres taxons que celui de l'espèce dominante. Pour chaque groupe, les espèces qui le composent sont indiquées dans l'ordre alphabétique de leur taxon, puis de leur nom latin. Les noms français de chacune des espèces sont également indiqués (Tableau 2). Les autorités des noms latins de toutes les espèces citées dans ce rapport sont présentées en Annexe I.

**Tableau 1 : Critères d'élaboration des groupes trophiques de poissons**

GROUPES TROPHIQUES	$\tau_i$	$L_{max}$	Régime alimentaire	Proies préférentielles
RAIES	groupe supplémentaire			
PAGEOTS	groupe supplémentaire			
MEROU GRAND	3,7	> 60 cm	Piscivore	céphalopodes
MEROU MOYEN	3,9	30 - 60 cm		poissons + céphalopodes
MEROU PETIT	4,1	< 30 cm		poissons
SERIOLE & DENTE +	3,8 - 4,5	> 100 cm	Piscivore	poissons
CHAPON +		< 100 cm		poissons + crustacés
SARS +	3,0 - 3,5	40 - 70 cm	Omnivore	crustacés + polychètes + algues
BLENNIES +		10 - 40 cm		crustacés + algues
RASCASSES & SERRANS +	3,5 - 3,8	20 - 60 cm	Carnivore macrophage	poissons + crustacés
ROUGET +	3,2 - 3,5			crustacés
SYNGNATHES +	3,0 - 3,5	0 - 30 cm	Carnivore mésophage	crustacés
LABRES				crustacés + mollusques
GOBIES				crustacés + polychètes
CHINCHARDS & ATHERINES +	2,9 - 3,2	20 - 40 cm	Carnivore microphage	zooplancton
MULETS	2,7	100 cm	Détritivore	détritus
SAUPE GRANDE	2,1	> 30 cm	Herbivore	algues
SAUPE PETITE		< 30 cm		posidonies

### 3.1.2 Les groupes trophiques d'invertébrés

Les groupes d'invertébrés sont construits à partir des données de contenus stomacaux des espèces de poissons intégrées dans le modèle. En effet, le but de cette étude étant de mieux connaître les relations trophiques des poissons, nous cherchons donc à ce que toutes les proies potentielles des poissons figurent dans le modèle.

La première étape consiste à récupérer toutes les données de biomasse disponibles pour chaque taxon d'invertébrés identifié dans les contenus stomacaux des poissons. Ces données sont ensuite synthétisées, en regroupant les taxons les plus proches dans l'arbre phylogénétique. Le choix du niveau de regroupement des taxons s'est fait en fonction du niveau de détail des données de biomasse disponibles. Ainsi, les taxons des crustacés, des mollusques ou des échinodermes sont subdivisés en taxons d'ordre inférieur, pour lesquels des données détaillées sont disponibles. En revanche, les anthozoaires, ascidies, hydriaires et bryozoaires sont regroupés un même groupe trophique appelé « Suspensivores ». Ce regroupement est justifié par l'absence de données plus précises et par un régime alimentaire commun. Pour les mêmes raisons, les « Vers marins » et les « Petits Crustacés » ne sont pas décomposés en sous-groupes plus homogènes. Le détail des groupes trophiques d'invertébrés est présenté dans le Tableau 3.

**Tableau 2 : Détail des groupes trophiques de poissons**

GROUPE TROPHIQUE	Taxon	Genre / Espèce	
		Nom latin	Nom français
RAIES	Rajidae	<i>Raja spp.</i>	Raies
PAGEOTS	Sparidae	<i>Pagellus spp.</i>	Pageots
MEROU GRAND	Serranidae	<i>Epinephelus marginatus</i>	Mérrou brun / de Méditerranée
MEROU MOYEN			
MEROU PETIT			
SERIOLE & DENTE +	Carangidae	<i>Seriola dumerili</i>	Grande Sérieole
	Congridae	<i>Conger conger</i>	Congre
	Lophiidae	<i>Lophius piscatorius</i>	Baudroie / Lotte
	Moronidae	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bar / Loup commun
	Muraenidae	<i>Muraena helena</i>	Murène commune
	Scyliorhinidae	<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite roussette / Chat de mer
Sparidae		<i>Dentex dentex</i>	Denté commun
	Sphyraenidae	<i>Sphyraena viridensis</i>	Bécune à bouche jaune / Barracuda
CHAPON +	Gadidae	<i>Phycis phycis</i>	Mostelle de roche
	Labridae	<i>Labrus merula</i>	Labre merle
		<i>Labrus viridis</i>	Labre vert
	Sciaenidae	<i>Sciaena umbra</i>	Corb commun
	Scorpaenidae	<i>Scorpaena scrofa</i>	Chapon / Grande rascasse rouge
Sparidae	<i>Pagrus pagrus</i>	Pagrus commun	
Zeidae	<i>Zeus faber</i>	Saint-Pierre / Dorée	
SARS +	Sparidae	<i>Diplodus puntazzo</i>	Sar à museau pointu / Charax
		<i>Diplodus sargus</i>	Sar commun / Sargue
		<i>Diplodus vulgaris</i>	Sar à tête noire / Veirade
		<i>Lithognathus mormyrus</i>	Marbré
		<i>Sparus aurata</i>	Dorade royale
		<i>Spondyliosoma cantharus</i>	Dorade grise / Canthère
BLENNIES +	Blennidae	<i>Blennius ocellaris</i>	Blennie papillon / Blennie ocellée
		<i>Parablennius gattorugine</i>	Cabot / Baveuse / Blennie gattorugine
Sparidae		<i>Parablennius rouxi</i>	Baveuse blanche / Blennie de roux
		<i>Diplodus annularis</i>	Sparailon / Pataclet
RASCASSES & SERRANS +	Scorpaenidae	<i>Scorpaena notata</i>	Petite rascasse rouge / Rascasse pustuleuse
		<i>Scorpaena porcus</i>	Rascasse brune / Rascasse porc
	Serranidae	<i>Serranus cabrilla</i>	Serran-chèvre
		<i>Serranus hepatus</i>	Serran à tache noire
	Synodontidae	<i>Serranus scriba</i>	Serran écriture / Perche de mer
		<i>Synodus saurus</i>	Poisson lézard
ROUGET +	Bothidae	<i>Arnoglossus laterna</i>	Arnoglosse / Fausse limande
		<i>Bothus podas</i>	Rombou / Platophrys
	Gadidae	<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	Motelle
		<i>Gaidropsarus vulgaris</i>	Motelle à trois barbillons
	Mullidae	<i>Trisopterus spp.</i>	Tacauds
	Ophichthidae	<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget-barbet de roche
Ophidiidae	<i>Ophisurus serpens</i>	Serpent / Anguille des profondeurs	
		<i>Ophidion rochei</i>	Donzelle à nageoires jaunes
		<i>Parophidion vassali</i>	Donzelle à nageoires rouges
SYNGNATHES +	Apogonidae	<i>Apogon imberbis</i>	Apogon / Cardinal
	Gobiesocidae	<i>Apletodon dentatus</i>	Porte-écuelle à petite tête
		<i>Diplecogaster bimaculata</i>	Porte-écuelle à deux taches
		<i>Lepadogaster candolei</i>	Lépadogaster de Candolle
	Syngnathidae	<i>Opeatogenys gracilis</i>	Porte-écuelle grêle
		<i>Hippocampus spp.</i>	Hippocampes / Chevaux marins
		<i>Nerophis maculatus</i>	Nérophis tacheté
		<i>Syngnathus acus</i>	Grand syngnathe / Syngnathe commun
		<i>Syngnathus typhle</i>	Siphonostome de Méditerranée
	Tripterygiidae	<i>Tripterygion spp.</i>	Triptérygions
LABRES	Labridae	<i>Coris julis</i>	Girelle commune / Demoiselle
		<i>Symphodus cinereus</i>	Crénilabre gris
		<i>Symphodus doderleini</i>	Crénilabre de Doderlein / Rouquier
		<i>Symphodus mediterraneus</i>	Crénilabre méditerranéen
		<i>Symphodus melanocercus</i>	Crénilabre à queue noire
		<i>Symphodus ocellatus</i>	Crénilabre ocellé
		<i>Symphodus roissali</i>	Crénilabre à cinq taches
		<i>Symphodus rostratus</i>	Sublet
		<i>Symphodus tinca</i>	Crénilabre paon
		<i>Thalassoma pavo</i>	Girelle paon / Girelle turque
GOBIES	Gobiidae	<i>Deltentosteus colonianus</i>	Gobie colonien
		<i>Deltentosteus quadrimaculatus</i>	Gobie à quatre taches
		<i>Gobius auratus</i>	Gobie doré
		<i>Gobius cruentatus</i>	Gobie à bouche rouge / ensanglanté
		<i>Gobius fallax</i>	Gobie de Sarato
		<i>Gobius geniporus</i>	Gobie à joues poreuses / svelte
		<i>Gobius paganellus</i>	Gobie paganel
		<i>Gobius vittatus</i>	Gobie rayé
		<i>Pomatoschistus minutus</i>	Gobie des sables / Gobie buhotte
		<i>Pomatoschistus quagga</i>	Gobie quagga
		<i>Thorogobius ephippiatus</i>	Gobie léopard
		<i>Thorogobius macrolepis</i>	Gobie à grandes écailles
CHINCHARDS & ATHERINES +	Atherinidae	<i>Atherina boyeri</i>	Athérine de Boyer / Joël
	Carangidae	<i>Trachurus spp.</i>	Chinchards
	Centranchidae	<i>Spicara maena</i>	Mendole
		<i>Spicara smaris</i>	Picarel
	Pomacentridae	<i>Chromis chromis</i>	Castagnole (noire) / Demoiselle bleue
Serranidae	<i>Anthias anthias</i>	Anthias / Barbier / Castagnole rouge	
Sparidae	<i>Boops boops</i>	Bogue	
	<i>Oblada melanura</i>	Oblade	
MULETS	Mugilidae	Mugilidae	Mulets
SAUPE GRANDE	Sparidae	<i>Sarpa salpa</i>	Saupe / Poisson catalan
SAUPE PETITE			

**Tableau 3 : Détail des groupes trophiques d'invertébrés et d'oiseaux**

GROUPE TROPHIQUE	Taxon	
	Nom latin	Nom français
OISEAUX MARINS	<i>Calonectris diomedea</i> <i>Larus michahellis</i> <i>Puffinus yelkouan</i>	Puffin cendré Goéland leucopnée Puffin de Méditerranée
BRACHYOURES	Brachyura Majidae	Crabes Araignées de mer
DECAPODES	Galatheidae Paguridae Palinuridae Scyllaridae Nephropidae Caridea, Peneidae Decapoda	Galathées Bernard l'ermite Langoustes Cigales de mer Homards Crevettes Autres Décapodes
AMPHIPODES	Amphipoda	—
PETITS CRUSTACES	Cirripedia Cumacea Isopoda Ostracoda Stomatopoda Tanaidacea Crustacea	Balanes Cumacés Isopodes Ostracodes Squilles Tanaidacés Autres Petits Crustacés
BIVALVES	<i>Pinna nobilis</i> Bivalvia	Grande nacre Autres Bivalves
CEPHALOPODES	<i>Octopus vulgaris</i> Cephalopoda	Poulpe commun Autres Céphalopodes
GASTEROPODES	Gastropoda Polyplacophora	Gastéropodes Chitons
ETOILES DE MER	Asteroidea	—
HOLOTHURIES	Holothuroidea	—
OURSINS	Echinoidea	—
OPHIURES +	Acari Ophiuroidea Pycnogonida	Halacariens Ophiures Pycnogonides
SUSPENSIVORES	Anthozoa Ascidacea Bryozoa Hydrozoa Porifera	Anémones de mer Ascidies Bryozoaires Hydrozoaires Eponges
GORGONES	<i>Paramuricea clavata</i> Gorgonacea	Gorgone pourpre Autres Gorgones
VERS MARINS	Polychaeta Annelida Sipuncula	Polychètes Autres Annélides Sipunculien
FORAMINIFERES	Foraminifera	—
ZOOPLANCTON GRAND	Appendicularia Euphausiacea — — Mysida	Appendiculaires Euphausiacés Larves Poissons Autres Larves Mysides
ZOOPLANCTON PETIT	Cladocera Copepoda —	Cladocères Copépodes Œufs
POSIDONIES	<i>Posidonia oceanica</i> Angiospermae	Posidonie Autres Plantes subaquatiques
ALGUES SUPERFICIELLES	Phaeophyceae Chlorophyceae Rhodophyceae	Algues brunes Algues vertes Algues rouges
ALGUES PROFONDES	Cystoseira	Cystoseires
PHYTOPLANCTON	—	—
DETRITUS	— —	Débris divers Ecailles

On remarque que le groupe trophique « Ophiures + » rassemble les ophiures et d'autres petits organismes benthiques ayant un régime alimentaire comparable, mais des positions taxonomiques très différentes. Il s'agit des halacariens, ou acariens marins, appartenant au taxon des arachnides, et des pycnogonides, ou araignées marines, appartenant au taxon des chélicérates. Ces petits arthropodes marins représentent cependant une biomasse très faible.

### 3.1.3 Le groupe trophique des « Oiseaux marins »

Du fait de la faible distance à la côte (bande des 600 m autour de l'île), il semble peu probable d'observer des prédateurs supérieurs (dauphins, requins...) dans les eaux du Parc national de Port-Cros. En effet, d'après Patrice Francour, aucune observation de l'un de ces prédateurs n'a été signalée à Port-Cros. C'est pourquoi nous avons choisi de ne pas les intégrer au modèle. En revanche, concernant les oiseaux marins ichtyophages, des recensements récents et des études du régime alimentaire de différentes espèces ont été réalisés à Port-Cros. Trois d'entre elles sont intégrées au modèle dans le groupe trophique « Oiseaux marins » : le puffin cendré (*Calonectris diomedea*), le puffin de Méditerranée (*Puffinus yelkouan*) et le goéland leucophée (*Larus cachinnans michahellis*) (Tableau 3).

Ces espèces sont présentes en quantité importante à Port-Cros et l'on dispose de données précises sur leurs effectifs et leur régime alimentaire (Bourgeois, comm. pers.). De plus, il s'agit d'espèces protégées par des réglementations particulières. Les puffins sont répertoriés sur la Liste Rouge de l'UICN (IUCN, 2009) et protégés par l'Annexe I de la directive Oiseaux (79/409/CEE), car ils sont menacés par : l'introduction de prédateurs (chats et rats) sur leurs lieux de reproduction, les prises accidentelles de la pêche hauturière et le tourisme et l'urbanisation dégradant leur habitat (Bigéard, Oiseaux.net, 2009). En outre, les îles d'Hyères (Porquerolles, Port-Cros et Le Levant) abritent 50 % de la population nicheuse française de puffins cendrés et 90 % de la population de puffins de Méditerranée (qui est, comme son nom l'indique une espèce endémique de Méditerranée) (Parc national de Port-Cros, 2009). Le goéland leucophée est une espèce protégée sur l'ensemble du territoire français (par arrêté du 17/4/1981).

## 3-2. Détermination des paramètres d'entrée des groupes trophiques

Une fois les groupes trophiques définis, il nous faut, pour chaque groupe, déterminer les valeurs des paramètres d'entrée du modèle : les captures  $Y_i$ , la biomasse  $B_i$ , le rapport production/biomasse  $(P/B)_i$ , le rapport consommation/biomasse  $(Q/B)_i$ , les compositions alimentaires  $DC_{ij}$ , les exportations  $Ex_i$ , la biomasse accumulée  $B_{acci}$ , et les taux de non assimilation  $(U/Q)_i$ .

### 3.2.1 Les captures Y des groupes trophiques pêchés

Les données sur la pêche au Parc national de Port-Cros proviennent des suivis annuels de l'effort de pêche professionnelle dans les eaux du Parc de 2003 à 2005 (Cadiou & Bernard, 2004 ; Cadiou & Bonhomme, 2005 ; 2006). L'année 2005 est la dernière année suivie. Or, c'est une année globalement représentative d'une année moyenne (Cadiou & Bonhomme, 2006). Elle a donc servi d'année de référence pour notre étude.

La biomasse totale des captures en 2005 est estimée à 4423 kg, mais elle est inférieure à la biomasse réellement capturée du fait de l'existence de rejets, sur lesquels on manque de données. Les rendements moyens en 2005 sont de 0,62 kg par engin et par jour (filet trémail, maille de 7 cm, pièce de 100 m de long) et de 15,76 kg par bateau et par jour (Cadiou & Bonhomme, 2006). L'essentiel des captures est constitué par cinq espèces (ou familles) cibles de poissons : le chapon, les rascasses et serrans, le rouget, les sars, et les congres et murènes. Le mérrou n'est pas une espèce ciblée par les pêcheurs de Port-Cros, mais des mérours plutôt de petite taille peuvent parfois être pris accidentellement dans les filets (4 prises en 2005). Les captures de crustacés, essentiellement araignées de mer et

langoustes, sont estimées à 395 kg en 2005, soit 9% de la biomasse totale capturée (Cadiou & Bonhomme, 2006). Le détail des biomasses capturées en 2005, pour chaque espèce et chaque groupe trophique, est indiqué en Annexe III.

### 3.2.2 Paramètres d'entrée des groupes trophiques de poissons

#### ➤ **Détermination des biomasses B**

Les valeurs de biomasse des groupes trophiques de poissons sont calculées à partir de données détaillées par espèce, provenant pour la plupart de chalutages réalisés dans les eaux du Parc national de Port-Cros (Khoury, 1987). Cependant, ces chalutages se limitant aux zones d'herbier de posidonie, ils ne nous renseignent pas sur la biomasse des espèces inféodées aux milieux rocheux. De plus, ces échantillonnages ont été réalisés en 1981 et les estimations de biomasse obtenues nécessitent donc d'être mises à jour. C'est pourquoi nous avons complété nos données par une étude, réalisée à Port-Cros, en 2005-2006, sur la faune ichtyologique des substrats rocheux et de l'herbier à *Posidonia oceanica* (Francour, 2007). Ces observations en plongée fournissent une estimation des densités de poissons, converties ensuite en biomasse à l'aide des poids moyen de chaque espèce (Francour, comm. pers.). Cela correspond à une actualisation des comptages réalisés par le passé, à Port-Cros : en milieu rocheux, sur petits fonds (Harmelin, 1987) ou sur fonds coralligène (Harmelin, 1990), et en zones d'herbier de posidonie (Francour, 1990 ; 1997).

Après cette première synthèse bibliographique, les données encore manquantes pour certaines espèces sont reprises de différents travaux en zones d'herbier (Francour, 1990 ; 1997) ou en zones rocheuses (Ody, 1987). Des données de biomasse obtenues par l'étude du peuplement de poissons de l'épave « La Barge aux Congres », située sur fonds sableux, au Nord-Ouest de Port-Cros, sont également utilisées (Ruitton *et al.*, 2004). Enfin, le mérrou brun, *Epinephelus marginatus*, et le corb, *Sciaena umbra*, étant des espèces très vulnérables à la chasse sous-marine (Harmelin, 1987), elles ont bénéficié d'un suivi spécifique à Port-Cros. Les données de biomasse de ces deux espèces sont donc reprises de recensements spécifiques et récents, effectués dans les eaux du Parc (GEM, *In press* ; Harmelin & Ruitton, 2007).

Le calcul des valeurs finales de biomasse pour chaque groupe trophique se fait en trois étapes (Annexe IV). Tout d'abord, pour chaque espèce, on calcule la biomasse moyenne à partir des différentes estimations proposées dans la littérature. Ensuite, pour plus de précision, la biomasse de chaque espèce est recalculée par rapport au substrat sur lequel elle vit (herbiers, fonds rocheux ou fonds meubles). Pour cela, on multiplie la biomasse de l'espèce par la proportion de surface occupée par son substrat à Port-Cros (Annexe IV). Ces proportions sont calculées à partir d'une cartographie récente des fonds sous-marins de Port-Cros, mise sous système d'information géographique (Belsher *et al.*, 2005). On obtient finalement la biomasse de chaque groupe trophique en additionnant les biomasses des différentes espèces du groupe. Les biomasses des poissons sont détaillées par espèce et par groupe en Annexe IV.

#### ➤ **Détermination des ratios P/B et Q/B**

Pour les poissons, dont le stock est supposé en situation d'équilibre, le ratio P/B est obtenu en calculant la mortalité totale Z (Allen, 1971), qui est la somme de la mortalité par pêche F et de la mortalité naturelle M. La mortalité par pêche F correspond au ratio des captures Y sur la biomasse B, alors que la mortalité naturelle M s'obtient à l'aide d'équations empiriques. Dans cette étude, nous calculons M à partir de différentes équations empiriques proposées dans la littérature (Caddy, 1991 ; Gislason *et al.*, 2008 ; Hoenig, 1993 ; Pauly, 1980). Ces différentes équations sont basées sur des paramètres spécifiques à chaque espèce, relevés sur le site fishbase.org (Froese & Pauly, FishBase, 2009) et répertoriés en Annexe V. La mortalité naturelle M est ainsi calculée, avec chaque équation empirique et pour chaque espèce de poisson, à partir des paramètres nécessaires, lorsque ceux-ci sont disponibles (Annexe V). Puis, nous calculons la valeur moyenne des mortalités

M obtenues à partir de ces différentes équations. Nous choisissons ensuite la valeur la plus proche de cette valeur moyenne, entre les mortalités de Caddy et de Gislason. Lorsque ces valeurs ne peuvent être calculées (faute de disponibilité des paramètres requis), c'est la mortalité de Pauly qui est choisie. La valeur de M d'un groupe trophique correspond à la valeur moyenne des mortalités de toutes les espèces qui le composent. En additionnant ce M moyen à la valeur de F, on obtient la mortalité totale Z, autrement dit le ratio P/B, pour chaque groupe trophique de poisson (Annexe V).

Le ratio Q/B des poissons est obtenu à partir d'une seule équation empirique (Palomares & Pauly, 1998). De même que pour le calcul du ratio P/B, la valeur du ratio Q/B est calculée pour chaque espèce, puis on en déduit une valeur moyenne pour chaque groupe trophique (Annexe V).

#### ➤ **Détermination des compositions alimentaires DC**

La composition alimentaire des groupes trophiques de poissons est déterminée à partir d'analyses de contenus stomacaux. Les données sont d'abord collectées par espèce, puis la composition alimentaire d'un groupe trophique est déduite de la somme, pondérée par la biomasse, des compositions alimentaires des espèces de ce groupe.

Les données de contenus stomacaux de la plupart des espèces sont issues de deux études antérieures portant sur la faune ichtyologique des herbiers de posidonie, l'une réalisée dans les eaux du Parc national de Port-Cros (Khoury, 1987), et l'autre au large de Marseille (Bell & Harmelin-Vivien, 1983). Pour les espèces restantes, les données sont reprises des travaux de différentes publications, situées de préférence en Méditerranée. Lorsque aucune donnée n'est disponible, les compositions alimentaires sont définies approximativement à partir des informations disponibles sur le site fishbase.org (Froese & Pauly, FishBase, 2009). Le détail des sources dont proviennent les compositions alimentaires de chaque espèce est présenté en Annexe VI.

### 3.2.3 Paramètres d'entrée des groupes trophiques d'invertébrés

#### ➤ **Détermination des biomasses B**

Les valeurs de biomasse des groupes trophiques d'invertébrés sont calculées à partir de données provenant de précédentes études réalisées à Port-Cros (Francour, 1990 ; Frantzis *et al.*, 1988 ; Harmelin & Garrabou, 2005 ; Vadon, 1981). Les données encore manquantes pour certains groupes sont issues d'autres travaux effectués en Corse (Pinnegar, 2000) et en Espagne (Sala, 1997) ou de données personnelles (Francour et Thibault, comm. pers.). Pour plus de précision, les biomasses de chaque groupe sont ensuite rapportées aux surfaces occupées par les substrats sur lesquels ils vivent à Port-Cros, avec la même méthode de calcul que pour les poissons (Annexe IV). Les biomasses des invertébrés finalement obtenues sont détaillées pour chaque groupe en Annexe VII.

#### ➤ **Détermination des ratios P/B et Q/B**

A la différence des poissons, il n'existe pas d'équation empirique applicable à l'ensemble des invertébrés marins pour calculer les ratios P/B et Q/B. Nous avons donc repris des valeurs citées dans la littérature (Coll *et al.*, 2006 ; Francour, 1990 ; Opitz, 1996 ; Pinnegar, 2000). Les données de Francour, à Port-Cros, et de Coll, en Mer Catalane, ont généralement été préférées à celles de Opitz, concernant les récifs coralliens, ou de Pinnegar, de sources diverses. Le détail des ratios P/B et Q/B choisis pour chaque groupe trophique est présenté en Annexe VIII.

#### ➤ **Détermination des compositions alimentaires DC**

Contrairement aux poissons, les régimes alimentaires des invertébrés sont assez mal connus et les données issues de l'analyse de contenus stomacaux sont rares. Ainsi, dans

notre étude, seules les compositions alimentaires des groupes « Oursins » et « Holothuries » proviennent de contenus stomacaux (Berthon, 1987). Pour les autres groupes, la matrice des compositions alimentaires construite par Pinnegar pour son modèle de la Baie de la Revellata en Corse (Pinnegar, 2000) a servi de base de travail. A partir de cette matrice, les régimes alimentaires des différents groupes d'invertébrés sont affinés d'après les informations recueillies sur le site [doris.ffessm.fr](http://doris.ffessm.fr) (DORIS, 2009). Ce site a été créé par des membres de la Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins (FFESSM). Il répertorie des Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et de la flore Subaquatique (DORIS), et plus particulièrement sur la faune marine de France métropolitaine.

#### 3.2.4 Paramètres d'entrée du groupe trophique des « Oiseaux marins »

##### ➤ **Détermination de la biomasse B et des ratios P/B et Q/B**

La biomasse des « Oiseaux marins » est calculée à partir de recensements récents des effectifs reproducteurs (nombre de couples nicheurs), réalisés à Port-Cros entre 2004 et 2007. Elle est obtenue en multipliant le nombre d'individus reproducteurs recensés par le poids moyen d'un individu (Bourgeois, comm. pers.). Puis, cette valeur est rapportée à la surface prospectée, correspondant à la totalité des eaux du Parc, pondérée par le temps de présence des oiseaux sur les colonies. En effet, les puffins sont des oiseaux pélagiques strictement insulaires. Ils nichent sur les falaises escarpées des îles rocheuses du littoral méditerranéen où ils viennent se reproduire, puis se dispersent en haute mer le reste de l'année (Bigéard, Oiseaux.net, 2009). Ainsi, les puffins cendrés (*Calonectris diomedea*) sont présents à Port-Cros environ 244 jours par an, de mi-février à mi-octobre (soit 67% de l'année), alors que les puffins de Méditerranée (*Puffinus yelkouan*) sont présents 275 jours par an, de début novembre à fin juillet (soit 75% de l'année) (Bourgeois, comm. pers.). Les goélands leucophée (*Larus michahellis*) sont aussi des oiseaux grégaires qui se regroupent en colonies pour nicher sur les falaises côtières et les îles rocheuses du littoral méditerranéen (Collin, Oiseaux.net, 2009). Ils sont présents à Port-Cros 214 jours par an, de début janvier à fin juillet (soit 59% de l'année) (Bourgeois, comm. pers.).

Pour les oiseaux, comme pour les groupes trophiques d'invertébrés, les valeurs des ratios P/B et Q/B sont issues de la littérature (Coll et al., 2006 ; Russell et al., 1999).

##### ➤ **Détermination de la composition alimentaire DC**

La composition alimentaire des oiseaux est déterminée à partir de données de contenus stomacaux de puffins cendrés (*Calonectris diomedea*) et de puffins de Méditerranée (*Puffinus yelkouan*). *Calonectris diomedea* se nourrit principalement de poissons pélagiques vivant au large (70%), mais aussi de grand zooplancton, de chinchards, de céphalopodes et de petits crustacés (< 10%). *Puffinus yelkouan* se nourrit préférentiellement de grand zooplancton (65%), mais aussi de poissons pélagiques vivant au large (35%) (Bourgeois et al., 2009).

Par ailleurs, les puffins semblent se nourrir assez peu dans les eaux à proximité directe de l'île, et peuvent aller à plusieurs centaines de km au large pour s'alimenter. Ainsi, d'après Karen Bourgeois, pour les puffins nichant sur Port-Cros, les eaux du Parc ne représenteraient pas plus de 5% des zones prospectées pour l'alimentation (voire encore moins). C'est pourquoi, dans la matrice finale des compositions alimentaires, 95% de l'alimentation des oiseaux provient d'importations. Les valeurs de consommation des différents groupes de proies sont alors recalculées sur les 5 % restant (les poissons pélagiques vivant au large étant inclus dans les 95% d'importations).

A la différence des puffins, le goéland leucophée (*Larus michahellis*) est omnivore. Il se nourrit occasionnellement de poissons, notamment ceux rejetés par les pêcheurs, mais surtout de déchets trouvés dans les décharges publiques des villes, à l'intérieur des terres (Collin, Oiseaux.net, 2009). Ainsi, seulement 11% du total de ce qui est mangé par les

goélands nichant sur les îles de Bagaud ou de Porquerolles est d'origine marine, les 89% restant étant d'origine détritique (décharges publiques) ou terrestre (Duhem, 2005). Nous ne disposons cependant pas de données plus précises sur le régime alimentaire des goélands leucophées et nous nous limiterons donc aux données concernant les puffins.

### 3.2.5 Hypothèses sur les exportations $Ex$ , la biomasse accumulée $B_{acc}$ et le ratio $U/Q$

Dans un premier temps, du fait du manque d'information sur les éventuelles migrations d'espèces à Port-Cros (immigrations et émigrations), les exportations  $Ex$  et la biomasse accumulée  $B_{acc}$  de tous les groupes trophiques sont initialisées à zéro. De façon usuelle, les taux de non assimilation de la nourriture  $U/Q$  sont fixés à 0,2, soit 20% de l'alimentation consommée non assimilée, sauf pour le groupe « Zooplancton petit » pour lequel on attribue une valeur de 0,4.

### 3-3. Equilibrage du modèle Ecopath

Une fois que tous les paramètres sont entrés dans le modèle, il faut l'équilibrer. En effet, les données ayant servi à fixer les paramètres d'entrée provenant de sources différentes, elles s'avèrent souvent incohérentes entre elles. Cela se traduit par des efficacités écotrophiques  $EE$  supérieures à 1 pour certains groupes, ce qui est impossible. Il faut alors corriger les valeurs incompatibles, de façon empirique, en fonction de la fiabilité que l'on accorde aux données. On procède alors manuellement, pas à pas : on commence généralement par corriger les valeurs de biomasse et/ou de ratios  $P/B$  et  $Q/B$ , puis on reprend les compositions alimentaires qui posent problème.

Cette étape délicate est cependant essentielle à l'amélioration des données disponibles et donc de la connaissance de l'écosystème, car elle met en lumière les incohérences et les manques. C'est donc une étape qui apporte des informations nouvelles sur les données, qui seront présentées dans la partie Résultats.

## 4. Méthodologie : simulations sous EcoTroph

Dans cette étude, nous avons travaillé avec la version 5 du logiciel Ecopath, et nous n'avons donc pas utilisé le module *plug-in* de EcoTroph disponible avec la version 6 de Ecopath (Christensen & Lai, 2007), mais la version Excel équivalente.

### 4-1. Passage de Ecopath à EcoTroph avec « ET-Tranpose »

Pour construire le modèle EcoTroph de l'AMP de Port-Cros, on utilise les valeurs de niveau trophique moyen  $\tau_i$ , de biomasse  $B_i$  et de ratio  $(P/B)_i$  de chaque groupe trophique  $i$ , obtenues en sortie du modèle Ecopath. Les données de captures  $Y_i$  de chaque groupe trophique pêché sont également entrées dans le modèle.

Les biomasses  $B_i$ , productions  $P_i$  et captures  $Y_i$  de chaque groupe sont redistribuées sur une plage de niveaux trophiques qui tient compte de la variabilité intra-groupe. La routine *ET-Transpose* conduit ainsi à construire des spectres trophiques de biomasse, production, et captures, représentant graphiquement ces différents paramètres en fonction du niveau trophique. De ces spectres sont ensuite déduites les 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  $\varphi\tau = Y\tau/P\tau$ , dans chaque classe trophique du spectre.

### 4-2. Simulations de différents scénarii de pêche avec « ET-Diagnosis »

Afin de simuler différents scénarii de gestion, on applique différents multiplicateurs d'effort  $mF$  à la mortalité par pêche  $F$  initiale. L'impact des multiplicateurs varie en fonction de l'accessibilité de la biomasse  $B$  de chaque groupe trophique à la pêche. La biomasse accessible à la pêche  $B^*$  est obtenue en multipliant la biomasse totale  $B$  par un coefficient

d'accessibilité défini au préalable pour chaque groupe trophique. Dans la présente étude, les groupes trophiques non pêchés sont considérés comme non accessibles à la pêche et ont donc une accessibilité nulle. L'accessibilité des groupes pêchés correspond au rapport du nombre d'espèces pêchées dans le groupe sur le nombre total des espèces du groupe (Annexe III).

Trois simulations différentes sont réalisées à l'aide de la routine *ET-Diagnosis*. Chaque simulation se distingue par les valeurs que prennent les paramètres de mortalité par pêche accessible  $F^*$  et de taux de pertes par pêche accessible  $\phi^*$ , en fonction des niveaux trophiques. Pour chacune des trois simulations, nous faisons également varier la valeur du multiplicateur d'effort  $mF$ , afin d'obtenir finalement 7 scénarii de pêche différents (Tableau 4).

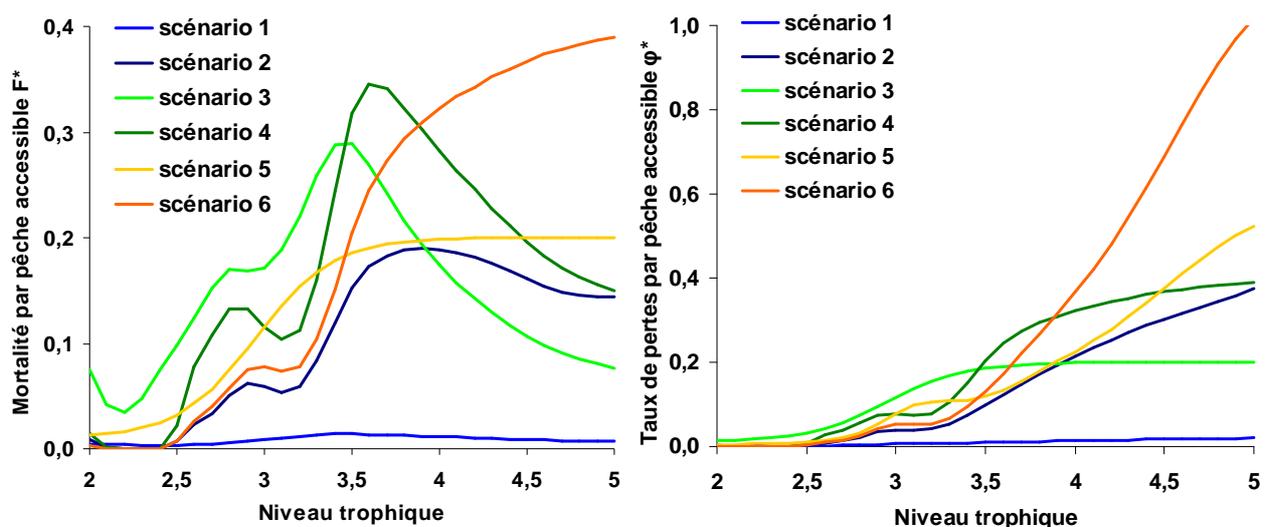
Dans la première simulation, les valeurs de  $F^*$  et  $\phi^*$  sont obtenues à partir des sorties du modèle Ecopath. Nous appliquons d'abord un  $mF$  nul, ce qui correspond à une absence de pêche. C'est le scénario n°0, représentant un écosystème sans pêche, à l'état vierge. Dans le scénario n°1, nous appliquons un  $mF$  de 1, représentant l'écosystème avec pêche, à l'état actuel. Enfin, un  $mF$  de 20 est appliqué dans le scénario n°2, correspondant à une forte augmentation de l'effort de pêche actuel (Figure 2).

Dans la deuxième simulation, on simule un taux de pertes par pêche accessible  $\phi^*$  égal à 0,2 à partir du niveau trophique 3,5 (considéré comme la limite inférieure des niveaux trophiques des prédateurs supérieurs de l'écosystème). On applique un  $mF$  de 1 dans le scénario n°3 et de 2 dans le scénario n°4. Les scénarios n°3 et 4 représentent donc un fort impact de la pêche sur les hauts niveaux trophiques, plus fort encore dans le scénario n°4 (Figure 2).

Dans la troisième simulation, on simule une mortalité par pêche accessible  $F^*$  égale à 0,2 à partir du niveau trophique 3,5. On applique un  $mF$  de 1 dans le scénario n°5 et de 2 dans le scénario n°6. Les scénarios n°5 et 6 représentent donc un ciblage fort de la pêche sur les hauts niveaux trophiques, plus fort encore dans le scénario n°6 (Figure 2).

**Tableau 4 : Hypothèses des différents scénarii de pêche**

Simulation	1		2		3		
$F^*$	$F^*$		$F^*$		0,2 pour $\tau > 3,5$		
$\phi^*$	$\phi^*$		0,2 pour $\tau > 3,5$		$\phi^*$		
Scénario	0	1	2	3	4	5	6
$mF$	0	1	20	1	2	1	2



**Figure 2 : Mortalité par pêche accessible  $F^*$  et Taux de pertes par pêche accessible  $\phi^*$  par scénario**

### III. Résultats

#### 1. Résultats du modèle Ecopath

##### 1-1. Equilibrage du modèle Ecopath

###### 1.1.1 Equilibrage des biomasses et des ratios P/B et Q/B

Pour équilibrer le modèle, des modifications sont apportées aux valeurs de biomasses et de ratios P/B et Q/B des différents groupes trophiques. Le tableau ci-après indique les valeurs des différents paramètres obtenues, pour chacun des groupes trophiques, après équilibrage, en sortie du modèle (Tableau 5). La description détaillée des principales modifications faites sur ces paramètres lors de l'équilibrage du modèle est présentée en Annexe IX. Après équilibrage, on dispose donc d'informations nouvelles, grâce à l'ajustement des données disponibles et à l'estimation des données manquantes.

**Tableau 5 : Paramètres en entrée (en normal) et en sortie (en gras) du modèle Ecopath**

( $\tau$  : Niveau Trophique, B : Biomasse, P/B : Production/Biomasse, Q/B : Consommation/Biomasse, EE : Efficacité Ecotrophique, P/Q : Production/Consommation, Y : Captures, IO : Indice d'Omnivorie)

n° Groupe trophique	$\tau_i$	B <sub>i</sub>	(P/B) <sub>i</sub>	(Q/B) <sub>i</sub>	EE <sub>i</sub>	(P/Q) <sub>i</sub>	Y <sub>i</sub>	IO <sub>i</sub>
1 Oiseaux marins	3,5	0,29	0,4	73,2	<b>0,174</b>	<b>0,005</b>	0	<b>0,29</b>
2 Raies	<b>4,17</b>	<b>0,00298</b>	2,52	<b>16,8</b>	0,4	0,15	0,003	<b>0,407</b>
3 Pageots	<b>3,44</b>	<b>2,511</b>	3,06	<b>10,2</b>	0,4	0,3	0,003	<b>0,097</b>
4 Mérou grand	<b>3,9</b>	4	0,16	1,32	<b>0,001</b>	<b>0,121</b>	0,00083	<b>0,29</b>
5 Mérou moyen	<b>4,07</b>	<b>0,651</b>	0,53	<b>2,868</b>	<b>0,588</b>	<b>0,185</b>	0,00062	<b>0,213</b>
6 Mérou petit	<b>3,79</b>	<b>0,326</b>	1,8	<b>8,006</b>	<b>0,689</b>	<b>0,225</b>	0,00003	<b>0,267</b>
7 Sériole et Denté +	<b>3,75</b>	5,55	1,139	3,641	<b>0,035</b>	<b>0,313</b>	0,029	<b>0,349</b>
8 Chapon +	<b>3,81</b>	0,491	1,318	4,781	<b>0,514</b>	<b>0,276</b>	0,078	<b>0,317</b>
9 Sars +	<b>2,96</b>	3,628	1,07	7,809	<b>0,896</b>	<b>0,137</b>	0,029	<b>0,32</b>
10 Blennies +	<b>3,45</b>	0,149	1,27	7,429	<b>0,986</b>	<b>0,171</b>	0	<b>0,366</b>
11 Rascasses et Serrans +	<b>3,71</b>	4,293	1,24	7,814	<b>0,222</b>	<b>0,159</b>	0,031	<b>0,218</b>
12 Rouget +	<b>3,47</b>	0,235	1,15	7,969	<b>0,964</b>	<b>0,144</b>	0,03	<b>0,4</b>
13 Syngnathes +	<b>3,33</b>	0,021	1,12	10,018	<b>0,984</b>	<b>0,112</b>	0	<b>0,297</b>
14 Labres	<b>2,91</b>	5,039	1,211	9,652	<b>0,868</b>	<b>0,125</b>	0,019	<b>0,477</b>
15 Gobies	<b>3,3</b>	0,426	1,437	11,947	<b>0,988</b>	<b>0,12</b>	0	<b>0,122</b>
16 Chinchards et Athérines +	<b>3,11</b>	15	1,206	9,977	<b>0,853</b>	<b>0,121</b>	0,012	<b>0,604</b>
17 Mulets	<b>2,25</b>	4,502	1,01	15,127	<b>0,644</b>	<b>0,067</b>	0	<b>0,258</b>
18 Saupe grande	<b>2</b>	4,15	1,334	24,12	<b>0,605</b>	<b>0,055</b>	0,014	<b>0</b>
19 Saupe petite	<b>2</b>	<b>5,349</b>	1,364	<b>49,638</b>	<b>0,232</b>	<b>0,027</b>	0,025	<b>0</b>
20 Brachyours	<b>2,9</b>	3,608	2,1	14	<b>0,951</b>	<b>0,15</b>	0,018	<b>0,317</b>
21 Amphipodes	<b>2,06</b>	<b>15,738</b>	9	<b>45</b>	0,95	0,2	0	<b>0,057</b>
22 Décapodes	<b>2,72</b>	<b>15,59</b>	3,08	<b>12,32</b>	0,95	0,25	0,012	<b>0,317</b>
23 Petits Crustacés	<b>2,12</b>	21,6	4	33,4	<b>0,833</b>	<b>0,12</b>	0	<b>0,125</b>
24 Bivalves	<b>2,36</b>	2	2,46	15,867	<b>0,91</b>	<b>0,155</b>	0	<b>0,256</b>
25 Céphalopodes	<b>3,48</b>	2,5	2,34	<b>7,8</b>	<b>0,916</b>	0,3	0,017	<b>0,145</b>
26 Gastéropodes	<b>2,32</b>	<b>51,242</b>	1,913	10,71	0,9	<b>0,179</b>	0	<b>0,31</b>
27 Etoiles de mer	<b>2,46</b>	0,7	0,25	<b>1,667</b>	<b>0,778</b>	0,15	0	<b>0,373</b>
28 Holothuries	<b>2,17</b>	76,255	0,25	<b>1,667</b>	<b>0,046</b>	0,15	0	<b>0,157</b>
29 Oursins	<b>2,06</b>	38,195	0,19	<b>1,267</b>	<b>0,766</b>	0,15	0	<b>0,075</b>
30 Ophiures +	<b>2,28</b>	<b>3,391</b>	0,49	3,24	0,9	<b>0,151</b>	0	<b>0,246</b>
31 Suspensivores	<b>2,29</b>	<b>77,035</b>	1,695	<b>11,3</b>	0,9	0,15	0	<b>0,222</b>
32 Gorgones	<b>2,19</b>	40,556	0,08	<b>0,533</b>	<b>0,169</b>	0,15	0	<b>0,186</b>
33 Foraminifères	<b>2</b>	<b>3,139</b>	100	<b>333,333</b>	0,95	0,3	0	<b>0</b>
34 Zooplancton grand	<b>2,37</b>	<b>3,479</b>	25	70	0,95	<b>0,357</b>	0	<b>0,289</b>
35 Zooplancton petit	<b>2,1</b>	<b>6,17</b>	50	170	0,948	<b>0,294</b>	0	<b>0,09</b>
36 Posidonies	<b>1</b>	8550	0,3	-	<b>0,119</b>	-	0	<b>0</b>
37 Algues superficielles	<b>1</b>	140,959	4,43	-	<b>0,694</b>	-	0	<b>0</b>
38 Algues profondes	<b>1</b>	40,95	4,43	-	<b>0,35</b>	-	0	<b>0</b>
39 Phytoplancton	<b>1</b>	14	112,65	-	<b>0,969</b>	-	0	<b>0</b>
40 Vers marins	<b>2,27</b>	<b>76,135</b>	1,82	11,53	0,95	<b>0,158</b>	0	<b>0,252</b>
41 Détritux	<b>1</b>	230,85	-	-	<b>0,811</b>	-	0	<b>0,402</b>

### 1.1.2 Équilibrage des Importations et des Exportations

Lors de l'équilibrage, il apparaît que les biomasses des groupes « Zooplancton petit », « Phytoplancton » et « Détritus » sont insuffisantes. On formule donc l'hypothèse qu'une partie de cette biomasse provient d'importations : 0,5 t/km<sup>2</sup>/an pour le petit zooplancton, 3 t/km<sup>2</sup>/an pour le phytoplancton et 2 t/km<sup>2</sup>/an pour les détritus.

### 1.1.3 Équilibrage des compositions alimentaires

Pour équilibrer le modèle, il a fallu réduire la prédation sur certains groupes à faible biomasse et l'augmenter sur d'autres groupes plus abondants. Les compositions alimentaires de certains groupes ont donc été ajustées. Nous expliquons ici les principales modifications, faites lors de l'équilibrage du modèle, sur les compositions alimentaires des différents groupes. Le détail des modifications est présenté en Annexe X.

Les principaux groupes de poissons sur lesquels il a fallu réduire la prédation sont les groupes « Blennies », « Rouget + », « Syngnathes + » et « Gobies », principalement consommés par les groupes « Sériole & Denté + », « Rascasses & Serrans + » et les mérus. La fraction de ces proies consommées par ces prédateurs abondants a été reportée sur d'autres groupes de poissons, apparaissant dans leur régime alimentaire et présents en plus grande quantité dans l'écosystème, tels que les chinchards, les labres, les sars, les pageots, les mulets ou les saupes.

Concernant les invertébrés, la prédation était trop forte sur les groupes « Brachyoures », « Petits Crustacés », « Bivalves », « Céphalopodes », « Etoiles de mer » et « Oursins ». La prédation sur les « Brachyoures » par les groupes « Pageots » et « Rascasses & Serrans + » est réduite en augmentant celle sur les « Décapodes ». Les « Petits Crustacés » sont relativement peu abondants et consommés par plusieurs groupes très abondants : « Chinchards & Athérines + », « Décapodes », « Suspensivores » et « Vers marins ». Il en est de même pour les « Bivalves », consommés notamment par les « Sars + » et les « Labres ». Les prédateurs sur petits crustacés et les bivalves sont alors reportés sur un groupe d'invertébrés plus abondant : les gastéropodes. Concernant le groupe « Céphalopodes », il est la proie de divers groupes de poissons, mais son principal prédateur est le « Mérou grand », pour lequel il a finalement fallu réduire dans le régime alimentaire la part de céphalopodes et augmenter celle des poissons. Enfin, la prédation des « Gastéropodes » sur les « Etoiles de mer » et sur les « Oursins » est réduite.

Les groupes de niveau 1 subissant une prédation trop forte sont les « Algues superficielles », le « Phytoplancton », ainsi que les « Détritus ». Pour les « Algues superficielles », la prédation importante par les « Saupes petites » est réduite et reportée sur les « Posidonies », très abondantes. En revanche, pour les deux derniers groupes, la réduction de la pression de prédation dans les compositions alimentaires des principaux prédateurs ne suffit pas à équilibrer le modèle et il faut ajouter des importations dans le système.

## 1-2. Indices écologiques du modèle Ecopath

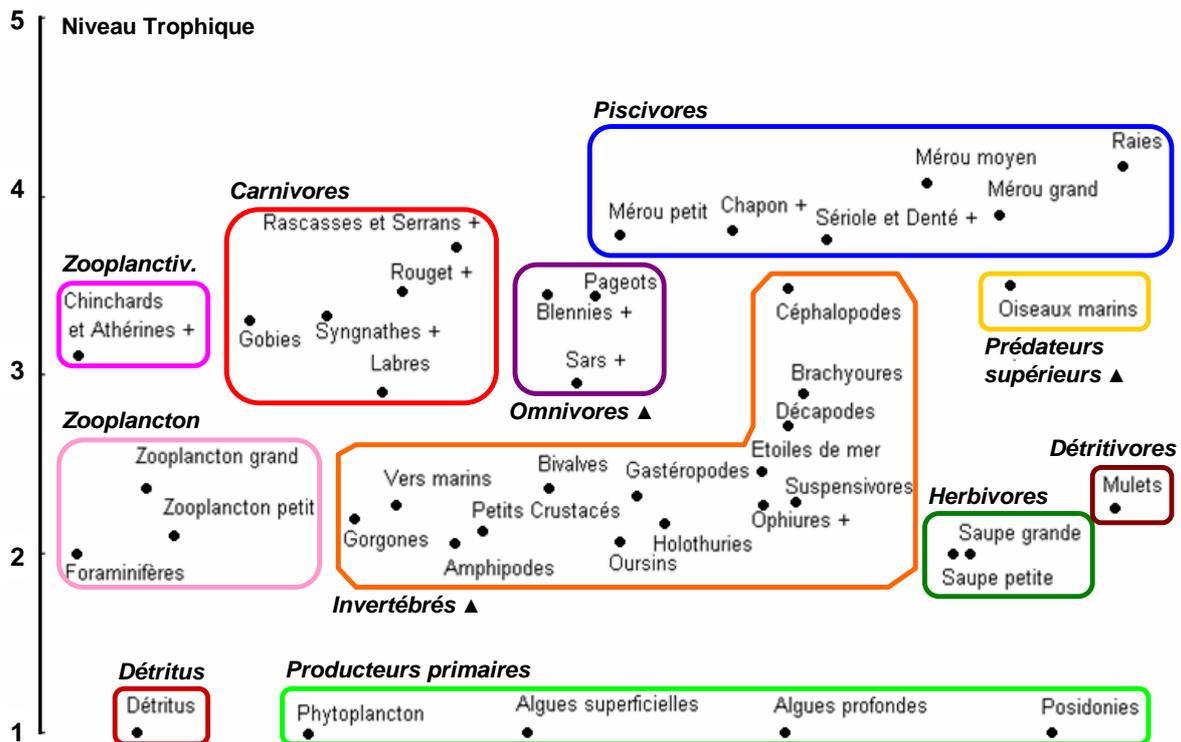
Une fois que le modèle Ecopath est équilibré, on peut en déduire des indices écologiques qui vont permettre de caractériser le rôle et l'impact des différents groupes trophiques, les relations entre ces groupes et l'impact de la pêche.

### 1.2.1 Indices de caractérisation de chaque groupe trophique

#### ➤ **Le niveau trophique moyen $\tau_i$**

Le niveau trophique moyen  $\tau_i$  de chaque groupe est une mesure de la place moyenne du groupe dans le réseau trophique. Sur la Figure 3 sont représentés les différents groupes

trophiques du modèle en fonction de leur niveau trophique. Pour plus de lisibilité, nous les avons rassemblés suivant leur régime alimentaire, ou leur place au sein du réseau trophique. Cela donne une représentation visuelle et synthétique de l'écosystème.



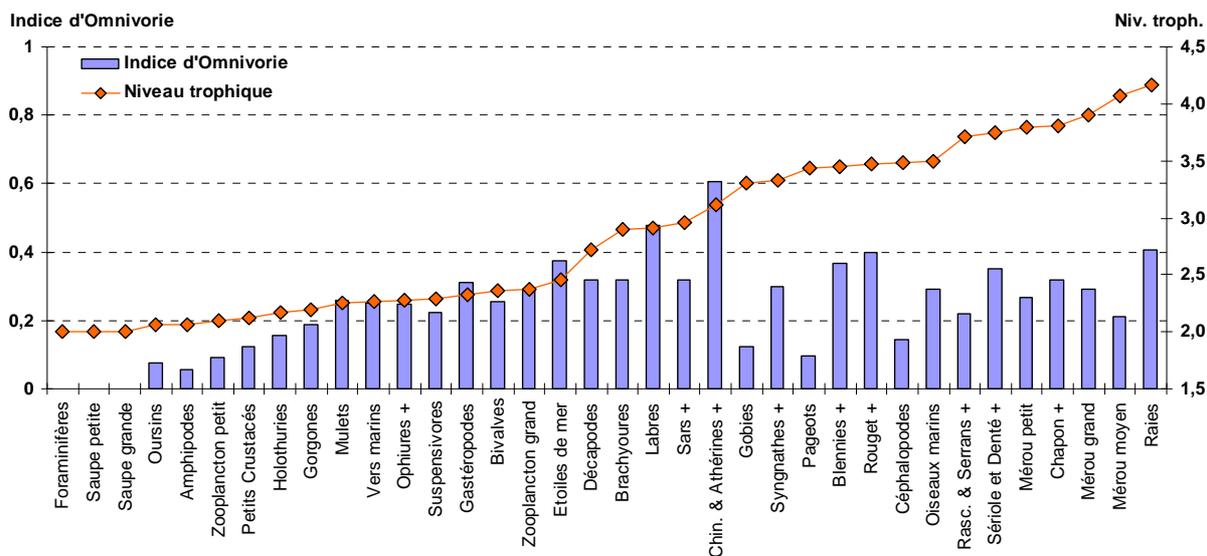
**Figure 3 : Représentation schématique des groupes trophiques du modèle Ecopath en fonction de leur niveau trophique moyen  $\tau_i$**

On remarque que les groupes de plus haut niveau trophique sont les raies et le mérrou, grands poissons piscivores. Concernant le mérrou, on observe qu'il occupe un niveau trophique différent en fonction de sa taille, ce qui traduit bien une variabilité importante de son régime alimentaire avec l'âge. Les grands mérous, de plus bas niveau trophique, consomment principalement des invertébrés (céphalopodes), alors que les mérous de taille moyenne, de plus haut niveau trophique, se nourrissent davantage de poissons. Les oiseaux marins, pourtant considérés comme des prédateurs supérieurs, ont un niveau trophique de 3,5 seulement. Cela s'explique par le fait qu'ils se nourrissent principalement de proies de bas niveau trophique (zooplancton). De la même façon, les groupes de poissons omnivores et carnivores ont des niveaux trophiques plus ou moins hauts, suivant qu'ils consomment plutôt des poissons, des invertébrés ou des végétaux. Les groupes d'invertébrés forment un ensemble hétérogène, ayant des régimes alimentaires divers, et donc des niveaux trophiques variables. Le niveau trophique élevé des céphalopodes est ainsi lié à une part non négligeable de poissons dans le régime alimentaire de ce groupe. Les groupes monospécifiques de poissons détritivores et herbivores occupent des niveaux trophiques très bas, respectivement 2,25 et 2, en raison de leur consommation quasi-exclusive en producteurs primaires et détritus, de niveau trophique 1.

### ➤ L'indice d'omnivorie IO

L'indice d'omnivorie IO de chaque groupe trophique est une mesure de la variabilité du niveau trophique des proies consommées par ce groupe. Il est obtenu par la formule suivante :  $IO_j = \sum_i (\tau_i - (\tau_j - 1))^2 * DC_{ij}$

Où  $\tau$  est le niveau trophique moyen du groupe proie i ou prédateur j et  $DC_{ij}$  la fraction du groupe proie i dans le régime alimentaire du groupe prédateur j. Les valeurs de IO de chaque groupe sont représentées sur la Figure 4.

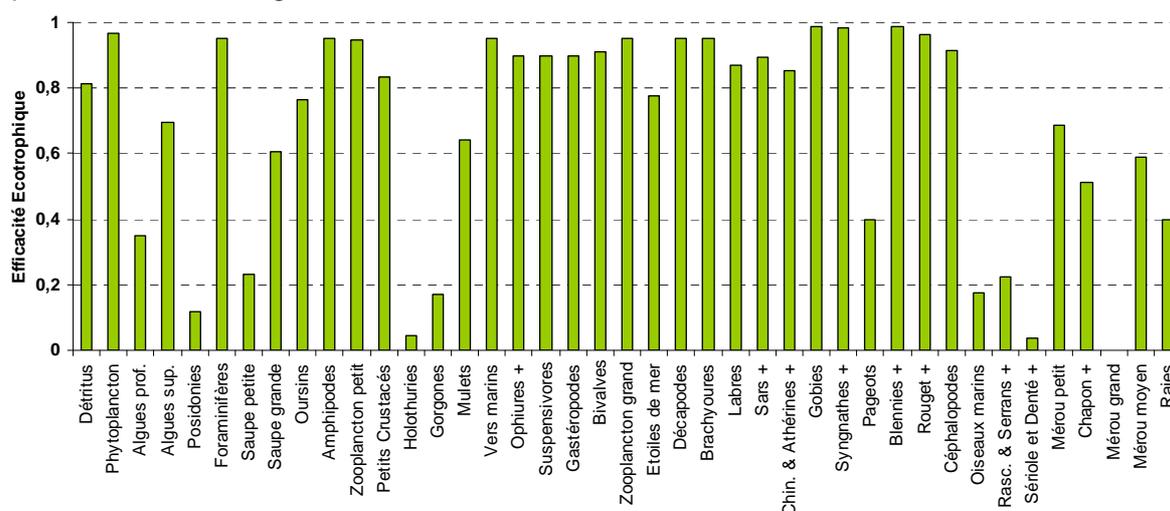


**Figure 4 : Indice d'Omnivorie  $IO_j$  et niveau trophique moyen  $\tau_j$  par groupe trophique**

On observe un IO croissant avec le niveau trophique jusqu'au niveau trophique 3, à partir duquel l'IO varie plus fortement. Le groupe « Chinchards & Athérines + » a l'IO le plus élevé, égal à 0,6. Les groupes « Labres », « Raies » et « Rouget + » présentent également des IO élevés, supérieurs à 0,4. On remarque que les groupes « Sars » et « Blennies », considérés comme omnivores, n'ont pas les valeurs d'indice d'omnivorie les plus fortes, car on s'intéresse ici à l'omnivorie en terme de niveau trophique. Enfin, les groupes « Foraminifères » et « Saupes », s'alimentant exclusivement de proies de niveau trophique 1, ont un IO nul.

### ➤ L'efficacité écotrophique EE

L'efficacité écotrophique EE est une mesure de la part de la production du groupe qui est utilisée par l'écosystème. Cet indice est compris entre 0 et 1. Plus il est proche de 1 et plus le groupe est efficace. Cet indice renseigne donc sur l'importance du rôle de chaque groupe au sein du réseau trophique. Les valeurs de EE de chaque groupe trophique sont représentées sur la Figure 5.



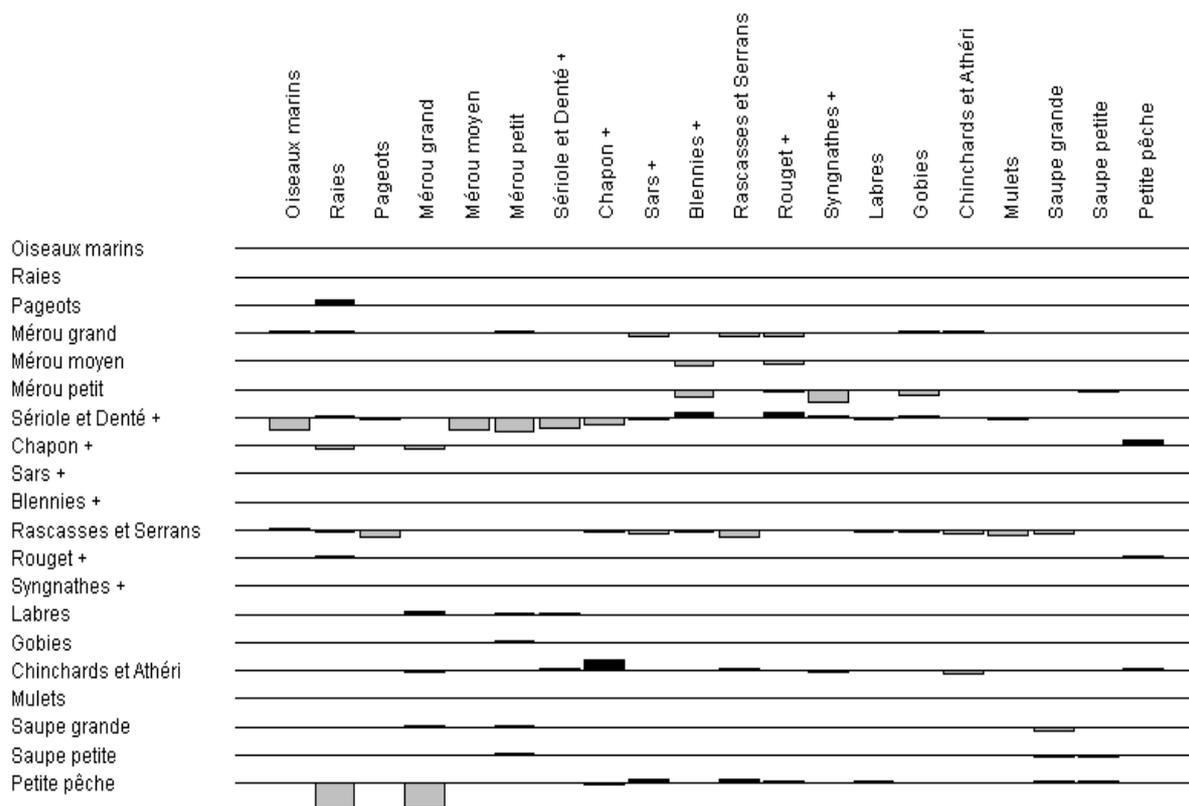
**Figure 5 : Efficacité Ecotrophique  $EE_j$  des différents groupes trophiques**

Les groupes « Blennies », « Rouget + », « Syngnathes + », « Gobies », « Brachyoures » et « Phytoplancton » ont une EE, estimée par le modèle, très proche de 1, car ils sont les proies de nombreux prédateurs et ont une biomasse faible. Au contraire, les groupes « Mérou grand », « Oiseaux marins » « Holothuries » et « Gorgones » ont peu de prédateurs et une EE proche de 0. Les groupes « Sérieole & Denté + », « Rascasses & Serrans + » « Saupe petite » et « Posidonies » ont également une EE faible, même s'ils sont consommés par certains prédateurs, car ils ont des biomasses importantes.

### 1.2.2 Indices de caractérisation des relations entre les groupes trophiques

#### ➤ **L'indice d'impact trophique mixte ITM**

L'indice d'impact trophique mixte ITM est une mesure de la variation du groupe proie  $i$  si le groupe prédateur  $j$  varie. Sur la Figure 6, les groupes impactés sont présentés en colonne et les groupes impactant en ligne. Sur chaque ligne de l'histogramme, un impact positif est représenté par une barre noire orientée vers le haut et un impact négatif, par une barre grise orientée vers le bas. Nous avons volontairement réduit l'analyse aux groupes trophiques de poissons, car ce sont les groupes qui nous intéressent plus particulièrement dans cette étude.

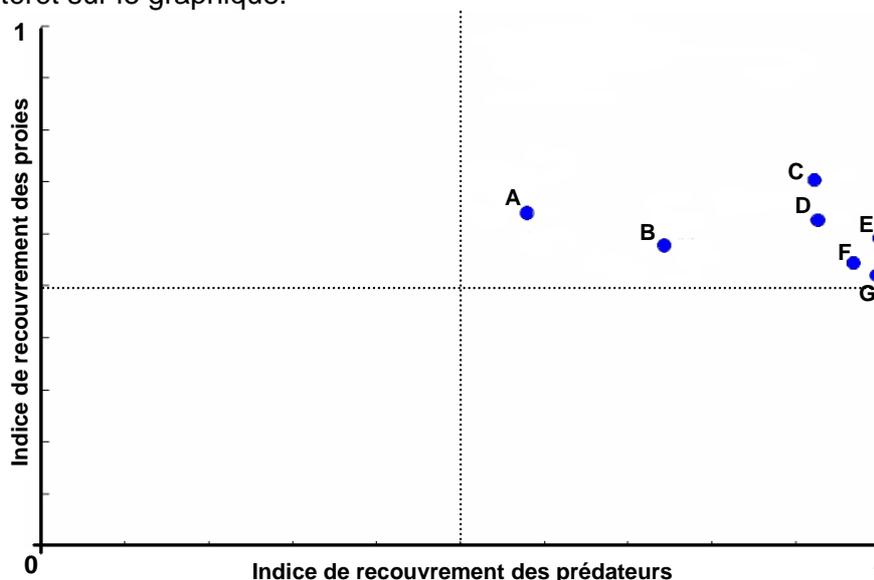


**Figure 6 : Impact Trophique Mixte ITM<sub>i</sub> des groupes trophiques de poissons et de la pêche**

Les groupes « Sérieole & Denté + » et « Rascasses & Serrans + » ainsi que les groupes des mérous sont ceux qui ont un impact négatif sur un nombre important de groupes de poissons. Or, ils sont situés en haut de la chaîne trophique. Ils peuvent donc être considérés comme les prédateurs supérieurs principaux de l'écosystème. La petite pêche a un impact négatif très fort sur deux de ces groupes de prédateurs supérieurs : les raies et le grand mérou, mais elle a au contraire un impact positif sur leurs proies. Enfin, on observe un impact négatif de certains groupes sur eux-mêmes, qui s'explique par une compétition intra-groupe, en particulier lorsque ce groupe est abondant dans l'écosystème. C'est le cas des groupes « Sérieole & Denté + », « Rascasses & Serrans + », « Chinchards & Athérines + », et des saupes.

➤ **L'indice de recouvrement de niche trophique**

L'indice de recouvrement de niche trophique est une mesure de la proximité des niches trophiques occupées par deux groupes trophiques différents. La Figure 7 présente en ordonnée l'indice de recouvrement des proies et en abscisse celui des prédateurs. Plus ces indices sont proches de 1, plus les niches des deux groupes se recouvrent, autrement dit plus leurs proies ou leurs prédateurs sont identiques. Là encore, nous avons volontairement réduit l'analyse aux couples de groupes trophiques de poissons et nous avons isolé 7 couples d'intérêt sur le graphique.



**Figure 7 : Indices de recouvrement de niche trophique**

(Couple **A** : Chapon - Rasc. & Serrans, **B** : Saupe grande – petite, **C** : Labres – Mulets, **D** : Pageots – Sars, **E** : Mérou moyen – petit, **F** : Mérou petit – Sér. & Denté, **G** : Sér. & Denté – Chapon)

Aucun couple ne présente un indice de recouvrement de proies supérieur à 0,7. En revanche, plusieurs couples ont un indice de recouvrement de prédateurs supérieur à 0,9. Les groupes « Labres » et « Mulets », « Pageots » et « Sars + », « Chapon + » et « Rascasses et Serrans + » semblent occuper des niches trophiques assez proches. On remarque que les couples « Saupe petite » - « Saupe grande » et « Mérou petit » - « Mérou moyen » ont des indices de recouvrement élevés concernant leurs prédateurs, mais assez faibles concernant leurs proies. Cela confirme qu'ils occupent des niches trophiques assez proches, mais suffisamment distinctes pour les inclure dans des groupes ontogéniques différents.

1.2.3 Indices de caractérisation de l'impact de la pêche

➤ **Le niveau trophique moyen des captures  $\tau_Y$**

Le niveau trophique moyen des captures  $\tau_Y$  obtenu en sortie du modèle Ecopath de Port-Cros est de 3,28 pour la totalité des captures par la petite pêche. Ce niveau est donc relativement élevé, ce qui confirme que la pêche à Port-Cros cible les prédateurs supérieurs.

➤ **L'efficacité brute**

L'efficacité brute correspond au rapport des captures totales  $Y$  sur la production primaire totale  $PP$ . C'est une mesure de l'intensité de l'exploitation par la pêche. A Port-Cros, la  $PP$  totale est de 4947 t/km<sup>2</sup>/an et le total des captures atteint 0,32 t/km<sup>2</sup>/an. L'efficacité brute obtenue par le ratio  $Y/PP$  est donc inférieure à 0,01%, ce qui traduit une très faible intensité de l'exploitation par la pêche.

## 2. Résultats du modèle EcoTroph

### 2-1. Représentation du modèle Ecopath en fonction des niveaux trophiques

Les figures ci-après (Figures 8 et 9) montrent la quantité de biomasse représentée par chaque groupe trophique en fonction de son niveau trophique. Ce sont des représentations graphiques des valeurs de biomasse obtenues en sortie du modèle Ecopath. Pour plus de lisibilité, nous présentons sur deux figures distinctes les groupes d'invertébrés et les groupes de poissons, qui ont des biomasses d'ordre de grandeur différent. Le groupe des oiseaux n'est représenté sur aucun des deux graphiques en raison de sa très faible biomasse.

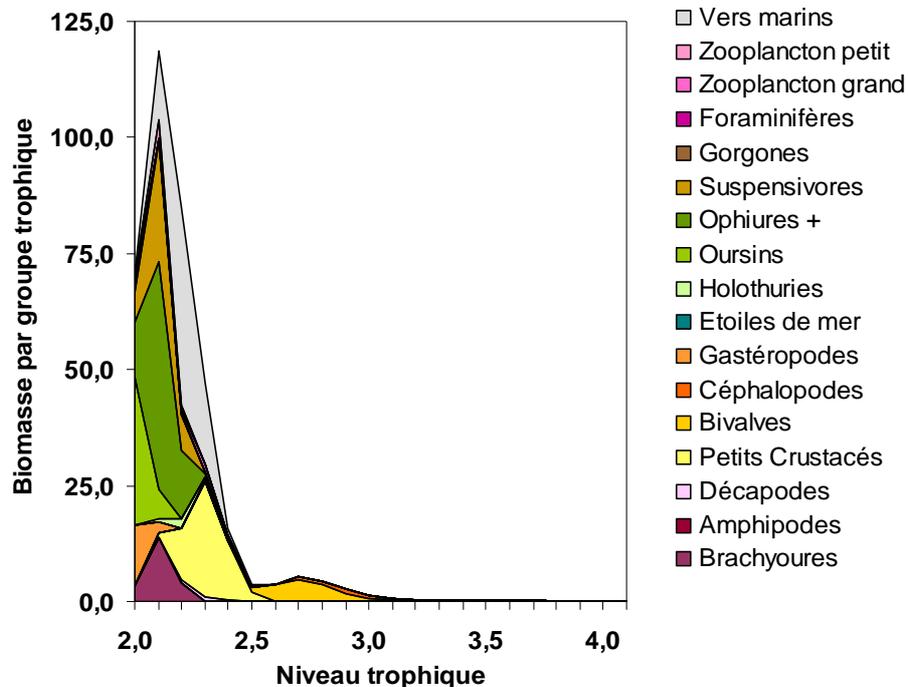


Figure 8 : Biomasse en fonction du niveau trophique par groupe trophique d'invertébrés

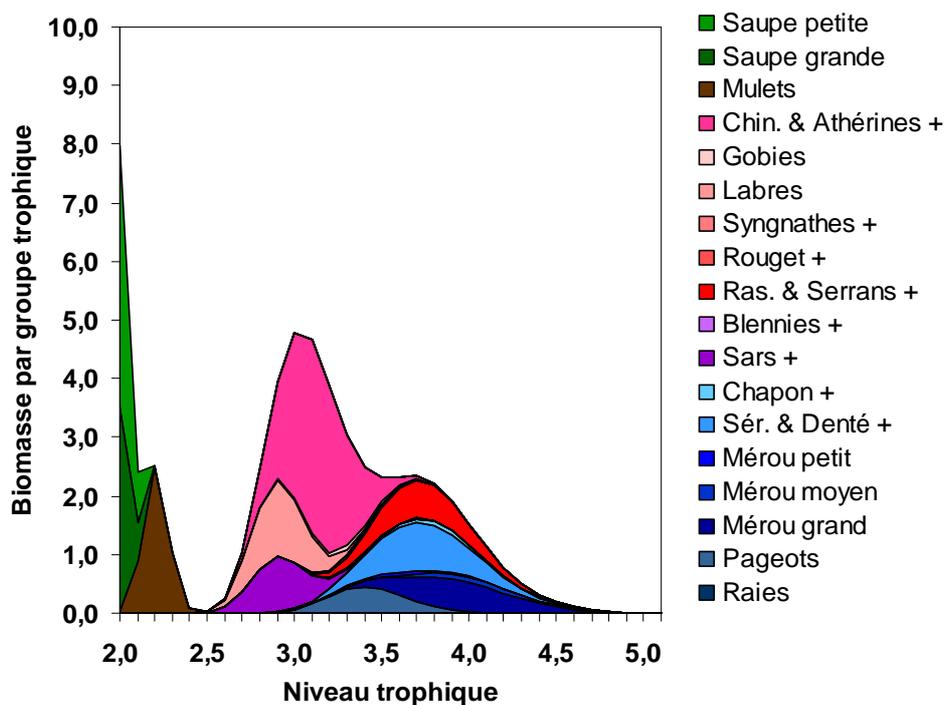


Figure 9 : Biomasse en fonction du niveau trophique par groupe trophique de poissons

Les groupes les plus abondants sont : les « Vers marins », les « Suspensivores », les « Ophiures + », les « Oursins », les « Gastéropodes » et les « Petits crustacés » pour les groupes d'invertébrés. Et ce sont les « Saupes », les « Chinchards & Athérines + », les « Mulets », les « Labres », les « Rascasses & Serrans + », les « Sars + », les « Sériole & denté + » et les « Mérous » pour les groupes de poissons.

Le même type de graphique est construit pour les captures des différents groupes trophiques pêchés (Figure 10). On constate ainsi que 3 types de groupes de poissons sont exploités par la pêche : les poissons herbivores (« Saupe » de niveau trophique 2) ; les poissons omnivores (« Sars + » de niveau trophique 3) ; et les poissons de haut niveau trophique (« Rouget + », « Rascasses et Serrans + » et « Chapon + »).

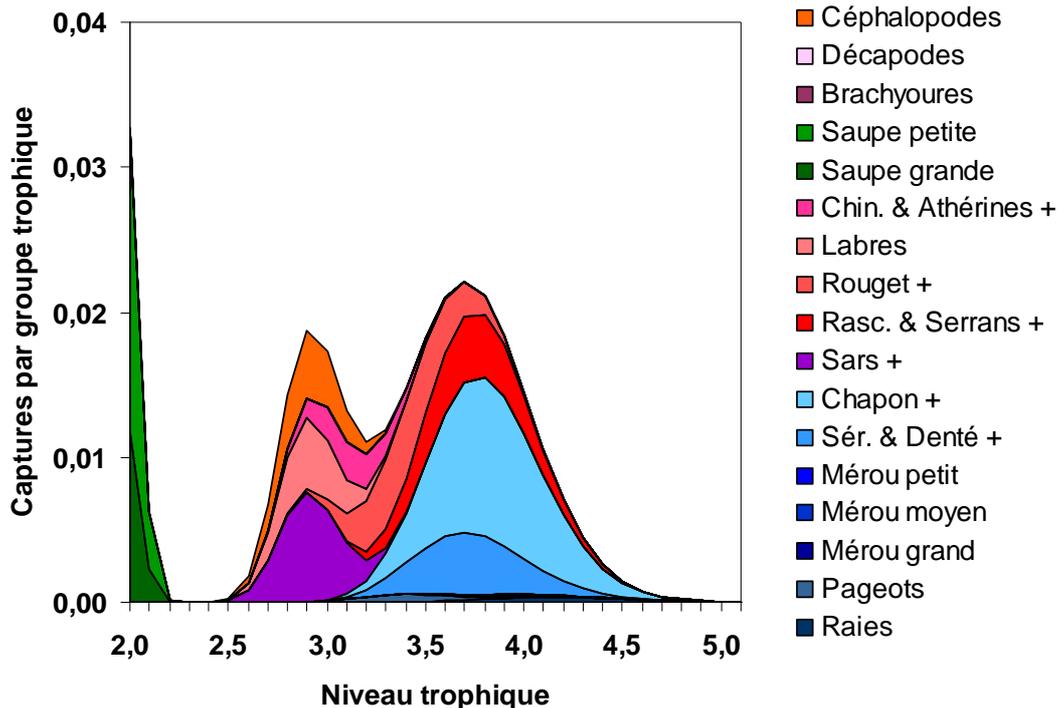


Figure 10 : Captures en fonction du niveau trophique par groupe trophique pêché

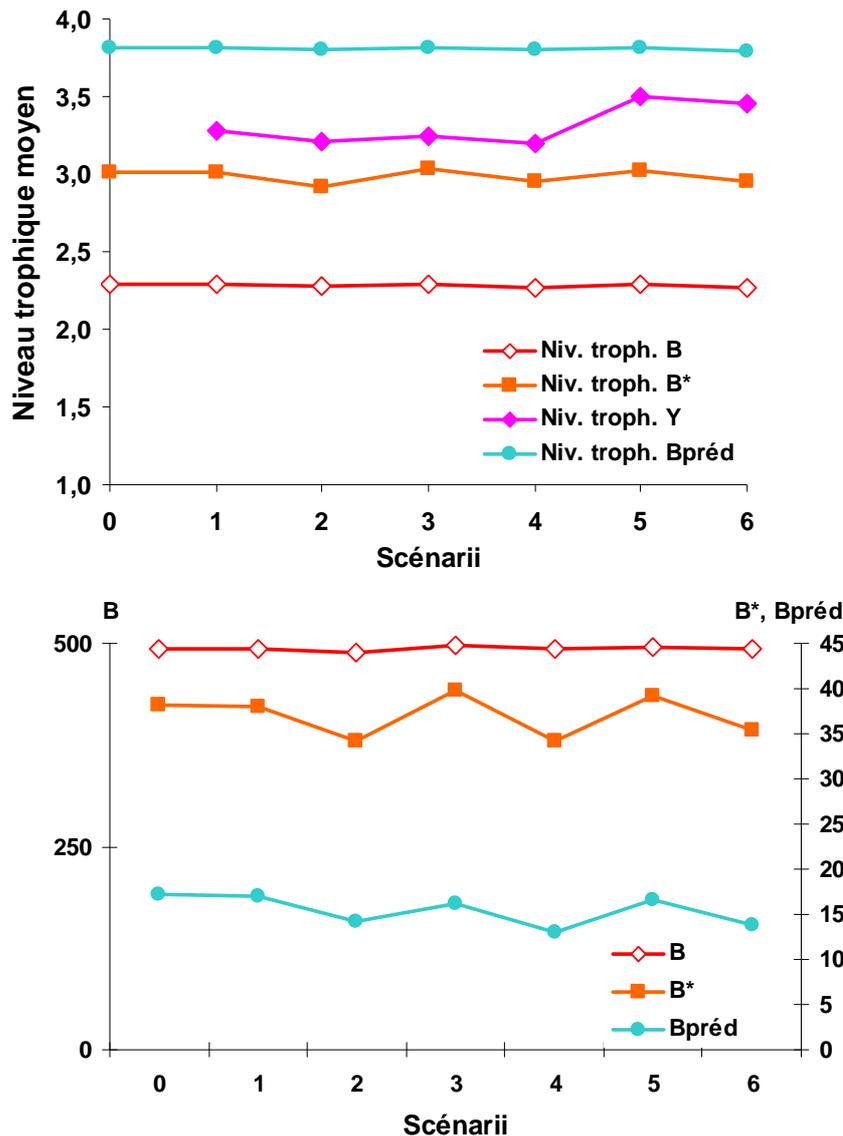
## 2-2. Simulation de différents scénarii de pêche

### 2.2.1 Comparaison des scénarii à l'aide des indicateurs de l'état de l'écosystème

Les scénarii de pêche n°1 à 6 sont comparés au scénario n°0 sans pêche à l'aide de deux indicateurs de l'état de l'écosystème : le niveau trophique moyen de l'écosystème  $\tau$  et la biomasse. Dans le Tableau 6 sont indiquées les valeurs relatives des indicateurs de biomasse, calculées en % par rapport aux valeurs à l'état vierge. Sur la Figure 11, les valeurs absolues des indicateurs de niveau trophique et de biomasse sont reportées en ordonnées, et les différents scénarii sont reportés en abscisses et indiqués par leur numéro. On s'intéresse à la biomasse totale B, à la biomasse accessible à la pêche B\* et à la biomasse des prédateurs B<sub>préd.</sub>

Tableau 6 : Valeur relative (en %) des indicateurs de biomasse par rapport à l'état vierge

Indicateur	Scénario					
	1	2	3	4	5	6
B	100	99	100	100	100	100
B*	99	89	104	89	103	92
B <sub>préd.</sub>	99	82	95	76	96	80



**Figure 11 : Indicateurs : niveau trophique moyen (en haut) et biomasse (en bas)**

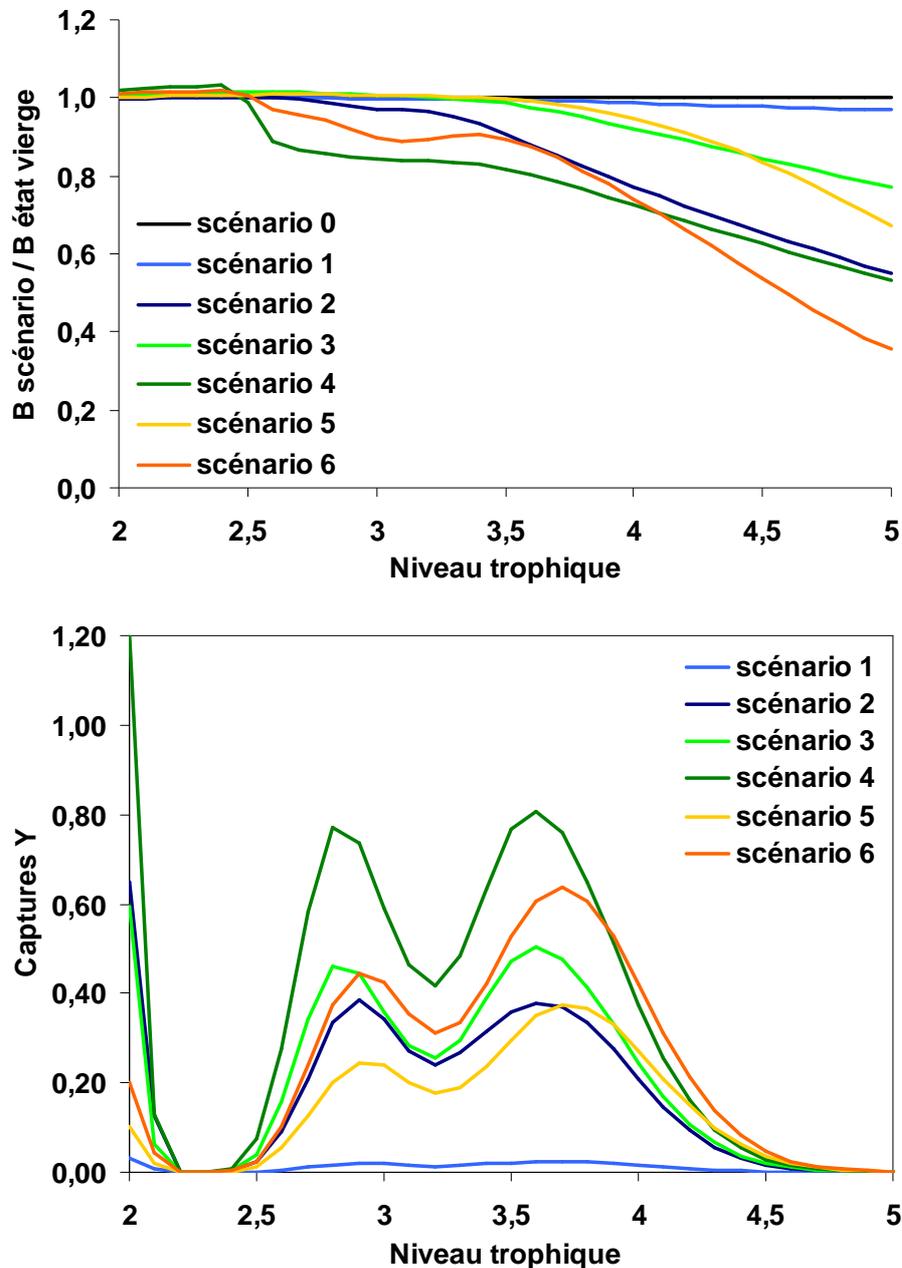
Sur la Figure 11, lorsqu'on compare chaque scénario à l'état vierge, on observe globalement une absence de variation des indicateurs. La biomasse totale  $B$  est stable et son niveau trophique moyen  $\tau_B$  est constant, quelque soit le scénario choisi. On remarque une légère baisse du niveau trophique moyen de la biomasse accessible  $\tau_{B^*}$  dans les scénarii n°2, 4 et 6, correspondant aux multiplicateurs d'effort les plus importants. Cette même baisse est constatée pour la biomasse accessible  $B^*$  et la biomasse des prédateurs  $B_{préd}$ . Enfin, on note que le niveau trophique moyen des captures  $\tau_Y$  est un peu supérieur dans les scénarii n°5 et 6, correspondant à un  $F^*$  constant (Figure 11).

Les valeurs relatives des indicateurs de biomasse confirment que la biomasse totale  $B$  est stable. En revanche, en valeur relative, la biomasse accessible  $B^*$  et surtout la biomasse des prédateurs  $B_{préd}$  sont réduites de 10 à 25% dans les scénarii n°2, 4 et 6. (Tableau 6).

### 2.2.2 Comparaison des scénarii à l'aide des spectres trophiques

Dans un deuxième temps, les 6 scénarii sont comparés à l'aide de spectres trophiques. Ces spectres représentent la variation de la biomasse et des captures en fonction du niveau trophique, pour chacun des scénarii.

Les 6 spectres trophiques de biomasse étant presque confondus, nous présentons à la place la variation du ratio de la biomasse totale de chaque scénario de pêche sur la biomasse totale du scénario sans pêche n°0. Ce ratio permet de quantifier la proportion de biomasse prélevée par la pêche dans chaque scénario, par rapport à l'état vierge de référence (Figure 12).



**Figure 12 : Spectres trophiques du ratio de biomasse (en haut) et des captures (en bas)**

La comparaison des scénarii n°0 et 1 montre une réduction très faible de la biomasse par la pêche dans l'état actuel, par rapport à l'état vierge, pour tous les niveaux trophiques. Cela confirme que la réserve a atteint son objectif de préservation de la biomasse, par la limitation de la pêche à de faibles niveaux de captures. Les scénarios n°2, 3 et 5 représentent un plus haut niveau de captures et ont un impact un peu plus important sur la biomasse, toujours sur les niveaux trophiques supérieurs. En revanche, les scénarios n°4 et 6, correspondant à des niveaux de captures élevés, ont un impact assez important sur tous les niveaux trophiques, même les plus bas (Figure 12).

## **IV. Discussion**

### **1. Analyse critique des choix méthodologiques**

Au cours de cette étude, un certain nombre de choix méthodologiques ont été faits à chaque étape de la réalisation du modèle.

Tout d'abord, lors de la construction des groupes trophiques, nous avons choisi de procéder de façon empirique, en associant les espèces en fonction de critères prédéfinis. Nous aurions également pu procéder par classification ascendante hiérarchique. Cette méthode permet de classer les espèces de façon statistique, en fonction de leur ressemblance trophique, et elle est classiquement employée lors de la réalisation de modèles Ecopath (Coll et al., 2006). L'utilisation de ces outils statistiques ne nous a cependant pas paru utile, les données disponibles nous permettant de procéder de façon empirique. Ce choix semble justifié à posteriori par l'analyse des résultats, et notamment par les indices de recouvrement de niche qui montrent que les groupes semblent cohérents.

Ensuite, lors du calcul des biomasses, afin notamment de prendre en compte le caractère de résidence (permanent, saisonnier, occasionnel ou temporaire) des espèces dans l'herbier (Khoury, 1987), les valeurs de biomasse sont rapportées aux surfaces occupées par chaque substrat à Port-Cros. Chaque espèce de poissons ou groupe trophique de proies est ainsi inféodée, de façon plus ou moins arbitraire, à un ou plusieurs types de substrat. Ces choix sont guidés par les expertises et les données disponibles, mais ils restent toutefois discutables.

Enfin, lors du calcul des ratios P/B et Q/B, nous avons dû choisir les équations ou méthodes de calcul à utiliser. Le choix de la méthode de Caddy et de l'équation de Gislason pour le calcul du P/B s'appuie sur l'avis d'expertise rendu par le groupe de travail du Comité Scientifique Technique et Economique sur les Pêcheries (CSTEP) de Méditerranée (SGMED), en janvier 2009 (Gascuel, comm. pers.). Le choix de l'équation de Palomares & Pauly (1998) pour le calcul du Q/B est justifié par le fait qu'il s'agit de l'équation proposée la plus récente.

### **2. Analyse critique des données manquantes et disponibles**

#### **2-1. Mise en évidence des données manquantes**

Il nous faut également revenir sur le travail de synthèse bibliographique réalisé pour construire le modèle Ecopath. Nous avons tenté de faire une synthèse la plus complète possible en nous appuyant sur l'ensemble des travaux disponibles. Mais certaines données se sont avérées manquantes. Il s'agit plus particulièrement des données concernant les invertébrés. Les biomasses de la moitié des groupes d'invertébrés, qui ne font l'objet que de suivis très rares à Port-Cros, ont dû être estimées par le modèle. De plus, du fait du manque de connaissance, nous avons dû faire un certain nombre d'hypothèses sur les compositions alimentaires des invertébrés. Or, ils sont un maillon important de la chaîne alimentaire car ils constituent les proies préférentielles de la plupart des espèces de poissons. Par exemple, à Port-Cros, les crustacés sont les principales proies des poissons (Khoury, 1987). Une meilleure connaissance de l'écologie de ces groupes permettrait donc d'améliorer notre compréhension de l'ensemble du réseau trophique.

Les biomasses et les compositions alimentaires de certaines espèces de poissons ont aussi été plus difficiles à déterminer. En effet, si la biomasse de la plupart des espèces de poissons est obtenue à partir de données datant des années 2000 (Francour, 2007 ; GEM, *In press* ; Harmelin & Ruitton, 2007 ; Ruitton et al., 2004), certaines biomasses sont toutefois issues de comptages réalisés dans les années 80-90 (Francour, 1990 ; 1997 ; Harmelin, 1987 ; Khoury, 1987 ; Ody, 1987) (Annexe IV). Un suivi de l'ensemble de l'ichtyofaune présente à Port-Cros par des comptages réguliers de toutes les espèces permettrait de mettre à jour ces données. Concernant les compositions alimentaires des poissons, la difficulté principale était de trouver des analyses de contenus stomacaux d'individus vivant en Méditerranée Nord-Occidentale, le plus près possible de la zone d'étude. C'est la raison

pour laquelle certaines données proviennent d'études réalisées dans le Sud de la Méditerranée (Chakroun-Markouz & Kartas, 1987 ; Kallianiotis *et al.*, 2005), en Adriatique (Kovacic, 2007 ; Santic *et al.*, 2003) ou en Atlantique (Barreiros *et al.*, 2002 ; Morato *et al.*, 2003) (Annexe VI).

Un autre manque avéré concerne les données de pêche, en particulier la pêche amateur et la plongée. Les études dont nous disposons (Cadiou & Bernard, 2004 ; Cadiou & Bonhomme, 2005 ; 2006) présentent les captures des espèces ciblées par la pêche professionnelle. Mais ces données sont incomplètes car elles ne nous renseignent pas sur la biomasse représentée par les rejets de la petite pêche à Port-Cros. D'autre part, le suivi de la pêche dans les eaux du Parc national de Port-Cros a débuté en 2000. Les captures enregistrées renseignent par conséquent sur une période postérieure à 1963, date de mise en réserve de l'écosystème. Nous ne disposons donc pas de données sur les niveaux de captures, et surtout d'effort de pêche, avant la limitation de l'activité de pêche à Port-Cros. Or, ces informations constituent des éléments de comparaison indispensables pour définir un scénario de pêche plausible, et valider ainsi l'un des 5 scénarii simulant une augmentation de l'effort de pêche. Il est également très difficile de comparer les niveaux de captures dans la réserve à des prélèvements hors réserve. En effet, la pêche artisanale dans la région des îles d'Hyères, et plus largement sur le littoral méditerranéen, ne bénéficie pas d'un suivi rigoureux. Un double suivi de la pêche, à la fois à l'intérieur et à l'extérieur des eaux du Parc, permettrait de confirmer notre diagnostic sur le faible impact de la pêche à Port-Cros.

Enfin, les données de pêche de 2005 ne nous renseignent pas sur les captures par la pêche non professionnelle. L'étude la plus récente sur la pêche récréative à Port-Cros date des années 90 (Combelles, 1991). Or, on sait que l'impact de la plaisance est parfois non négligeable, en particulier dans les zones d'AMP (Lloret *et al.*, 2008). Un meilleur suivi de ces activités qui, bien que soumises à des réglementations strictes, sont toujours pratiquées dans les eaux du Parc, permettrait de mieux quantifier l'impact de la pêche à Port-Cros.

## **2-2. Prise en compte de l'incertitude sur les données**

Il est important de revenir également sur les données disponibles, en particulier les données de biomasse et de composition alimentaire. Ces données présentaient l'avantage d'être détaillées par espèce et issues de travaux réalisés sur le site d'étude, à Port-Cros. Il faut toutefois s'intéresser aux modalités d'obtention de ces données.

Pour les biomasses des poissons, deux types de méthodes sont utilisés : le comptage en plongée et les estimations par chalutage scientifique. Chacune de ces deux méthodes présente des atouts et des faiblesses à considérer. La plongée est une méthode de comptage visuelle, non destructive, adaptée aux études de peuplements de poissons des herbiers et aux AMP (Francour, 1997). De plus, en plongée, il existe différentes méthodes d'échantillonnage complémentaires, car plus ou moins adaptées aux différentes espèces de poissons (Francour, 1990 ; 1999). Le chalutage au chalut à perche (Harmelin-Vivien, 1981) est une méthode de prélèvement qui perturbe peu l'écosystème, car il permet de prélever des poissons vivants dans les herbiers de posidonies (Harmelin-Vivien, 1982 ; Khoury, 1987). Mais ces deux méthodes, bien qu'adaptées aux AMP, présentent des biais. La méthode visuelle de comptage en plongée entraîne une sous-estimation des espèces cryptiques (Tryptéridés et Blenniidés), des espèces homochromes (Scropénidés) et des espèces craintives (Sparidés) (Ody, 1987). Avec la méthode de chalutage, la biomasse des individus de grande taille est sous-estimée à cause du phénomène d'évitement. De plus, compte tenu de la sélectivité du chalut, les espèces benthiques, vivant sur le fond, sont surreprésentées alors que les espèces pélagiques, plus mobiles en surface, sont sous-représentées. Les méthodes d'analyse des contenus stomacaux présentent également des biais liées à l'échantillonnage d'une partie seulement du tube digestif et à des délais dans l'analyse des échantillons (Khoury, 1987).

La localisation des sites sur lesquels sont réalisées les estimations de biomasse est également importante à prendre en compte. En effet, on observe une variation du peuplement en fonction du site à Port-Cros. Il y a partout la même majorité d'espèces, mais

la proportion relative d'espèces varie selon les zones, à cause des variations de l'état physique de l'herbier, des conditions hydrodynamiques et de la nature des fonds (Harmelin-Vivien, 1982). Notre étude est cependant basée sur une synthèse des données de différents échantillonnages qui couvre l'ensemble des eaux du Parc. D'autre part, les auteurs précisent que les variations en fonction du site d'échantillonnage restent faibles (Khoury, 1987). L'influence de la variabilité intrasite sur le modèle semble donc négligeable. De plus, concernant les données provenant des herbiers de la région de Marseille (Bell & Harmelin-Vivien, 1983), des travaux antérieurs montrent une forte similarité entre les herbiers de Port-Cros et Marseille en terme d'espèces présentes (Harmelin-Vivien, 1982).

Enfin, la prise en compte des variations temporelles n'est pas possible dans un modèle représentant une année moyenne. Or, les variations saisonnières (été/hiver) semblent plutôt faibles à Port-Cros, mais les variations nycthémérales (jour/nuit) sont plus fortes (Khoury, 1987). Leur impact est cependant négligeable dans l'estimation de la biomasse globale de l'écosystème. Il a plus d'importance en revanche dans l'analyse des contenus stomacaux, qui peuvent varier selon l'heure à laquelle est réalisé l'échantillonnage.

Concernant les biomasses des oiseaux, on obtient une valeur de 0,29 t/km<sup>2</sup> d'individus reproducteurs, ce qui semble plutôt faible. Cependant, de nombreux individus non reproducteurs peuvent aussi être présents sur les colonies de puffins et donc potentiellement dans les eaux proches, ce qui pourrait faire augmenter la population présente à Port-Cros de 50 à 100 % (Bourgeois, comm. pers.). De plus, les goélands peuvent rester dans les environs ou sur l'île toute l'année, mais il est difficile d'estimer en quelles proportions.

Ces facteurs sont donc des sources d'incertitude ou de biais dans l'estimation des paramètres utilisées dans le modèle. Ces estimations sont cependant les plus précises dont on dispose actuellement. Le modèle Ecopath qui en est issu peut ainsi être interprété comme la mise en cohérence de la meilleure connaissance aujourd'hui disponible sur l'AMP de Port-Cros.

### **3. Validation des résultats du modèle**

Le modèle Ecopath obtenu après équilibrage est cohérent avec les résultats des travaux antérieurs réalisés à Port-Cros, ce qui nous permet globalement de valider le modèle. On retrouve par exemple une dominance des groupes de poissons carnivores et un seul groupe monospécifique de poisson herbivore dans le modèle, ce qui est cohérent avec des travaux réalisés dans les herbiers de Port-Cros et de Marseille (Bell & Harmelin-Vivien, 1983 ; Khoury, 1987). Les familles des sars et des labres présentent des biomasses importantes. Or, la prédominance de ces deux familles semble être une caractéristique générale des fonds rocheux infralittoraux de Méditerranée Nord-Occidentale (Port-Cros, Marseille, Banyuls et la Corse) (Harmelin, 1987). Dans le modèle, les polychètes sont un groupe dominant en biomasse et les gastéropodes représentent une plus forte biomasse que les bivalves, ce qui est confirmé par les observations de Khoury (1987) dans les herbiers de Port-Cros.

De plus, certaines hypothèses formulées lors de la construction du modèle sont validées par la littérature. Ainsi, les importations de producteurs primaires, phytoplancton et zooplancton, supposées lors de la construction du modèle Ecopath sont vérifiées. En effet, l'île de Port-Cros est baignée par les eaux du large et touchée par une branche du courant liguro-provençal, enrichissant les eaux du Parc en plancton (Harmelin, 1987). Une circulation active est notamment observée au niveau du tombant est de l'îlot de la Gabinière (Ganteaume *et al.*, 2005).

Enfin, l'analyse de sensibilité faite sous EcoTroph (Annexe X) montre que les paramètres d'entrée testés ne semblent pas avoir d'influence sur le modèle, ce qui confirme la robustesse de l'étude.

## V. Conclusion

Ce travail a permis de mettre en évidence l'efficacité des mesures de restriction des activités de pêche professionnelle à Port-Cros, en démontrant le faible impact de la pêche professionnelle sur l'écosystème aujourd'hui. On peut en conclure que l'AMP de Port-Cros a atteint son objectif de préservation de la biomasse et de conservation de la biodiversité fonctionnelle. Pour le démontrer, nous nous sommes intéressés aux relations trophiques au sein de cet écosystème, par l'élaboration de modèles trophodynamiques. Même si ces modèles ne se focalisent que sur un seul aspect du fonctionnement de l'écosystème de Port-Cros, cette méthode d'étude s'est toutefois avérée pertinente pour évaluer l'efficacité de cette AMP. En effet, le modèle, obtenu dans des délais finalement assez courts, est une mise en cohérence de l'ensemble des connaissances disponibles sur l'écosystème, qui va permettre de confronter les avis des experts et d'orienter les recherches futures. De plus, les résultats, synthétiques et visuels, sont simples à comprendre pour les non initiés, en particulier les gestionnaires et les usagers du Parc.

Cette étude, limitée dans le temps, pourrait être poursuivie par différentes perspectives. Le modèle Ecospace de l'AMP de Port-Cros pourrait tout d'abord être amélioré en y incluant des données sur les migrations des espèces de poissons, en particulier le mérrou brun. Des suivis d'individus par marquage-recapture permettraient de confirmer l'hypothèse d'immigration de jeunes mérours vers les concentrations d'adultes dans la réserve (Ganteaume *et al.*, 2005). On pourrait également inclure dans le modèle d'autres données concernant l'environnement. Davantage d'information sur les courants marins dans les eaux du Parc nous renseignerait notamment sur les phénomènes de dispersion larvaire. Des observations chez le mérrou brun montrent par exemple qu'il est possible que la plupart des oeufs fécondés sur place soient entraînés par les courants hors du périmètre du Parc, et que la circulation côtière soit peu favorable au retour des larves compétentes (GEM, *In press*). Toutes ces données permettraient une meilleure prise en compte des échanges dans le modèle. Puis, par une mise en commun de différentes études comparables à celles-ci portant sur d'autres AMP de la région (Marseille, Scandola, Lavezzi...), on pourrait envisager de modéliser un réseau d'AMP interconnectées entre elles, condition nécessaire à une analyse fine des effets puits et sources (Roberts, 1998). Enfin, on pourrait construire un modèle spatialisé de l'AMP de Port-Cros, par exemple à l'aide d'Ecospace la version spatialisée du modèle Ecospace (Walters *et al.*, 1999), afin de prendre en compte l'hétérogénéité spatiale de la réserve et d'approfondir notre connaissance de son fonctionnement trophique.

Il serait également intéressant de prolonger l'analyse des différents scénarii de pêche sous EcoTroph. Mais des données de référence sur l'effort de pêche et les niveaux de captures de la petite pêche dans la région manquent. Ces données sont pourtant nécessaires à l'élaboration d'un scénario plausible simulant une absence de réglementation, à comparer au scénario actuel avec les réglementations en vigueur. Le projet actuel d'agrandissement du Parc, bien que controversé, pourrait donc être l'occasion d'associer les communes voisines au suivi de l'activité de pêche artisanale dans la région. D'autre part, l'analyse de la stabilité de l'écosystème sous EcoTroph (Gascuel et Pauly, *In press*), initialement envisagée, n'a pu être menée faute de temps. Elle permettrait de confirmer, par un cas d'étude, l'hypothèse théorique d'une plus grande stabilité de l'écosystème en l'absence de pêche.

Pour finir, il est important de souligner que les conclusions de ce travail ne sont valables que dans sa zone d'étude, c'est-à-dire à l'intérieur des eaux du Parc national de Port-Cros. L'efficacité de l'AMP n'est donc démontrée qu'à petite échelle. Or, il serait intéressant de connaître l'impact positif de cette AMP sur la biomasse, la biodiversité et la stabilité de l'écosystème marin à plus grande échelle, en particulier à l'échelle des stocks halieutiques. Travailler à cette échelle plus large permettrait de véritablement démontrer l'efficacité des AMP pour une gestion durable des pêches.

## **Bibliographie**

- 1 ADAMS S. M., Kimmel B. L. et Ploskey G. R. (1983). Sources of organic matter for reservoir fish production: a trophic-dynamic analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 40, pp. 1480-1495.
- 2 AGENCE DES AIRES MARINES PROTÉGÉES. (page consultée le 15/3/2009, dernière mise à jour 2009). Aires marines protégées. [http://www.aires-marines.fr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=20&Itemid=42](http://www.aires-marines.fr/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=42)
- 3 ALLEN K. R. (1971). Relation between production and biomass. *Journal Fisheries Research Board of Canada*, vol. 28, n°10, pp. 1573-1581.
- 4 ALLISON G. W., Lubchenco J. et Carr M. H. (1998). Marine reserves are necessary but not sufficient for marine conservation. *Ecological Applications*, vol. 8, Suppl. 1 : Ecosystem Management for Sustainable Marine Fisheries, pp. S79-S92.
- 5 BADALAMENTI F., D'Anna G., Lopiano L., Scilipoti D. et Mazzola A. (1995). Feeding habits of young-of-the-year greater amberjack *Seriola dumerili* (Risso, 1810) along the NW Sicilian Coast. *Scientia Marina*, vol. 59, n°3-4, pp. 317-323.
- 6 BARREIROS J. P., Santos R. S. et De Borda A. E. (2002). Food habits, schooling and predatory behaviour of the yellowmouth barracuda, *Sphyraena viridensis* (Perciformes: Sphyraenidae) in the Azores. *Cybium*, vol. 26, n°2, pp. 83-88.
- 7 BELL J. D. & Harmelin-Vivien M. L. (1983). Fish fauna of French Mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. 2. Feeding habits. *Tethys*, vol. 11, n°1, pp. 1-14.
- 8 BELSHER T., Houlgatte E. et Boudouresque C. F. (2005). Cartographie de la prairie à *Posidonia oceanica* et des principaux faciès sédimentaires marins du Parc national de Port-Cros (Var, France, Méditerranée). *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, vol. 21, pp. 19-28.
- 9 BERTHON J. F. (1987). Relations trophiques entre quelques espèces d'échinodermes et le phytobenthos dans la baie de Port-Cros (Var, France). DEA "Océanologie Biologie", Université Pierre & Marie Curie (Paris VI), Paris, 72 p.
- 10 BIANCHI C. N. & Morri C. (2000). Marine biodiversity of the Mediterranean Sea: Situation, problems and prospects for future research. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 40, n°5, pp. 367-376.
- 11 BIGEARD N. Oiseaux.net. (page consultée le 26/5/2009, dernière mise à jour 10/7/2009). Puffin yelkouan. <http://www.oiseaux.net/oiseaux/puffin.yelkouan.html>
- 12 BLANCO S., Romo S., Villena M. J. et Martinez S. (2003). Fish communities and food web interactions in some shallow Mediterranean lakes. *Hydrobiologia*, vol. 506-509, pp. 473-480.
- 13 BOURGEOIS K., Vorenger J., Vidal E., Faulquier L. et Legrand J. (2009). Diet and contamination of the Mediterranean endemic Yelkouan shearwater *Puffinus yelkouan* confined to an enclosed oceanic basin. *Ibis, soumis*.
- 14 CADDY J. (1991). Death rates and time intervals: is there an alternative to the constant natural mortality axiom? *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 1, n°2, pp. 109-138.
- 15 CADIOU G. & Bernard G. Suivi de l'effort de pêche professionnelle dans les eaux du Parc national de Port-Cros. Année 2003. Marseille (FR) : GIS Posidonie, 2004. 51 p. Rapport n°03-007 83400 PC (Contrat Parc National de Port-Cros & GIS Posidonie).
- 16 CADIOU G. & Bonhomme P. Suivi de l'effort de pêche professionnelle dans les eaux du Parc national de Port-Cros. Année 2004. Marseille (FR) : GIS Posidonie, 2005. 45 p. Rapport n°03-007 83400 PC (Contrat Parc National de Port-Cros & GIS Posidonie).
- 17 CADIOU G. & Bonhomme P. Suivi de l'effort de pêche professionnelle dans les eaux du Parc national de Port-Cros. Année 2005. Marseille (FR) : GIS Posidonie, 2006. 51 p. Rapport n°05-006.83400 PC (Contrat Parc National de Port-Cros & GIS Posidonie).
- 18 CAUFFOPÉ G. & Heymans S. J. J. Energy contents and conversion factors for sea lion's prey. In: Food web models and data for studying fisheries and environmental impacts on Eastern Pacific ecosystems. Vancouver (CA) : Fisheries Centre, 2005. Rapport n°13.
- 19 CHAKROUN-MARKOUZ N. & Kartas F. (1987). Denture et régime alimentaire des espèces du genre *Pagrus* (Pisces: Sparidae) des côtes tunisiennes. *Cybium*, vol. 11, n°1, pp. 3-19.
- 20 CHASSOT E., Mélin F., Le Pape O. et Gascuel D. (2007). Bottom-up control regulates fisheries production at the scale of eco-regions in European seas. *Marine Ecology - Progress Series*, vol. 343, pp. 45-55.

- 21 CHRISTENSEN V. & Pauly D. (1992). The Ecopath II - a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecological Modelling*, vol. 61, pp. 169-185.
- 22 CHRISTENSEN V. & Pauly D. Trophic Models of Aquatic Ecosystems. Manila (Philippines) : ICLARM, 1993. 390 p.
- 23 CHRISTENSEN V., Walters C. J. et Pauly D. Ecopath with Ecosim: a User's Guide. Vancouver (CA) : Fisheries Centre, University of British Columbia, 2005. 154 p.
- 24 CHRISTENSEN V. & Lai S. (2007). Ecopath with Ecosim 6: the sequel. *Sea Around Us Newsletter*, vol. 43, pp. 1-4.
- 25 CNEBS FFESSM. (page consultée le 15/7/2009, dernière mise à jour 2009). DORIS. <http://doris.ffessm.fr/>
- 26 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*, vol. 59, pp. 63-96.
- 27 COLLIN D. Oiseaux.net. (page consultée le 26/5/2009, dernière mise à jour 2/8/2009). Goéland leucophee. <http://www.oiseaux.net/oiseaux/goeland.leucophee.html>
- 28 COMBELLES S. La pêche amateur dans les eaux du Parc national de Port-Cros. Hyères (FR) : Parc national de Port-Cros, 1991. 63 p.
- 29 COSTA M. J. (1988). Ecologie alimentaire des poissons de l'estuaire du Tage. *Cybium*, vol. 12, n°4, pp. 301-320.
- 30 CURY P. M., Mullon C., Garcia S. M. et Shannon L. J. (2005). Viability theory for an ecosystem approach to fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 62, pp. 577-584.
- 31 DONNER M. & Harrer D. Ernährung und nahrungsspezifität mediterraner lippfisch-arten (Labridae) und der meeräsche oedalechilus laleo. Calvi (Corse) : Marinbiologische Exkursion, 2004. 74 p.
- 32 DUFOUR F. (2006). Analyse du fonctionnement d'un écosystème à l'aide de modèles Ecopath. Master "Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie, spécialité Océanographie et Environnements Marins", Université Pierre & Marie Curie (Paris VI), Paris, 33 p.
- 33 DUFOUR F., Guidetti P. et Francour P. (2007). Comparaison des inventaires de poissons dans les aires marines protégées de Méditerranée : influence de la surface et de l'ancienneté. *Cybium*, vol. 31, n°1, pp. 19-31.
- 34 DUHEM C. (2005). Goélands surabondants et ressources alimentaires anthropiques : Cas des colonies insulaires de Goélands leucopheés du littoral provençal. Chapitre 1 : Régime alimentaire des Goélands leucopheés. Doctorat "Biosciences de l'Environnement", Université Paul Cézanne (Aix-marseille III), Marseille, 181 p.
- 35 FRANCOUR P. (1990). Dynamique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans le Parc National de Port-Cros. Analyse des compartiments matie, litière, faune vagile, échinodermes et poissons. Doctorat, Université Pierre & Marie Curie (Paris VI), Paris, 373 p.
- 36 FRANCOUR P. (1997). Fish assemblages of *Posidonia oceanica* beds at Port-Cros (France, NW Mediterranean): assessment of composition and long-term fluctuations by visual census. *P. S. N. Z. I. : Marine Ecology*, vol. 18, n°2, pp. 157-173.
- 37 FRANCOUR P. (1999). A critical review of adult and juvenile fish sampling techniques in *Posidonia oceanica* seagrass beds. *Naturalista Siciliana*, vol. 23, pp. 85-95.
- 38 FRANCOUR P. Evolution pluriannuelle de la faune ichtyologique des substrats rocheux et de l'herbier à *Posidonia oceanica* du Parc National de Port-Cros (Var, Méditerranée nord-occidentale) : analyse de la période 1988-2006. Nice (FR) : LEML, 2007. 28 p. Rapport n°PNPC 04022 83400 (Contrat Parc National de Port-Cros & Laboratoire Environnement Marin Littoral).
- 39 FRANTZIS A., Berthon J. F. et Maggiore F. (1988). Relations trophiques entre les oursins *Arbacia lixula* et *Paracentrotus lividus* (Echinoidea Regularia) et le phytobenthos infralittoral superficiel dans la baie de Port-Cros (Var, France). *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, vol. 14, pp. 81-140.
- 40 FROESE R. & Pauly D. FishBase. (page consultée le 4/2009, dernière mise à jour 4/2009). A Global Information System on Fishes. <http://www.fishbase.org>

- 41 GANTEAUME A., Harmelin J. G., Harmelin-Vivien M. L., Lelong P., Rancher J. et Robert P. Est-ce que l'abondance accrue du mérrou brun amène une chute des populations de ses proies et des prédateurs concurrents ? Campagne d'évaluation dans le Parc national de Port-Cros (26-28 Août 2004). Parc national de Port-Cros (FR) : GEM (Groupe d'Etude du Mérrou), 2005. 8 p.
- 42 GARCIA S. M., Zerbi A., Aliaume C., Do Chi T. et Lasserre G. The ecosystem approach to fisheries. Issues, terminology, principles, institutional foundations, implementation and outlook. Rome (Italie) : FAO, 2003. 71 p. Rapport n°443. FAO Fisheries technical paper.
- 43 GARCIA S. M. & Cochrane K. L. (2005). Ecosystem approach to fisheries: a review of implementation guidelines. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 62, pp. 311-318.
- 44 GASCUEL D. et Pauly D. *In press*. EcoTroph: modelling marine ecosystem functioning and impact of fishing. *Ecological Modelling (ECEM07, ECOMOD 5623)*.
- 45 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.
- 46 GASCUEL D. (2005). The trophic-level based model: A theoretical approach of fishing effects on marine ecosystems. *Ecological Modelling*, vol. 189, n°3-4, pp. 315-332.
- 47 GASCUEL D., Morissette L., Palomares M. et Christensen V. (2008). Trophic flow kinetics in marine ecosystems: Toward a theoretical approach to ecosystem functioning. *Ecological Modelling*, vol. 217, pp. 33-47.
- 48 GASCUEL D., Tremblay-Boyer L. et Pauly D. EcoTroph: a trophic-level based software for assessing the impact of fishing on aquatic ecosystems. Vancouver (CA) : Fisheries Centre, University of British Columbia, 2009. 79 p.
- 49 GEM (2007). Recensement de la population de mérrou brun (*Epinephelus marginatus*: Pisces) du Parc National de Port-Cros (France, Méditerranée) en 2005. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, vol. 22, pp. 39-48.
- 50 GEM *In press*. Recensement de la population de mérrou brun (*Epinephelus marginatus*) du Parc National de Port-Cros (France, Méditerranée) : effectifs observés en octobre 2008. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*.
- 51 GISLASON H., Pope J., Rice J. et Daan N. (2008). Coexistence in North Sea fish communities: implications for growth and natural mortality. *Open Access article. Creative Commons Attribution Non-Commercial License*, pp. 514-530.
- 52 GRAMITTO M. E. (1999). Feeding habits and estimation of daily ration of poor cod *Trisopterus minutus capelanus* (Gadidae) in the Adriatic Sea. *Cybium*, vol. 23, n°2, pp. 115-130.
- 53 GUÉNETTE S., Lauck T. et Clark C. (1998). Marine reserves: from Beverton and Holt to the present. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 8, pp. 251-272.
- 54 HARMELIN-VIVIEN M. L. Description d'un petit chalut à perche pour récolter la faune vagile des herbiers de Posidonies. *Comm. Int. Mer Médit.*, 1981. Rapport n°27.
- 55 HARMELIN-VIVIEN M. L. (1982). Ichtyofaune des herbiers de posidonies du Parc national de Port-Cros. I. Composition et variations spatio-temporelles. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, vol. 8, pp. 69-92.
- 56 HARMELIN J. G. (1987). Structure et variabilité de l'ichtyofaune d'une zone rocheuse protégée en Méditerranée (Parc national de Port-Cros, France). *P. S. Z. N. I. Marine Ecology*, vol. 8, n°3, pp. 263-284.
- 57 HARMELIN J. G. (1990). Ichtyofaune des fonds rocheux de Méditerranée : structure du peuplement du coralligène de l'île de Port-Cros (Parc National, France). *Mesogée*, vol. 50, pp. 23-30.
- 58 HARMELIN J. G. & Harmelin-Vivien M. L. (1999). A review on habitat, diet and growth of the dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834). *Marine Life*, vol. 9, n°2, pp. 11-20.
- 59 HARMELIN J. G. & Garrabou J. (2005). Suivi d'une population de *Paramuricea clavata* (Risso, 1826) (Cnidaria, Octocorallia, Gorgonacea) dans le Parc National de Port-Cros (Méditerranée, France) : comparaison des états de 1992 et 2004 sur le site de la Galère. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, vol. 21, pp. 175-191.
- 60 HARMELIN J. G. & Ruitton S. (2007). La population de corb (*Sciaena umbra* : Pisces) du Parc national de Port-Cros (France), état en 2005 et évolution depuis 1990 : un indicateur halieutique et

- biogéographique pertinent. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, vol. 22, pp. 49-65.
- 61 HEREU F. (2004). The role of trophic interactions between fishes, sea urchins and algae in the Northwestern Mediterranean rocky infralittoral. Ph.D. Thesis, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- 62 HOENIG J. (1993). Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fisheries Bulletin*, vol. 81, pp. 898-903.
- 63 IUCN. (page consultée le 30/7/2009, dernière mise à jour 2009). IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.1. <http://www.iucnredlist.org>
- 64 JENNINGS S. & Kaiser M. J. (1998). The Effects of Fishing on Marine Ecosystems. In: *Advances in Marine Biology*. Blaxter, Southward et Tyler (éd.), pp. 203-314.
- 65 KALLIANIOTIS A., Torre M. et Argyri A. (2005). Age, growth, mortality, reproduction, and feeding habits of the striped seabream, *Lithognathus mormyrus* (Pisces: Sparidae), in the coastal waters of the Thracian Sea, Greece. *Scientia Marina*, vol. 69, n°3, pp. 391-404.
- 66 KHOURY C. (1987). Ichtyofaune des herbiers de posidonies dans le Parc national de Port-Cros : composition, éthologie alimentaire et rôle dans le réseau trophique. Doctorat, Université de la Méditerranée (Aix-Marseille II), Marseille, 230 p.
- 67 KOVACIC M. (2007). Diet of *Gobius vittatus* (Gobiidae) in the Northern Adriatic Sea. *Vie et Milieu*, vol. 57, n°1-2, pp. 29-35.
- 68 LINDE M., Grau A. M., Riera F. et Massuti-Pascual E. (2004). Analysis of trophic ontogeny in *Epinephelus marginatus* (Serranidae). *Cybium*, vol. 28, n°1, pp. 27-35.
- 69 LINDEMAN R. L. (1942). The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology*, vol. 23, n°4, pp. 399-418.
- 70 LLORET J., Zaragoza N., Caballero D. et Riera V. (2008). Biological and socioeconomic implications of recreational boat fishing for the management of fishery resources in the marine reserve of Cap de Creus (NW Mediterranean). *Fisheries Research*, vol. 91, n°2-3, pp. 252-259.
- 71 MABILE S. & Pianté C. Répertoire global des aires marines protégées en Méditerranée. Paris (FR) : Fondation WWF-France, 2005. 132 p.
- 72 MACKINSON S. (1996). System definition and primary production. In: *Mass-balance models of North-eastern Pacific ecosystems*. Pauly et Christensen (éd.), Fisheries Centre, University of British Columbia, Vancouver, pp. 63-64.
- 73 MACPHERSON E. (1981). Resource partitioning in a Mediterranean demersal fish community. *Marine Ecology - Progress Series*, vol. 4, pp. 183-193.
- 74 MORALES-NIN B. & Moranta J. (1997). Life history and fishery of the common dentex (*Dentex dentex*) in Mallorca (Balearic Islands, Western Mediterranean). *Fisheries Research*, vol. 30, pp. 67-76.
- 75 MORATO T., Sola E., Gros M. P. et Menezes G. (2003). Diets of thornback ray (*Raja clavata*) and tope shark (*Galeorhinus galeus*) in the bottom longline fishery of the Azores, Northeastern Atlantic. *Fisheries Bulletin*, vol. 101, pp. 590-602.
- 76 MORTE M. S., Redon M. J. et Sanz-Brau A. (2001). Feeding habits of *Trisopterus minutus capelanus* (Gadidae) off the Eastern Coast of Spain (Western Mediterranean). *P. S. Z. N. : Marine Ecology*, vol. 22, n°3, pp. 215-229.
- 77 NATIONAL RESEARCH COUNCIL Understanding marine biodiversity: A research agenda for the nation. Washington, DC : The National Academies Press, 1995.
- 78 ODUM W. E. & Heald E. J. (1975). The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. In: *Estuarine Research*. Cronin (éd.), New York, pp. 265-286.
- 79 ODY D. (1987). Les peuplements ichthyologiques des récifs artificiels de Provence (France, Méditerranée nord-occidentale). Doctorat, Université de la Méditerranée (Aix-Marseille II), Marseille, 183 p.
- 80 OPITZ S. Trophic interactions in Caribbean coral reefs. USA : ICLARM, 1996. 341 p. Rapport n°43.
- 81 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*, vol. 49, pp. 447-453.

- 82 PARC NATIONAL DE PORT-CROS. (page consultée le 26/5/2009, dernière mise à jour 2009). Parc national de Port-Cros. Patrimoine naturel. Faune. Oiseaux. <http://www.portcrosparcnational.fr/patrimoine/parcnational/faune.asp?stheme=21&id=0&nbf=0>
- 83 PARC NATIONAL DE PORT-CROS. (page consultée le 8/3/2009, dernière mise à jour 2009). Accueil. <http://www.portcrosparcnational.fr/accueil/>
- 84 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*, vol. 39, n°3, pp. 175-192.
- 85 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*, vol. 57, pp. 697-706.
- 86 PINNEGAR J. K. (2000). Planktivorous fishes: links between the Mediterranean littoral and pelagic. Chapter 7: The ecological roles of planktivorous fishes in a Mediterranean rocky littoral system, evaluated using steadystate modelling. Ph.D. thesis in Marine Sciences & Coastal Management, University of Newcastle, Newcastle, 208 p.
- 87 POLOVINA J. J. (1984). Model of a coral reef ecosystem: I. The Ecopath model and its application to French frigate shoals. *Coral Reefs*, n°3, pp. 1-11.
- 88 ROBERTS C. M. (1998). Sources and sinks, and the design of marine reserve networks. *Fisheries*, vol. 23, n°7, pp. 16-19.
- 89 ROSECCHI E. (1983). Régime alimentaire du pageot, *Pagellus erythrinus*, Linne 1758, (Pisces: Sparidae) dans le Golfe du Lion. *Cybium*, vol. 7, n°3, pp. 17-29.
- 90 RUITTON S., Le Direac'h L. et Charbonnel E. (2004). Evaluation du peuplement de poissons de l'épave «La Barge aux Congres» du Parc national de Port-Cros. *Travaux scientifiques du Parc national de Port-Cros*, vol. 20, pp. 211-230.
- 91 RUSSELL R. W., Harrison N. M. et Hunt J. L. (1999). Foraging at a front: hydrography, zooplankton, and avian planktivory in the northern Bering Sea. *Marine Ecology - Progress Series*, vol. 182, pp. 77-83.
- 92 SALA E. (1997). The role of fishes in the organization of a Mediterranean sublittoral community. II: Epifaunal communities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 212, pp. 45-60.
- 93 SALA E. & Ballesteros E. (1997). Partitioning of space and food resources by three fish of the genus *Diplodus* (Sparidae) in a Mediterranean rocky infralittoral ecosystem. *Marine Ecology - Progress Series*, vol. 152, pp. 273-283.
- 94 SANTIC M., Jardas I. et Pallaoro A. (2003). Feeding habits of Mediterranean horse mackerel, *Trachurus mediterraneus* (Carangidae), in the Central Adriatic Sea. *Cybium*, vol. 27, n°4, pp. 247-253.
- 95 STERGIU K. I. & Karpouzi V. S. (2002). Feeding habits and trophic levels of Mediterranean fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 11, pp. 217-254.
- 96 SUMAILA U. R., Guénette S., Alder J. et Chuenpagdee R. (2000). Addressing ecosystem effects of fishing using marine protected areas. *ICES Journal of Marine Science*, vol. 57, pp. 752-760.
- 97 VADON (1981). Les Brachyours des herbiers de Posidonie dans la région de Villefranche. Doctorat.
- 98 VERLAQUE M. (1990). Relations entre *Sarpa salpa* (Linnaeus, 1758) (Téléostéen, Sparidae), les autres poissons brouteurs et le phytobenthos algal méditerranéen. *Oceanologica acta*, vol. 13, n°3, pp. 373-388.
- 99 WALTERS C., Pauly D. et Christensen V. (1999). Ecospace: prediction of mesoscale spatial patterns in trophic relationships of exploited ecosystems, with emphasis on the impact of marine protected areas. *Ecosystems*, vol. 2, pp. 539-554.



## Annexe I : Autorités

**Annexe I Tableau a : Autorités des espèces citées**

<b>Espèce</b>	<b>Autorité</b>	<b>Espèce</b>	<b>Autorité</b>
<i>Achaeus cranchii</i>	Leach, 1817	<i>Pagrus pagrus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Anthias anthias</i>	Linnaeus, 1758	<i>Palinurus elephas</i>	Fabricius, 1787
<i>Apletodon dentatus</i>	Facciola, 1887	<i>Parablennius gattorugine</i>	Linnaeus, 1758
<i>Apogon imberbis</i>	Linnaeus, 1758	<i>Parablennius rouxi</i>	Cocco, 1833
<i>Arnoglossus latera</i>	Walbaum, 1792	<i>Paracentrotus lividus</i>	Lamarck, 1816
<i>Atherina boyeri</i>	Risso, 1810	<i>Paramuricea clavata</i>	Risso, 1826
<i>Blennius ocellaris</i>	Linnaeus, 1758	<i>Parophidion vassali</i>	Risso, 1810
<i>Boops boops</i>	Linnaeus, 1758	<i>Phycis phycis</i>	Linnaeus, 1766
<i>Bothus podas</i>	Delaroche, 1809	<i>Pinna nobilis</i>	Linné, 1758
<i>Calonectris diomedea</i>	Scopoli, 1769	<i>Pomatoschistus minutus</i>	Pallas, 1770
<i>Chromis chromis</i>	Linnaeus, 1758	<i>Pomatoschistus quagga</i>	Heckel, 1837
<i>Conger conger</i>	Linnaeus, 1758	<i>Posidonia oceanica</i>	Delile, 1813
<i>Coris julis</i>	Linnaeus, 1758	<i>Psammochinus microtuberculatus</i>	Blainville, 1825
<i>Deltentosteus colonianus</i>	Risso, 1820	<i>Puffinus yelkouan</i>	Acerbi, 1827
<i>Deltentosteus quadrimaculatus</i>	Valenciennes, 1837	<i>Raja asterias</i>	Delaroche, 1809
<i>Dentex dentex</i>	Linnaeus, 1758	<i>Raja brachyura</i>	Lafont, 1873
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Linnaeus, 1758	<i>Raja clavata</i>	Linnaeus, 1758
<i>Diplecogaster bimaculata</i>	Bonnaterre, 1788	<i>Raja miraletus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Diplodus annularis</i>	Linnaeus, 1758	<i>Raja montagui</i>	Fowler, 1910
<i>Diplodus puntazzo</i>	Cetti, 1777	<i>Raja radula</i>	Delaroche, 1809
<i>Diplodus sargus</i>	Linnaeus, 1758	<i>Raja undulata</i>	Lacépède, 1802
<i>Diplodus vulgaris</i>	Geoffroy St-Hilaire, 1817	<i>Sarpa salpa</i>	Linnaeus, 1758
<i>Epinephelus marginatus</i>	Lowe, 1834	<i>Sciaena umbra</i>	Linnaeus, 1758
<i>Eurynome spinosa</i>	Hailstone, 1835	<i>Scorpaena notata</i>	Rafinesque, 1810
<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	Linnaeus, 1758	<i>Scorpaena porcus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Gaidropsarus vulgaris</i>	Cloquet, 1824	<i>Scorpaena scrofa</i>	Linnaeus, 1758
<i>Gobius auratus</i>	Risso, 1810	<i>Scylliorhinus canicula</i>	Linnaeus, 1758
<i>Gobius cruentatus</i>	Gmelin, 1789	<i>Scyllarides latus</i>	Latreille, 1803
<i>Gobius fallax</i>	Sarato, 1889	<i>Sepia officinalis</i>	Linnaeus, 1758
<i>Gobius geniporus</i>	Valenciennes, 1837	<i>Seriola dumerili</i>	Risso, 1810
<i>Gobius paganellus</i>	Linnaeus, 1758	<i>Serranus cabrilla</i>	Linnaeus, 1758
<i>Gobius vittatus</i>	Vinciguerra, 1883	<i>Serranus hepatus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Hippocampus guttulatus</i>	Cuvier, 1829	<i>Serranus scriba</i>	Linnaeus, 1758
<i>Hippocampus hippocampus</i>	Linnaeus, 1758	<i>Sparus aurata</i>	Linnaeus, 1758
<i>Holothuria polii</i>	Delle Chiaie, 1823	<i>Sphyraena viridensis</i>	Cuvier, 1829
<i>Holothuria tubulosa</i>	Gmelin, 1790	<i>Spicara maena</i>	Linnaeus, 1758
<i>Homarus gammarus</i>	Linnaeus, 1758	<i>Spicara smaris</i>	Linnaeus, 1758
<i>Labrus merula</i>	Linnaeus, 1758	<i>Spondylisoma cantharus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Labrus viridis</i>	Linnaeus, 1758	<i>Symphodus cinereus</i>	Bonnaterre, 1788
<i>Larus michahellis</i>	Naumann, 1840	<i>Symphodus doderleini</i>	Jordan, 1890
<i>Lepadogaster candolei</i>	Risso, 1810	<i>Symphodus mediterraneus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Lithognathus mormyrus</i>	Linnaeus, 1758	<i>Symphodus melanocercus</i>	Risso, 1810
<i>Liza aurata</i>	Risso, 1810	<i>Symphodus ocellatus</i>	Forsskål, 1775
<i>Lophius piscatorius</i>	Linnaeus, 1758	<i>Symphodus roissali</i>	Risso, 1810
<i>Maja squinado</i>	Herbst, 1788	<i>Symphodus rostratus</i>	Bloch, 1791
<i>Marthasterias glacialis</i>	Linnaeus, 1758	<i>Symphodus tinca</i>	Linnaeus, 1758
<i>Mugil cephalus</i>	Linnaeus, 1758	<i>Syngnathus acus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Mullus surmuletus</i>	Linnaeus, 1758	<i>Syngnathus typhle</i>	Linnaeus, 1758
<i>Muraena helena</i>	Linnaeus, 1758	<i>Synodus saurus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Nerophis maculatus</i>	Rafinesque, 1810	<i>Thalassoma pavo</i>	Linnaeus, 1758
<i>Oblada melanura</i>	Linnaeus, 1758	<i>Thorogobius ephippiatus</i>	Lowe, 1839
<i>Octopus vulgaris</i>	Cuvier, 1797	<i>Thorogobius macrolepis</i>	Kolombatovic, 1891
<i>Oedalechilus labeo</i>	Cuvier, 1829	<i>Trachurus mediterraneus</i>	Steindachner, 1868
<i>Opeatogenys gracilis</i>	Canestrini, 1864	<i>Trachurus trachurus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Ophidion rochei</i>	Müller, 1845	<i>Tripterygion delaisi</i>	Cadenat & Blache, 1971
<i>Ophisurus serpens</i>	Linnaeus, 1758	<i>Tripterygion melanurus</i>	Guichenot, 1845
<i>Pagellus acarne</i>	Risso, 1827	<i>Tripterygion tripteronotus</i>	Risso, 1810
<i>Pagellus bogaraveo</i>	Brünnich, 1768	<i>Trisopterus luscus</i>	Linnaeus, 1758
<i>Pagellus erythrinus</i>	Linnaeus, 1758	<i>Zeus faber</i>	Linnaeus, 1758

## Annexe II : Niveau trophique $\tau$ et Longueur maximale $L_{max}$ des poissons

### Annexe II Tableau a : Niveau trophique $\tau$ et de Longueur maximale $L_{max}$ (en cm) des poissons

(Référence n°95 : Stergiou & Karpouzi, 2002 ; n°40 : FishBase, 2009)

GROUPE TROPHIQUE	Espèce	$\tau$	Référence		$L_{max}$
			n°95	n°40	
MEROU GRAND		3,7	3,7	—	> 60
MEROU MOYEN	<i>Epinephelus marginatus</i>	3,9	3,9	—	30-60
MEROU PETIT		4,1	4,1	—	< 30
SERIOLE & DENTE +	<i>Seriola dumerili</i>	4,2	4,21	4,5	190
	<i>Conger conger</i>	4,5	3,7	4,5	300
	<i>Lophius piscatorius</i>	4,3	4,3	4,5	200
	<i>Dicentrarchus labrax</i>	3,8	—	3,8	103
	<i>Muraena helena</i>	4,2	—	4,2	150
	<i>Scyliorhinus canicula</i>	4,1	3,8	4,1	100
	<i>Dentex dentex</i>	4,5	4,5	4,5	100
	<i>Sphyræna viridensis</i>	4,3	—	4,3	128
CHAPON +	<i>Phycis phycis</i>	4,1	4,09	4,3	65
	<i>Labrus merula</i>	3,5	3,47	3,5	45
	<i>Labrus viridis</i>	3,8	3,84	3,9	47
	<i>Sciaena umbra</i>	3,8	3,8	3,8	70
	<i>Scorpaena scrofa</i>	4,2	4,19	4,3	50
	<i>Pagrus pagrus</i>	3,8	3,77	4,1	91
	<i>Zeus faber</i>	4,5	4,47	4,5	90
SARS +	<i>Diplodus puntazzo</i>	3,0	3	2,9	60
	<i>Diplodus sargus</i>	3,2	3,17	3	45
	<i>Diplodus vulgaris</i>	3,3	3,31	3,2	45
	<i>Lithognathus mormyrus</i>	3,4	3,4	3,4	55
	<i>Sparus aurata</i>	3,4	3,42	3,5	70
	<i>Spondyliosoma cantharus</i>	3,3	3,29	3,3	60
BLENNIES +	<i>Blennius ocellaris</i>	3,5	—	3,5	20
	<i>Parablennius gattorugine</i>	3,0	3	2,9	30
	<i>Parablennius rouxi</i>	3,2	3,2	2,6	8
	<i>Diplodus annularis</i>	3,4	3,36	3,2	24
RASCASSES & SERRANS +	<i>Scorpaena notata</i>	3,5	3,48	4,1	24
	<i>Scorpaena porcus</i>	3,8	3,77	4	37
	<i>Serranus cabrilla</i>	3,7	3,71	3,4	40
	<i>Serranus hepatus</i>	3,6	3,61	3,5	25
	<i>Serranus scriba</i>	3,8	3,79	3,8	36
	<i>Synodus saurus</i>	4,2	4,2	4,5	40
ROUGET +	<i>Arnoglossus laterna</i>	3,5	3,5	3,6	25
	<i>Bothus podas</i>	3,4	3,41	3,4	45
	<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	3,4	3,42	3,5	50
	<i>Gaidropsarus vulgaris</i>	3,5	3,46	3,6	60
	<i>Trisopterus spp.</i>	3,4	3,65	3,4	43
	<i>Mullus surmuletus</i>	3,4	3,38	3,3	40
	<i>Ophisurus serpens</i>	—	—	—	250
	<i>Ophidion rochei</i>	3,5	3,52	—	29
	<i>Parophidion vassali</i>	3,4	3,43	3,5	25
SYNGNATHES +	<i>Apogon imberbis</i>	3,9	3,98	3,9	15
	<i>Apletodon dentatus</i>	3,2	3,19	3,1	4
	<i>Diplecogaster bimaculata</i>	3,3	—	3,3	6
	<i>Lepadogaster candolei</i>	2,8	—	2,8	8
	<i>Opeatogenys gracilis</i>	—	—	—	3
	<i>Hippocampus spp.</i>	3,2	3,15	3,2	15
	<i>Nerophis maculatus</i>	3,4	—	3,4	30
	<i>Syngnathus acus</i>	3,5	3,46	3,4	50
	<i>Syngnathus typhle</i>	4,3	4,31	4,3	35
	<i>Tripterygion spp.</i>	3,5	3,5	3,4	9
LABRES	<i>Coris julis</i>	3,4	3,38	3,3	30
	<i>Symphodus cinereus</i>	3,2	3,23	3,3	16
	<i>Symphodus doderleini</i>	3,4	—	3,4	10
	<i>Symphodus mediterraneus</i>	3,2	3,16	3,2	18
	<i>Symphodus melanocercus</i>	3,3	3,25	3,1	14
	<i>Symphodus ocellatus</i>	3,2	3,24	3,3	12
	<i>Symphodus roissali</i>	3,5	—	3,5	17
	<i>Symphodus rostratus</i>	3,4	3,37	3,5	13
	<i>Symphodus tinca</i>	3,2	3,2	3,2	44
	<i>Thalassoma pavo</i>	3,5	—	3,5	25
	GOBIES	<i>Deltentosteus colonianus</i>	3,6	—	3,6
<i>Deltentosteus quadrimaculatus</i>		3,2	3,24	3,1	8
<i>Gobius auratus</i>		3,2	3,2	3	10
<i>Gobius cruentatus</i>		3,3	3,25	3,3	18
<i>Gobius fallax</i>		3,4	3,37	3,3	9
<i>Gobius geniporus</i>		3,5	3,5	3,3	16
<i>Gobius paganellus</i>		3,3	—	3,3	12
<i>Gobius vittatus</i>		2,9	—	2,9	6
<i>Pomatoschistus minutus</i>		3,2	—	3,2	11
<i>Pomatoschistus quagga</i>		3,3	3,29	3,3	6
<i>Thorogobius ephippiatus</i>		3,0	—	3	13
<i>Thorogobius macrolepis</i>		—	—	—	7
CHINCHARDS & ATHERINES +	<i>Atherina boyeri</i>	3,0	3,3	3	20
	<i>Trachurus spp.</i>	3,5	3,5	3,6	60
	<i>Spicara maena</i>	3,2	3,15	4,2	25
	<i>Spicara smaris</i>	3,1	3,05	3	20
	<i>Chromis chromis</i>	3,0	3,7	3	25
	<i>Anthias anthias</i>	3,8	—	3,8	27
	<i>Boops boops</i>	2,9	2,92	2,5	36
<i>Oblada melanura</i>	3,1	3,1	3	34	
MULETS	Mugilidae	2,7	—	2,7	100
SAUPE GRANDE					
SAUPE PETITE	<i>Sarpa salpa</i>	2,1	2,13	2	> 30
					< 30

## Annexe III : Calcul des captures Y et accessibilités par groupe trophique pêché

**Annexe III Tableau a : Captures Y et accessibilité des groupes trophiques pêchés**

(pêche professionnelle, année 2005) (Référence n°17 : Cadiou & Bonhomme, 2006)

<b>GROUPE TROPHIQUE</b>	<b>Espèce</b>	<b>Y (t/km<sup>2</sup>) par espèce</b>	<b>Yi (t/km<sup>2</sup>) par groupe</b>	<b>Accessibilité</b>
RAIES	<i>Raja spp.</i>	0,003	0,003	1,0
PAGEOTS	<i>Pagellus spp.</i>	0,003	0,003	1,0
MEROU GRAND		0,00082	0,00082	1,0
MEROU MOYEN	<i>Epinephelus marginatus</i>	0,00062	0,00062	1,0
MEROU PETIT		0,00003	0,00003	1,0
SERIOLE & DENTE +	<i>Seriola dumerili</i>	0,002	0,029	0,6
	<i>Conger conger</i>	0,010		
	<i>Lophius piscatorius</i>	0,003		
	<i>Dicentrarchus labrax</i>	0		
	<i>Muraena helena</i>	0,010		
	<i>Scylliorhinus canicula</i>	0		
	<i>Dentex dentex</i>	0,004		
	<i>Sphyræna viridensis</i>	0		
CHAPON +	<i>Phycis phycis</i>	0,014	0,078	1,0
	<i>Labrus spp.</i>	0,012		
	<i>Sciaena umbra</i>	0,001		
	<i>Scorpaena scrofa</i>	0,047		
	<i>Pagrus pagrus</i>	0,002		
	<i>Zeus faber</i>	0,002		
SARS +	<i>Diplodus puntazzo</i>	0,002	0,029	0,8
	<i>Diplodus sargus</i>	0,006		
	<i>Diplodus spp.</i>	0,012		
	<i>Diplodus vulgaris</i>	0,002		
	<i>Lithognathus mormyrus</i>	0		
	<i>Sparus aurata</i>	0,001		
	<i>Spondyliosoma cantharus</i>	0,007		
RASCASSES & SERRANS +	<i>Scorpaena spp.</i>	0,012	0,031	0,8
	<i>Serranus spp.</i>	0,019		
	<i>Synodus saurus</i>	0		
ROUGET +	<i>Arnoglossus laterna</i>	0	0,030	0,1
	<i>Bothus podas</i>	0		
	<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	0		
	<i>Gaidropsarus vulgaris</i>	0		
	<i>Trisopterus spp.</i>	0		
	<i>Mullus spp.</i>	0,030		
	<i>Ophisurus serpens</i>	0		
	<i>Ophidion rochei</i>	0		
	<i>Parophidion vassali</i>	0		
LABRES	<i>Coris julis</i>	0	0,019	0,8
	<i>Symphodus spp.</i>	0,019		
CHINCHARDS & ATHERINES +	<i>Atherina boyeri</i>	0	0,012	0,1
	<i>Trachurus spp.</i>	0		
	<i>Spicara maena</i>	0		
	<i>Spicara smaris</i>	0		
	<i>Chromis chromis</i>	0		
	<i>Anthias anthias</i>	0		
	<i>Boops boops</i>	0,012		
	<i>Oblada melanura</i>	0		
SAUPE GRANDE		0,014	0,014	1,0
SAUPE PETITE	<i>Sarpa salpa</i>	0,026	0,026	1,0
BRACHYOURES	<i>Maja squinado</i>	0,018	0,018	0,1
DECAPODES	<i>Homarus gammarus</i>	0,001	0,012	0,3
	<i>Palinurus elephas</i>	0,011		
	<i>Scyllarides latus</i>	0,000		
CEPHALOPODES	<i>Sepia officinalis</i>	0,017	0,017	0,1

## Annexe IV : Calcul des biomasses B par groupe trophique de poissons

### Annexe IV Tableau a : Biomasses B des groupes trophiques de poissons

(Références n°: Cf. Tableau b ; \* : Francour, comm. pers. ; Type : Cf. Tableau c)

GROUPE TROPHIQUE	Espèce	Références	B(t/km²) substrat occupé	Substrat		B (t/km²) par espèce	Bi (t/km²) par groupe
				Type	%		
MEROU GRAND							
MEROU MOYEN	<i>Epinephelus marginatus</i>	50	4,994	S	100%	<b>4,994</b>	<b>4,994</b>
MEROU PETIT							
SERIOLE & DENTE +	<i>Seriola dumerili</i>	56	2,700	S	100%	<b>2,700</b>	<b>5,550</b>
	<i>Conger conger</i>	38+66+79	0,116	R	7%	0,008	
	<i>Lophius piscatorius</i>	*	0,300	M+R	70%	0,210	
	<i>Dicentrarchus labrax</i>	35	0,580	R+H	37%	0,215	
	<i>Muraena helena</i>	38+90	4,096	R	7%	0,287	
	<i>Scyliorhinus canicula</i>	66	0,017	R+H	37%	0,006	
	<i>Dentex dentex</i>	38+90	5,426	R+H	37%	<b>2,008</b>	
	<i>Sphyrna viridensis</i>	*	0,116	S	100%	0,116	
CHAPON +	<i>Phycis phycis</i>	35	0,060	R	7%	0,004	<b>0,491</b>
	<i>Labrus spp.</i>	36+38+66	0,237	R+H	37%	0,088	
	<i>Sciaena umbra</i>	56+60	0,604	R	7%	0,042	
	<i>Scorpaena scrofa</i>	38+66+90	4,033	R	7%	<b>0,282</b>	
	<i>Pagrus pagrus</i>	38	0,080	R+H	37%	0,030	
	<i>Zeus faber</i>	*	0,045	S	100%	0,045	
SARS +	<i>Diplodus puntazzo</i>	38+90	4,622	R+H	37%	<b>1,710</b>	<b>3,628</b>
	<i>Diplodus sargus</i>	38	2,208	R+H	37%	0,817	
	<i>Diplodus vulgaris</i>	38	0,054	R+H	37%	0,020	
	<i>Lithognathus mormyrus</i>	*	0,030	M	63%	0,019	
	<i>Sparus aurata</i>	35+38+90	1,602	M	63%	<b>1,009</b>	
	<i>Spondyliosoma cantharus</i>	36+38+66	0,053	S	100%	0,053	
BLENNIES +	<i>Blennius spp.</i>	38+66+90	0,120	R+H	37%	0,044	<b>0,149</b>
	<i>Diplodus annularis</i>	36+38+66	0,282	R+H	37%	<b>0,104</b>	
RASCASSES & SERRANS +	<i>Scorpaena notata</i>	66+90	6,552	R+H	37%	<b>2,424</b>	<b>4,293</b>
	<i>Scorpaena porcus</i>	38+66	0,954	R+H	37%	0,353	
	<i>Serranus cabrilla</i>	36+38+66+90	3,829	R+H	37%	<b>1,417</b>	
	<i>Serranus hepatus</i>	66	0,003	M	63%	0,002	
	<i>Serranus scriba</i>	36+38+66	0,193	R+H	37%	0,072	
	<i>Synodus saurus</i>	66	0,041	M	63%	0,026	
ROUGET +	<i>Arnoglossus laterna</i>	66	0,001	M	63%	0,001	<b>0,235</b>
	<i>Bothus podas</i>	66	0,015	M	63%	0,010	
	<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	66	0,058	R	7%	0,004	
	<i>Gaidropsus vulgaris</i>	66	0,075	R	7%	0,005	
	<i>Trisopterus spp.</i>	38	0,014	R	7%	0,001	
	<i>Mullus surmuletus</i>	38+60+79	0,185	M	63%	<b>0,117</b>	
	<i>Ophisurus serpens</i>	*	0,100	M	63%	0,063	
	<i>Ophidion rochei</i>	66	0,002	M	63%	0,002	
	<i>Parophidion vassali</i>	66	0,053	M	63%	0,033	
SYNGNATHES +	<i>Apogon imberbis</i>	38+90	0,033	R	7%	0,002	<b>0,021</b>
	<i>Apletodon dentatus</i>	66	0,001	R+H	37%	0,0005	
	<i>Diplecogaster bimaculata</i>	66	0,0001	R+H	37%	0,00003	
	<i>Lepadogaster candolei</i>	66	0,004	R+H	37%	0,001	
	<i>Opeatogenys gracilis</i>	66	0,0001	H	30%	0,00002	
	<i>Hippocampus spp.</i>	66	0,006	H	30%	0,002	
	<i>Nerophis maculatus</i>	66	0,006	H	30%	0,002	
	<i>Syngnathus acus</i>	66	0,030	H	30%	<b>0,009</b>	
	<i>Syngnathus typhle</i>	66	0,008	H	30%	0,002	
	<i>Tripterygion spp.</i>	38+66	0,024	R	7%	0,002	
LABRES	<i>Coris julis</i>	36+38+66+90	4,336	S	100%	<b>4,336</b>	<b>5,039</b>
	<i>Symphodus cinereus</i>	36+66	0,044	M	63%	0,028	
	<i>Symphodus doderleini</i>	38+66	0,003	R+H	37%	0,001	
	<i>Symphodus mediterraneus</i>	36+38+66+90	0,094	R+H	37%	0,035	
	<i>Symphodus melanocercus</i>	36+38+66	0,038	R+H	37%	0,014	
	<i>Symphodus ocellatus</i>	36+38+66	0,383	R+H	37%	0,142	
	<i>Symphodus roissali</i>	36+38+66	0,009	R+H	37%	0,003	
	<i>Symphodus rostratus</i>	36+38+66	0,084	R+H	37%	0,031	
	<i>Symphodus tinca</i>	36+38+66	1,091	R+H	37%	0,404	
	<i>Thalassoma pavo</i>	61	0,124	R+H	37%	0,046	
GOBIES	<i>Deltentosteus colonianus</i>	66	0,022	S	100%	0,022	<b>0,426</b>
	<i>Deltentosteus quadrimaculatus</i>	66	0,0003	S	100%	0,0003	
	<i>Gobius auratus</i>	38	0,113	S	100%	<b>0,113</b>	
	<i>Gobius cruentatus</i>	66	0,013	S	100%	0,013	
	<i>Gobius fallax</i>	66	0,013	S	100%	0,013	
	<i>Gobius geniporus</i>	66	0,033	S	100%	0,033	
	<i>Gobius paganellus</i>	66	0,024	S	100%	0,024	
	<i>Gobius vittatus</i>	38	0,146	S	100%	<b>0,146</b>	
	<i>Pomatoschistus minutus</i>	66	0,002	S	100%	0,002	
	<i>Pomatoschistus quagga</i>	66	0,0004	S	100%	0,0004	
	<i>Thorogobius ephippiatus</i>	90	0,055	S	100%	0,055	
	<i>Thorogobius macrolepis</i>	38	0,007	S	100%	0,007	
CHINCHARDS & ATHERINES +	<i>Atherina spp.</i>	*	75,00	R+H	37%	<b>27,75</b>	<b>58,099</b>
	<i>Trachurus spp.</i>	*	75,00	R+H	37%	<b>27,75</b>	
	<i>Spicara spp.</i>	38+66+90	0,565	R+H	37%	0,209	
	<i>Chromis chromis</i>	38+66	0,951	R+H	37%	0,352	
	<i>Anthias anthias</i>	38+90	24,99	R	7%	1,749	
	<i>Boops boops</i>	38	0,034	R+H	37%	0,012	
MULETS	Mugilidae	35+38	4,502	S	100%	<b>4,502</b>	<b>4,502</b>
SAUPE GRANDE							
SAUPE PETITE	<i>Sarpa salpa</i>	36	9,500	R+H	37%	<b>9,500</b>	<b>9,500</b>

Pour calculer les biomasses de chaque espèce de poissons, il a fallu calculer la moyenne des différentes estimations de biomasse obtenues (le jour ou la nuit, l'été ou l'hiver et sur chaque site) par chacune des études de référence. Puis, cette estimation moyenne (en g) est rapportée à une surface (en m<sup>2</sup>), qui dépend de la méthode appliquée au cours de l'étude. On obtient ainsi une valeur moyenne (en g/m<sup>2</sup>) d'estimation de biomasse par espèce, pour chaque étude. A partir de ces valeurs, on calcule les biomasses par groupe trophique de poissons.

#### **Annexe IV Tableau b : Références des données de biomasse des espèces de poissons**

(Nombre d'espèces : nombre d'espèces utilisées dans notre modèle pour chaque étude de référence,

Surface : transect ou trait de chalut, sauf \* : surface des eaux du Parc s'étendant entre 0 et 40 m de profondeur et \*\* : surface de l'épave)

n°	Référence	Nombre d'espèces	Date	Site	Substrat	Profondeur	Méthode	Surface
35	Francour, 1990	3	avant 1990	Port-Cros	Herbier	3 et 11 m	plongée	40 m <sup>2</sup>
36	Francour, 1997	15	nov 1984 à sept 1987	Rade de Port-Cros	Herbier	3 à 11 m	plongée	10 m <sup>2</sup>
38	Francour, 2007	36	mai 2005, avril et juillet 2006	La Galère, Montrémian (Port-Cros)	Herbier + Coralligène	3 à 10 m et 25 à 34 m	plongée	25 ou 250 m <sup>2</sup>
50	GEM, <i>In press</i>	1	octobre 2008	Port-Cros	tout le Parc	0 à 40 m	plongée	7 320 000 m <sup>2</sup> *
56	Harmelin, 1987	3	nov 1985 à mars 1986	La Galère, Malalongue (Port-Cros)	Rocheux	10 à 15 m	plongée	250 m <sup>2</sup>
57	Harmelin, 1990	–	avant 1990	La Galère, Montrémian (Port-Cros)	Coralligène	25 à 47 m	plongée	–
60	Harmelin & Ruitton, 2007	1	mai 2005 et déc 2005	Port-Cros	tout le Parc	3 à 30 m	plongée	750 m <sup>2</sup>
61	Hereu, 2004	1	juin 1998 à sept 2000	Iles Medes (Espagne)	Rocheux	5 à 8 m	plongée	116 m <sup>2</sup>
66	Khoury, 1987	49	juin 1981 et janvier 1982	Port-Cros Sud, Bagaud Est (Port-Cros)	Herbier	12 à 20 m	chalut à perche	2 778 m <sup>2</sup> **
79	Ody, 1987	2	avril 1986 à fév 1987	Ilot du Rascas (Port-Cros)	Rocheux	8 à 30 m	chalut à perche + plongée	100 m <sup>2</sup>
90	Ruitton <i>et al.</i> , 2004	14	automne 1998 et printemps 1999	Epave "La barge aux congrès" (Port-Cros)	Sableux	45 à 49 m	plongée	108,8 m <sup>2</sup>

**Annexe IV Tableau c : Surfaces des substrats sous-marins à Port-Cros**

(Référence n°8 : Belsher *et al.*, 2005)

<b>TYPE DE SUBSTRATS à Port-Cros</b>		<b>SURFACE (m<sup>2</sup>)</b>	
<b>HERBIERS (H)</b>	Débris d'herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> (feuilles et rhizomes arrachés)	45 218	4 687 266 soit <b>30%</b>
	Herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> en individus très dispersés	158 367	
	Herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> en touffes clairessemées	214 864	
	Herbiers denses(mattes) à <i>Posidonia oceanica</i>	4 199 294	
	Prairies à <i>Cymodocea nodosa</i>	5 824	
	Récif-barrière à <i>Posidonia oceanica</i>	3 253	
	Reliques in situ d'herbiers à <i>Posidonia océanica</i> (mattes mortes)	60 444	
<b>MEUBLES (M)</b>	Sables et silts remaniés (sédiments très perturbés par actions anthropiques)	81 622	10 040 239 soit <b>63%</b>
	Sables fins de plage et d'avant -plage	72 254	
	Sables fins et vases de fond de baie	9 743	
	Sables moyens à fins de pied d'herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	126 233	
	Sables moyens à grossiers et vases	1 998 499	
	Sables moyens à grossiers et granules	2 355 413	
	Sables moyens à grossiers granules et graviers	2 062 807	
	Sables et graviers d'intermattes	236 627	
	Sables et graviers, sous l'influence permanente des courants de fond	432 229	
	Granules, graviers et cailloux	2 654 249	
Graviers et cailloux de haut de plage	10 563		
<b>ROCHEUX (R)</b>	Cailloux et blocs de pied de falaise	75 566	1 067 961 soit <b>7%</b>
	Roches en place et blocs, de natures indifférenciées	992 179	
	Epaves	216	
<b>SURFACE TOTALE (S)</b>		<b>100%</b>	

NB : Par la suite, on distingue les substrats rocheux profonds R prof. et les substrats rocheux superficiels R sup., en divisant la surface de substrats rocheux R par 2.

## Annexe V : Calcul des ratios P/B et Q/B par groupe trophique de poissons

Annexe V Tableau a : Paramètres des espèces de poissons (Référence n°40 : FishBase, 2009)

Espèce	K (/an)	tmax	Linf (cm)	Lmax (cm)	a	b	Winf (g)	A
<i>Anthias anthias</i>	—	—	—	27	0,0242	2,611	132	2,90
<i>Apletodon dentatus</i>	—	—	—	4	—	—	—	—
<i>Apogon imberbis</i>	0,9	—	15	15	0,0124	3,108	56	1,44
<i>Armoglossus laterna</i>	0,6	8,0	16	25	0,0024	3,389	28	0,77
<i>Atherina boyeri</i>	1,2	—	11	20	0,0075	3,023	9	1,20
<i>Blennius ocellaris</i>	—	—	—	20	0,0140	2,963	100	1,19
<i>Boops boops</i>	0,3	—	32	36	0,0145	3,000	453	0,97
<i>Bothus podas</i>	0,4	—	17	45	0,0164	2,940	73	1,23
<i>Chromis chromis</i>	0,2	—	15	25	0,0299	2,793	52	1,13
<i>Conger conger</i>	0,1	—	229	300	0,0005	3,240	22123	1,25
<i>Coris julis</i>	0,1	7,0	27	30	0,0069	3,031	154	1,61
<i>Deltentosteus colonianus</i>	—	—	—	7	—	—	—	—
<i>Deltentosteus quadrimaculatus</i>	—	—	—	8	0,0074	3,050	4	0,75
<i>Dentex dentex</i>	0,1	—	95	100	0,0110	3,060	12434	1,83
<i>Dicentrarchus labrax</i>	0,1	15,0	72	103	0,0079	3,080	4205	1,22
<i>Diplecogaster bimaculata</i>	—	—	—	6	—	—	—	0,40
<i>Diplodus annularis</i>	0,2	7,0	23	24	0,0148	3,036	189	1,58
<i>Diplodus puntazzo</i>	0,5	—	23	60	0,0108	3,273	318	3,10
<i>Diplodus sargus</i>	0,1	10,0	47	45	0,0097	3,123	1585	3,24
<i>Diplodus vulgaris</i>	0,4	—	29	45	0,0240	3,000	573	4,72
<i>Epinephelus marginatus</i>	0,1	50,0	136	150	0,0091	3,115	40253	1,38
<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	0,6	—	27	50	0,0028	3,118	81	0,90
<i>Gaidropsarus vulgaris</i>	—	—	—	60	0,0022	3,402	2464	—
<i>Gobius auratus</i>	—	—	—	10	—	—	—	0,66
<i>Gobius cruentatus</i>	—	—	—	18	0,0081	3,137	70	0,69
<i>Gobius fallax</i>	—	—	—	9	0,0110	2,924	7	0,89
<i>Gobius geniporus</i>	—	—	—	16	—	—	—	0,53
<i>Gobius paganellus</i>	0,7	10,0	14	12	0,0089	3,163	36	0,78
<i>Gobius vittatus</i>	1,2	—	5	6	—	—	—	0,41
<i>Hippocampus hippocampus</i>	—	—	—	15	0,0010	3,140	5	—
<i>Labrus merula</i>	0,3	17,0	35	45	0,0109	3,120	722	0,82
<i>Labrus viridis</i>	—	—	—	47	—	—	—	1,15
<i>Lepadogaster candolei</i>	—	—	—	8	—	—	—	—
<i>Lithognathus mormyrus</i>	0,3	12,0	37	55	0,0106	3,023	598	2,87
<i>Lophius piscatorius</i>	0,1	24,0	131	200	0,0240	2,896	32496	—
<i>Mugil cephalus</i>	0,2	16,0	59	100	0,0104	2,964	1844	2,53
<i>Mullus surmuletus</i>	0,5	10,0	28	40	0,0082	3,090	230	1,38
<i>Muraena helena</i>	—	—	—	150	—	—	—	—
<i>Nerophis maculatus</i>	—	—	—	30	—	—	—	—
<i>Oblada melanura</i>	0,2	—	33	34	0,0113	3,017	439	2,48
<i>Opeatogenys gracilis</i>	—	—	—	3	—	—	—	—
<i>Ophidion rochei</i>	—	—	—	29	0,0023	3,200	114	—
<i>Ophisurus serpens</i>	—	—	—	250	0,0002	3,015	3395	—
<i>Pagellus erythrinus</i>	0,1	—	36	60	0,0206	3,000	945	2,60
<i>Pagrus pagrus</i>	0,1	—	46	91	0,0152	3,005	1508	2,02
<i>Parablennius gattorugine</i>	—	—	—	30	0,0084	3,241	515	0,92
<i>Parablennius rouxi</i>	—	—	—	8	—	—	—	—
<i>Parophidion vassali</i>	—	—	—	25	—	—	—	—
<i>Phycis phycis</i>	0,2	—	65	65	0,0070	3,169	3950	1,37
<i>Pomatoschistus minutus</i>	0,9	3,0	9	11	0,0142	3,000	11	1,07
<i>Pomatoschistus quagga</i>	—	—	—	6	—	—	—	0,90
<i>Raja clavata</i>	0,1	12,0	118	105	0,0022	3,268	12982	—
<i>Sarpa salpa</i>	0,2	—	45	51	0,0127	3,003	1147	2,85
<i>Sciaena umbra</i>	0,2	21,0	54	70	0,0352	3,048	6675	1,76
<i>Scorpaena notata</i>	—	—	—	24	0,0183	3,035	283	1,34
<i>Scorpaena porcus</i>	0,2	—	29	37	0,0176	3,000	447	1,36
<i>Scorpaena scrofa</i>	0,1	—	46	50	0,0169	2,999	1617	1,49
<i>Scylliorhinus canicula</i>	0,2	10,0	88	100	0,0016	3,206	2742	—
<i>Seriola dumerili</i>	0,3	—	149	190	0,0240	2,860	39403	3,01
<i>Serranus cabrilla</i>	0,1	—	32	40	0,0252	2,790	395	1,51
<i>Serranus hepatus</i>	0,4	—	15	25	0,0177	2,977	60	2,23
<i>Serranus scriba</i>	0,2	—	30	36	0,0137	2,971	349	1,28
<i>Sparus aurata</i>	0,5	11,0	55	70	0,0130	3,000	2198	1,39
<i>Sphyaena viridensis</i>	0,1	—	101	128	0,0039	3,000	3971	1,48
<i>Spicara maena</i>	0,2	—	18	25	0,0097	3,076	74	3,12
<i>Spicara smaris</i>	0,4	—	20	20	0,0065	3,126	77	2,86
<i>Spondylosoma cantharus</i>	0,2	—	48	60	0,0126	3,041	1602	1,94
<i>Symphodus cinereus</i>	0,3	6,0	14	16	0,0033	3,521	37	1,53
<i>Symphodus doderleini</i>	—	—	—	10	—	—	—	1,20
<i>Symphodus mediterraneus</i>	0,6	8,0	17	18	0,0144	3,012	73	1,19
<i>Symphodus melanocercus</i>	—	—	—	14	0,0180	3,000	49	1,09
<i>Symphodus ocellatus</i>	0,9	5,0	11	12	0,0091	3,171	17	1,13
<i>Symphodus roissali</i>	0,2	8,0	15	17	0,0350	2,670	48	1,05
<i>Symphodus rostratus</i>	0,4	4,0	14	13	0,0245	2,842	46	1,19
<i>Symphodus tinca</i>	0,3	15,0	28	44	0,0258	2,788	285	1,65
<i>Syngnathus acus</i>	—	—	—	50	0,0002	3,540	207	—
<i>Syngnathus typhle</i>	0,6	—	26	35	0,0001	3,050	2	—
<i>Synodus saurus</i>	—	—	—	40	0,0040	3,190	516	2,85
<i>Thalassoma pavo</i>	—	—	—	25	—	—	—	1,05
<i>Thorogobius ephippiatus</i>	0,2	9,0	14	13	—	—	—	0,48
<i>Thorogobius macrolepis</i>	—	—	—	7	—	—	—	1,23
<i>Trachurus mediterraneus</i>	0,2	—	39	60	0,0151	2,996	883	1,69
<i>Tripterygion delaisi</i>	—	—	—	9	—	—	—	—
<i>Trisopterus luscus</i>	0,4	4,0	46	46	0,0105	3,069	1305	0,88
<i>Zeus faber</i>	0,3	12,0	58	90	0,0275	2,920	3858	1,68

Annexe V Tableau b : Mortalités naturelles M et ratios Consommation/Biomasse Q/B des

espèces de poissons (Références (a) à (e) : Cf. équations ci-après)

GROUPE TROPHIQUE	Espèce	M						Q/B	
		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	moyen choisi		
RAIES	<i>Raja clavata</i>	1,68	1,26	0,35	0,23	0,19	0,74	1,26	
PAGEOTS	<i>Pagellus erythrinus</i>	1,53	1,67		0,31	0,19	0,93	1,53	7,03
MÉROU	<i>Epinephelus marginatus</i>	1,60	1,21	0,08	0,22	0,19	0,66	1,21	2,59
SERIOLE & DENTE +	<i>Seriola dumerilii</i>	1,28	0,69		0,43	0,57	0,74	0,69	3,55
	<i>Conger conger</i>	1,66	1,07		0,19	0,19	0,78	1,07	2,85
	<i>Lophius piscatorius</i>	1,48	1,23	0,17	0,22	0,19	0,66	1,23	
	<i>Dicentrarchus labrax</i>	1,58	1,41	0,28	0,26	0,19	0,74	1,41	3,98
	<i>Muraena helena</i>								
	<i>Scyliorhinus canicula</i>	1,54	0,92	0,42	0,39	0,38	0,73	0,92	
	<i>Dentex dentex</i>	1,57	1,32		0,24	0,19	0,83	1,32	3,59
CHAPON +	<i>Sphyræna viridensis</i>	1,52	1,30		0,24	0,19	0,81	1,30	4,23
	<i>Phycis phycis</i>	1,52	0,99		0,42	0,38	0,83	0,99	4,15
	<i>Labrus merula</i>	1,39	0,98	0,25	0,65	0,57	0,77	0,98	5,28
	<i>Labrus viridis</i>								
	<i>Sciaena umbra</i>	1,46	1,04	0,20	0,44	0,38	0,70	1,04	4,02
	<i>Scorpaena scrofa</i>	1,53	1,58		0,29	0,19	0,90	1,53	5,09
SARS +	<i>Pagrus pagrus</i>	1,54	1,58		0,29	0,19	0,90	1,54	5,72
	<i>Zeus faber</i>	1,30	0,87	0,35	0,56	0,57	0,73	0,87	4,42
	<i>Diplodus puntazzo</i>	1,27	0,99		1,02	0,95	1,06	0,99	9,66
	<i>Diplodus sargus</i>	1,59	1,57	0,42	0,29	0,19	0,81	1,57	7,15
	<i>Diplodus vulgaris</i>	1,25	0,96		0,83	0,76	0,95	0,96	11,67
	<i>Lithognathus mormyrus</i>	1,34	0,97	0,35	0,64	0,57	0,77	0,97	8,12
	<i>Sparus aurata</i>	1,17	0,81	0,38	0,80	0,95	0,82	0,81	4,69
<i>Spondyliosoma cantharus</i>	1,45	1,07		0,46	0,38	0,84	1,07	5,56	
BLENNIES +	<i>Blennius ocellaris</i>								8,48
	<i>Parablennius gattorugine</i>								5,77
	<i>Parablennius rouxi</i>								
	<i>Diplodus annularis</i>	1,44	1,27	0,60	0,56	0,38	0,85	1,27	8,03
RASCASSES & SERRANS +	<i>Scorpaena notata</i>								7,07
	<i>Scorpaena porcus</i>	1,42	1,20		0,52	0,38	0,88	1,20	6,46
	<i>Serranus cabrilla</i>	1,41	1,72		0,32	0,19	0,91	1,41	6,82
	<i>Serranus hepatus</i>	1,24	1,13		0,99	0,76	1,03	1,13	11,51
	<i>Serranus scriba</i>	1,41	1,19		0,52	0,38	0,87	1,19	6,69
	<i>Synodus saurus</i>								8,34
ROUGET +	<i>Arnoglossus laterna</i>	1,19	1,09	0,53	1,28	1,13	1,04	1,09	10,18
	<i>Bothus podas</i>	1,20	1,09		0,95	0,76	1,00	1,09	9,13
	<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	1,12	0,96		1,10	1,13	1,08	1,12	8,38
	<i>Gaidropsarus vulgaris</i>								
	<i>Trisopterus luscus</i>	1,26	0,86	1,06	0,73	0,76	0,93	0,86	4,74
	<i>Mullus surmuletus</i>	1,19	0,95	0,42	0,97	0,95	0,90	0,95	7,43
	<i>Ophisurus serpens</i>								
	<i>Ophidion rochei</i>								
SYNGNATHES +	<i>Parophidion vassali</i>								
	<i>Apogon imberbis</i>	0,89	1,14		1,69	1,70	1,35	1,14	10,02
	<i>Apletodon dentatus</i>								
	<i>Diplecogaster bimaculata</i>								
	<i>Lepadogaster candolei</i>								
	<i>Opeatogenys gracilis</i>								
	<i>Hippocampus hippocampus</i>								
	<i>Nerophis maculatus</i>								
	<i>Syngnathus acus</i>								
	<i>Syngnathus typhle</i>	1,10	0,97		1,11	1,13	1,08	1,10	
LABRES	<i>Tripterygion delaisi</i>								
	<i>Coris julis</i>	1,54	1,79	0,60	0,34	0,19	0,89	1,54	8,42
	<i>Symphodus cinereus</i>	1,58	1,23	0,70	0,84	0,57	0,98	1,23	11,11
	<i>Symphodus doderleini</i>								
	<i>Symphodus mediterraneus</i>	1,09	1,07	0,53	1,25	1,13	1,01	1,07	9,05
	<i>Symphodus melanocercus</i>								9,62
	<i>Symphodus ocellatus</i>	0,90	1,23	0,85	1,85	1,70	1,31	1,23	12,01
	<i>Symphodus roissali</i>	1,22	1,20	0,53	0,63	0,38	0,79	1,20	9,58
	<i>Symphodus rostratus</i>	1,17	1,14	1,06	1,01	0,76	1,03	1,14	9,94
	<i>Symphodus tinca</i>	1,23	1,04	0,28	0,69	0,57	0,76	1,04	7,48
GOBIES	<i>Thalassoma pavo</i>								
	<i>Deltentosteus colonianus</i>								14,89
	<i>Deltentosteus quadrimaculatus</i>								
	<i>Gobius auratus</i>								
	<i>Gobius cruentatus</i>								8,29
	<i>Gobius fallax</i>								13,87
	<i>Gobius geniporus</i>								
	<i>Gobius paganellus</i>	1,06	1,15	0,42	1,47	1,32	1,08	1,06	9,67
	<i>Gobius vittatus</i>				2,75	2,27	2,51	2,75	
	<i>Pomatoschistus minutus</i>	0,85	1,29	1,42	1,93	1,70	1,44	1,29	13,00
<i>Pomatoschistus quagga</i>									
<i>Thorogobius ephippiatus</i>			0,47	0,65	0,38	0,50	0,65		
<i>Thorogobius macrolepis</i>									
CHINCHARDS & ATHERINES +	<i>Atherina boyeri</i>	0,68	1,44		2,24	2,27	1,66	1,44	13,77
	<i>Trachurus mediterraneus</i>	1,42	1,12		0,48	0,38	0,85	1,12	5,99
	<i>Spicara maena</i>	1,46	1,35		0,60	0,38	0,95	1,35	13,05
	<i>Spicara smaris</i>	1,29	1,05		0,92	0,76	1,00	1,05	12,32
	<i>Chromis chromis</i>	1,31	1,41		0,64	0,38	0,93	1,31	9,57
	<i>Anthias anthias</i>								11,12
	<i>Boops boops</i>	1,33	1,00		0,67	0,57	0,89	1,00	5,98
<i>Oblada melanura</i>	1,43	1,17		0,51	0,38	0,87	1,17	8,03	
MULETS	<i>Mugil cephalus</i>	1,42	1,01	0,26	0,43	0,38	0,70	1,01	15,13
SAUPE	<i>Sarpa salpa</i>	1,44	1,08		0,47	0,38	0,84	1,08	24,12

La Mortalité naturelle M est calculée à partir de différentes équations empiriques proposées dans la littérature :

(a) **Méthode de Caddy** (Caddy, 1991)

(b)  $M = \exp ( 0,66 - 1,69 * \text{Ln}(L) + 1,45 * \text{Ln}(L_{\text{inf}}) + 0,9 * \text{Ln}(K) )$  (Gislason *et al.*, 2008)

Avec L la longueur totale moyenne de l'espèce (en cm), obtenue par la méthode de Caddy.

(c)  $M = \exp ( 1,46 - 1,01 * \text{Ln}(t_{\text{max}}) )$  (Hoenig, 1993)

Avec tmax l'âge maximal du poisson (en années).

(d)  $M = \exp ( - 0,0152 - 0,279 * \text{Ln}(L_{\text{inf}}) + 0,6543 * \text{Ln}(K) + 0,463 * \text{Ln}(T) )$  (Pauly, 1980)

Avec  $L_{\text{inf}}$  la longueur infinie (longueur totale de l'espèce, en cm), K le coefficient de croissance de Von Bertalanffy (en an<sup>-1</sup>) et T la température moyenne de l'eau (fixée à 19°C).

(e)  $M = 1,89 * K$  (Gascuel *et al.*, 2008)

Le ratio Q/B est obtenu à partir d'une équation empirique suivante (Palomares & Pauly, 1998) :

$$\log_{10}(Q/B) = 7,964 - 0,204 * \log_{10}(W_{\text{inf}}) - 1,965 * T' + 0,083 * A + 0,532 * h + 0,398 * d$$

Dans cette équation,  $W_{\text{inf}}$  est le poids infini (en g), calculé à partir de la longueur infinie  $L_{\text{inf}}$  (ou de la longueur maximale  $L_{\text{max}}$ ) et des coefficients a et b tel que  $W_{\text{inf}} = a * L_{\text{inf}}^b$ . T' est une variable de température obtenue avec la formule suivante :  $T' = 1000 / (T + 273,15)$ . A est le ratio de l'aspect de la nageoire caudale du poisson, tel que  $A = \text{hauteur}^2 / \text{Surface}$ . h et d sont des constantes qui dépendent du régime alimentaire du poisson (h vaut 1 si le poisson est herbivore, 0 sinon et d vaut 1 si le poisson est détritivore, 0 sinon).

**Annexe V Tableau c : Ratios Production/Biomasse P/B et Consommation/Biomasse Q/B des groupes trophiques de poissons**

(\* : FishBase, 2009 et \*\* : Caddy, 1991)

GROUPE TROPHIQUE	F	M	P/B	Q/B
RAIES	1,260	1,260	2,520	–
PAGEOTS	1,530	1,530	3,060	7,027
MEROU GRAND	0,0003	0,160 *	0,160	1,320 *
MEROU MOYEN	0,0003	0,530 *	0,530	–
MEROU PETIT	0,0003	1,800 *	1,800	–
SERIOLE & DENTE +	0,005	1,134	1,139	3,641
CHAPON +	0,160	1,158	1,318	4,781
SARS +	0,008	1,062	1,070	7,809
BLENNIES +	0	1,270	1,270	7,429
RASCASSES & SERRANS +	0,007	1,233	1,240	7,814
ROUGET +	0,128	1,022	1,150	7,969
SYNGNATHES +	0	1,120	1,120	10,018
LABRES	0,004	1,207	1,211	9,652
GOBIES	0	1,437	1,437	11,947
CHINCHARDS & ATHERINES +	0,0004	1,206	1,206	9,977
MULETS	0	1,010	1,010	15,127
SAUPE GRANDE	0,004	1,330 **	1,334	24,120
SAUPE PETITE	0,004	1,360 **	1,364	–

## Annexe VI : Références des données de composition alimentaire des poissons

### Annexe VI Tableau a : Références des compositions alimentaires DC des espèces de poissons

(Références n°: Cf. Tableau b ; n°40 : FishBase, 2 009)

GRUPE TROPHIQUE	Espèce	Références
RAIES	<i>Raja spp.</i>	75
PAGEOTS	<i>Pagellus spp.</i>	89
MEROU	<i>Epinephelus marginatus</i>	58+68
SERIOLE & DENTE +	<i>Seriola dumerili</i>	5
	<i>Conger conger</i>	66
	<i>Lophius piscatorius</i>	40
	<i>Dicentrarchus labrax</i>	29
	<i>Muraena helena</i>	40
	<i>Scylliorhinus canicula</i>	73
	<i>Dentex dentex</i>	74
CHAPON +	<i>Sphyræna viridensis</i>	6
	<i>Phycis phycis</i>	95c
	<i>Labrus merula</i>	7
	<i>Labrus viridis</i>	66
	<i>Sciaena umbra</i>	95a
	<i>Scorpaena scrofa</i>	66
	<i>Pagrus pagrus</i>	19
SARS +	<i>Zeus faber</i>	7
	<i>Diplodus puntazzo</i>	93
	<i>Diplodus sargus</i>	93
	<i>Diplodus vulgaris</i>	7
	<i>Lithognathus mormyrus</i>	65
	<i>Sparus aurata</i>	7
	<i>Spondyliosoma cantharus</i>	66
BLENNIES +	<i>Blennius ocellaris</i>	66
	<i>Parablennius gattorugine</i>	66
	<i>Parablennius rouxi</i>	95e
	<i>Diplodus annularis</i>	66
RASCASSES & SERRANS +	<i>Scorpaena notata</i>	66
	<i>Scorpaena porcus</i>	66
	<i>Serranus cabrilla</i>	66
	<i>Serranus hepatus</i>	7
	<i>Serranus scriba</i>	66
	<i>Synodus saurus</i>	66
ROUGET +	<i>Arnoglossus laterna</i>	66
	<i>Bothus podas</i>	66
	<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	66
	<i>Gaidropsarus vulgaris</i>	66
	<i>Trisopterus spp.</i>	52+76
	<i>Mullus surmuletus</i>	66
	<i>Ophisurus serpens</i>	-
	<i>Ophidion rochei</i>	66
	<i>Parophidion vassali</i>	66
SYNGNATHES +	<i>Apogon imberbis</i>	95d
	<i>Apletodon dentatus</i>	66
	<i>Diplecogaster bimaculata</i>	66
	<i>Lepadogaster candolei</i>	66
	<i>Opeatogenys gracilis</i>	66
	<i>Hippocampus spp.</i>	66
	<i>Nerophis maculatus</i>	66
	<i>Syngnathus acus</i>	66
	<i>Syngnathus typhle</i>	66
	<i>Tripterygion spp.</i>	66
LABRES	<i>Coris julis</i>	66
	<i>Symphodus cinereus</i>	66
	<i>Symphodus doderleini</i>	66
	<i>Symphodus mediterraneus</i>	66
	<i>Symphodus melanocercus</i>	66
	<i>Symphodus ocellatus</i>	66
	<i>Symphodus roissali</i>	66
	<i>Symphodus rostratus</i>	66
	<i>Symphodus tinca</i>	66
	<i>Thalassoma pavo</i>	31
	GOBIES	<i>Deltentosteus colonianus</i>
<i>Deltentosteus quadrimaculatus</i>		7
<i>Gobius auratus</i>		95f
<i>Gobius cruentatus</i>		66
<i>Gobius fallax</i>		66
<i>Gobius geniporus</i>		66
<i>Gobius paganellus</i>		66
<i>Gobius vittatus</i>		67
<i>Pomatoschistus minutus</i>		66
<i>Pomatoschistus quagga</i>		66
<i>Thorogobius ephippiatus</i>		40
CHINCHARDS & ATHERINES +	<i>Thorogobius macrolepis</i>	66
	<i>Atherina boyeri</i>	66
	<i>Trachurus spp.</i>	94
	<i>Spicara maena</i>	66
	<i>Spicara smaris</i>	66
	<i>Chromis chromis</i>	66
	<i>Anthias anthias</i>	40
MULETS	<i>Boops boops</i>	7
	<i>Oblada melanura</i>	95d
	<i>Mugilidae</i>	12
SAUPE	<i>Sarpa salpa</i>	98

### Annexe VI Tableau b : Détail des références des compositions alimentaires des espèces de poissons

(Nombre d'espèces : nombre d'espèces utilisées dans notre modèle pour chaque étude de référence,

% : W=pondéral, V=volumique, N=numérique, Références a à f citées dans Stergiou & Karpouzi, 2002)

n°	Référence	Nombre d'espèces	%	Date	Localité	Site	Substrat	Profondeur	Méthode
5	Badalamenti, 1995	1	% W	juillet - déc 1992	Méditerranée, Sicile	Golfe de Castellamarre	Herbier + Meuble	–	seine avec DCP
6	Barreiros, 2002	1	% W	1997 - 1998	Atlantique, Portugal	Açores	–	–	ligne
7	Bell & Harmelin-Vivien, 1983	7	% W	juillet - sept 1980	Méditerranée, France	Marseille	Herbier	16 - 18 m	chalut à perche
12	Blanco, 2003	1	%N	2000 - 2002	Espagne, Valencia	Lacs	–	3 m	filets
19	Chakroun-Markouz & Kartas, 1987	1	% W	1982 - 1983	Méditerranée, Tunisie	–	Meuble	–	palangre + trémail + chalut
29	Costa, 1988	1	–	1978 - 1981	Espagne	Estuaire du Tage	–	–	–
31	Donner & Harrer, 2004	1	–	–	Méditerranée, Corse	Baie de Calvi	–	–	–
52	Gramitto, 1999	1	% W	oct 1985, avril et juillet 1986	Adriatique, Italie	Ancona	–	52 - 54 m	chalut de fond
58	Harmelin, 1999	1	% W	1996	Méditerranée, Algérie	–	–	–	–
65	Kallianiotis, 2005	1	% V	oct 1997 - sept 1998	Mer de Thrace, Grèce	–	–	–	filets + lignes +seines
66	Khoury, 1987	48	% W	juin 1981, janv 1982	Méditerranée, France	Port-Cros	Herbier	13 - 20 m	chalut à perche
67	Kovacic, 2007	1	% W	avril 2001 - mars 2002	Adriatique, Croatie	Kvarner	–	8 - 20 m	plongée
68	Linde, 2004	1	% W	été, automne 1998 et 2000	Méditerranée, Espagne	Baléares	–	0 - 45 m	compétition pêche loisir
73	Macpherson, 1981	1	% W	sept 76 - sept 78	Méditerranée, Espagne	Alicante - Cap Creus	–	200 - 800 m	chalut de fond
74	Morales-Nin, 1997	1	% N	déc 1993 - juin 1995	Méditerranée, Espagne	Baléares	–	–	lignes + filets
75	Morato, 2003	1	% W	mars - mai 1996 et 1997	Atlantique, Portugal	Açores	–	–	lignes
76	Morte, 2001	1	% W	oct 1991 - oct 1994	Méditerranée, Espagne	Golfe de Valence	–	50 - 175 m	pêche commerciale
89	Rosecchi, 1983	1	% W	1979 - 1980	Méditerranée, France	Sète + Grau du Roi	–	–	–
93	Sala & Ballesteros, 1997	2	% W	avril 1992 - fév 1993	Méditerranée, Espagne	Iles Medes	Rocheux	0 - 15 m	–
94	Santic, 2003	1	% W	janv - déc 1996	Adriatique, Croatie	–	–	90 - 140 m	chalut de fond
95	Stergiou & Karpouzi, 2002	–	–	–	–	–	–	–	–
95a	Pinnegar & Polunin, 2000	1	% W	–	Méditerranée, Corse	–	–	–	–
95b	Zander & Berg, 1984	1	% N	juin 1979	Méditerranée, France	Golfe du Lion	–	–	plongée
95c	Papaconstantinou & Caragitsou, 1989	1	% W	1985 - 1986	Méditerranée, Grèce	Dodécanèse	–	–	filets
95d	Zander & Berg, 1984 + Zander & Heymer, 1992	1	% N	juin 1979, juin 1987	Méditerranée, France	Golfe du Lion	–	–	plongée
95e	Froglià & Gramitto, 1998	1	% W	1987 - 1991	Adriatique, Italie	–	–	–	filets
95f	Lenfant & Olive, 1998	1	% N	1996	Méditerranée, France	Golfe du Lion	–	–	–
98	Verlaque, 1989	1	%N	–	Méditerranée, France	Port-Cros	Herbier	0 - 20 m	filet + arbalète

## Annexe VII : Calcul des biomasses B par groupe trophique d'invertébrés

### Annexe VII Tableau a : Biomasses B des groupes trophiques d'invertébrés

(Références n°: Cf. Tab. b ; \* : Francour, comm. p. pers. ; \*\* : Thibault, comm. pers. ; Type : Cf. Annexe IV)

GROUPE TROPHIQUE	Détail des espèces	Réf.	B (g PS/m <sup>2</sup> ) fraction occupée	PH/PS	B (g PH/m <sup>2</sup> ) fraction occupée	Substrat		B (t/km <sup>2</sup> )
						Type	%	
BRACHYOURS	<i>Achaeus cranchii</i> + <i>Eurynome spinosa</i> + Autres Brachyours	97	2,5	3,9	9,75	R+H	37%	<b>3,61</b>
AMPHIPODES	–	92	1,2	4,5	5,4	R	7%	<b>0,38</b>
DECAPODES	–	92	3,2	4,4	14,08	R	7%	<b>0,99</b>
PETITS CRUSTACES	Faune vagile	35	4,5	4,8	21,6	S	100%	<b>21,60</b>
BIVALVES	<i>Pinna nobilis</i>	*	–	10,7	2	H+M	93%	<b>1,86</b>
CEPHALOPODES	<i>Octopus vulgaris</i> + Autres Céphalopodes	*	–	4,9	2	S	100%	<b>2,00</b>
GASTEROPODES	Gastéropodes + Opisthobranches + Chitons	92	27,2	8,5	231	R	7%	<b>16,18</b>
ETOILES	<i>Marthasterias glacialis</i>	35	0,2	3,5	0,7	S	100%	<b>0,70</b>
HOLOTHURIES	<i>Holothuria tubulosa</i> + <i>Holothuria polii</i>	35	7,55	10,1	76,26	S	100%	<b>76,26</b>
OURSINS	<i>Psammechinus microtuberculatus</i> + <i>Paracentrotus lividus</i>	35	33,3	3,1	103	R+H	37%	<b>38,20</b>
OPIHURES +	Ophiures	92	2	2,8	5,6	R	7%	<b>0,39</b>
SUSPENSIVORES	Bryozoaires + Hydrozoaires	92	7,2	5	36	R	7%	<b>2,52</b>
GORGONES	<i>Paramuricea clavata</i>	59	257,5	4,5	1159	R prof.	3,5%	<b>40,56</b>
VERS MARINS	Polychètes errants	92	4,8	5,3	25,44	R	7%	<b>1,78</b>
FORAMINIFERES	–	–	–	–	–	–	–	–
ZOOPLANCTON GRAND	Mysidacés + Euphausiacés + Appendiculaires + Amphipodes et Polychètes pélagiques + Larves de Décapodes	86	–	–	0,745	S	100%	<b>0,75</b>
ZOOPLANCTON PETIT	–	–	–	–	–	S	100%	–
POSIDONIES	feuilles + rhizomes + racines de <i>Posidonia oceanica</i> + épiphytes + feutrage algal	35	5000	5,7	28500	H	30%	<b>8550</b>
ALGUES SUPERFICIELLES	Rhodophycées + Phaeophycées + Chlorophycophytées + Autres	39	774,5	5,2	4027	R sup.	3,5%	<b>140,96</b>
ALGUES PROFONDES	Cystoseires	**	225	5,2	1170	R prof.	3,5%	<b>40,95</b>
PHYTOPLANCTON	–	–	–	–	–	–	–	–
DETRITUS	–	86	–	–	230,85	S	100%	<b>230,85</b>

**Annexe VII Tableau b : Références des données de biomasse des invertébrés**

n°	Référence	Site	Substrat	Profondeur
35	Francour, 1990	Port-Cros	Herbier	3 et 11 m
39	Frantzis et al., 1988	Port-Cros	Rocheux	0 à 2 m
59	Harmelin & Garrabou, 2005	Port-Cros	Rocheux	22 à 30 m
86	Pinnegar, 2000	Corse, Baie de Revellata	Rocheux	~ 5 m
92	Sala, 1997	Espagne, Iles Medes	Rocheux	6 à 9 m
97	Vadon, 1981	Villefranche-sur-mer	Herbier	12 m

Pour calculer les biomasses de chaque groupe trophique d'invertébré, il faut d'abord convertir en poids humide, les biomasses données en poids sec. Pour cela, on utilise des coefficients de conversion spécifiques à chaque groupe trophique.

**Annexe VII Tableau c : Coefficients de conversion de poids sec en poids humide PH/PS  
des groupes trophiques d'invertébrés**

(Référence n°80 : Opitz, 1996 ; n°18 : Cauffopé & H eymans, 2005)

GROUPE TROPHIQUE	Détail	PH/PS	Référence	
			n°80	n°18
BRACHYOURS	—	3,9	—	3,9
AMPHIPODES	—	4,5	4,0	5,0
DECAPODES	Décapodes	4,4	—	3,9
	Crevettes		3,8	—
	Palinuridés		5,6	—
PETITS CRUSTACES	Crustacés	4,8	—	4,4
	Isopodes		4,0	5,0
	Cirripèdes		—	15,2
	Cumacés		—	5,8
BIVALVES	—	10,7	10,0	11,5
CEPHALOPODES	—	4,9	—	4,9
GASTEROPODES	—	8,5	5,6	11,4
ETOILES	—	3,5	3,5	3,5
HOLOTHURIES	—	10,1	11,1	9,1
OURSINS	—	3,1	3,1	3,0
OPHIURES +	Ophiures	2,8	3,5	2,2
SUSPENSIVORES	Anthozoaires	5,0	5,9	6,2
	Ascidies		—	15,9
	Bryozoaires		—	5,0
	Porifères		3,3	5,4
GORGONES	—	4,5	4,5	—
POSIDONIES	—	5,7	5,7	—
ALGUES SUPERFICIELLES	—	5,2	5,7	4,8
ALGUES PROFONDES	—	5,2	5,7	4,8
VERS MARINS	Polychètes	5,3	5,0	5,2
	Annélides		—	5,3
	Sipunculiens		—	5,6

## **Annexe VIII : Calcul des ratios P/B et Q/B par groupe trophique d'invertébrés**

### **Annexe VIII Tableau a : Ratios Production/Biomasse P/B des groupes trophiques d'invertébrés**

(Référence (a) : Francour, 1990 ; (b) : Coll, 2005 ; (c) : Pinnegar, 2000 ; (d) : Opitz, 1996, \* : Mackinson, 1996)

GROUPE TROPHIQUE	Détail	P/B				choisi
		(a)	(b)	(c)	(d)	
BRACHYOURS	–	–	2,10	–	1,17	2,10
AMPHIPODES	–	–	–	9,00	2,41	9,00
DECAPODES	Crevettes	–	3,08	–	1,78	3,08
	Palinuridés	–	–	–	0,61	
PETITS CRUSTACES	Crustacés	4,00	–	20,21	2,65	4,00
	Isopodes	–	–	–	2,40	
BIVALVES	–	–	–	–	2,46	2,46
CEPHALOPODES	–	–	2,34	0,89	1,66	2,34
GASTEROPODES	Gastéropodes	–	–	1,91	2,65	1,91
	Chitons	–	–	–	0,34	
ETOILES	–	0,25	–	–	0,49	0,25
HOLOTHURIES	–	0,25	–	–	0,29	0,25
OURSINS	–	0,19	–	–	1,40	0,19
OPHIURES +	Ophiures	–	–	–	0,49	0,49
SUSPENSIVORES	Anthozoaires	–	–	–	1,09	1,70
	Bryozoaires	–	–	–	–	
	Hydrozoaires	–	–	–	–	
	Spongiaires	–	–	–	1,70	
	Ascidies	–	–	–	2,30	
GORGONES	–	–	–	–	0,08	0,08
FORAMINIFERES	–	–	–	150,00	10,00	150,00
ZOOPLANCTON GRAND	–	–	20,41	25,00	40,00	25,00
ZOOPLANCTON PETIT	–	–	20,87	50,00	40,00	50,00
POSIDONIES	–	0,30	–	–	15,38	0,30
ALGUES SUPERFICIELLES	–	–	–	1,57	30,80	4,43 *
ALGUES PROFONDES	–	–	–	1,57	–	4,43 *
PHYTOPLANCTON	–	–	37,91	112,65	70,00	112,65
VERS MARINS	Polychètes	–	1,82	3,36	4,14	1,82

### **Annexe VIII Tableau b : Ratios Consommation/Biomasse Q/B des groupes trophiques d'invertébrés**

(Référence (b) : Coll, 2005 ; (c) : Pinnegar, 2000 ; (d) : Opitz, 1996)

GROUPE TROPHIQUE	Détails	Q/B			choisi
		(b)	(c)	(d)	
BRACHYOURS	–	4,73	–	14,00	14,00
AMPHIPODES	–	–	21,74	107,63	107,63
DECAPODES	Crevettes	7,20	–	26,90	7,20
	Palinuridés	–	18,89	7,40	
PETITS CRUSTACES	Isopodes	–	92,60	33,40	33,40
	Tanaidacés	–	–	–	
BIVALVES	–	–	–	15,87	15,87
CEPHALOPODES	–	15,89	5,18	14,72	15,89
GASTEROPODES	Gastéropodes	–	10,71	21,13	10,71
	Chitons	–	–	11,70	
ETOILES	–	–	–	3,24	3,24
HOLOTHURIES	–	–	–	3,36	3,36
OURSINS	–	–	2,77	2,81	2,81
OPHIURES +	Ophiures	–	–	3,24	3,24
SUSPENSIVORES	Anthozoaires	–	–	9,00	14,84
	Ascidies	–	–	27,33	
	Bryozoaires	–	6,53	27,33	
	Hydrozoaires	–	–	–	
	Spongiaires	–	–	4,02	
GORGONES	–	–	–	9,00	9,00
FORAMINIFERES	–	–	300,00	30,00	300,00
ZOOPLANCTON GRAND	–	50,94	70,00	165,00	70,00
ZOOPLANCTON PETIT	–	48,85	170,00	165,00	170,00
VERS MARINS	Polychètes	11,53	19,26	61,60	11,53
	Annélides	–	–	–	

## **Annexe IX : Equilibrage des biomasses B et des ratios P/B et Q/B**

Nous décrivons dans cette Annexe les principales modifications apportées lors de l'équilibrage aux valeurs des paramètres de biomasse B et de ratios P/B et Q/B en entrée du modèle.

Pour les groupes supplémentaires « Raies » et « Pageots », la biomasse B n'est pas disponible, elle est donc estimée par le modèle, avec une EE fixée à 0,4. Ne disposant pas d'une valeur de biomasse, il est impossible de calculer la mortalité par pêche  $F=Y/B$  pour ces deux groupes. On fait donc l'hypothèse que la mortalité par pêche F est égale à la mortalité naturelle M. Le ratio Q/B des Pageots obtenu avec l'équation empirique de Palomares & Pauly (1998) semble trop faible. Il est en effet inférieur à celui estimé par notre modèle, avec un P/Q fixé à 0,3. Pour les Raies, le ratio Q/B est également estimé par le modèle (avec un P/Q fixé à 0,15), car il ne peut pas être calculé avec l'équation de Palomares & Pauly (1998), nécessitant une valeur du ratio A de forme de la queue.

Des ajustements des données d'entrée sont nécessaires pour les groupes ontogéniques des Mérous et des Saupes. Pour les groupes « Mérou », afin d'obtenir une biomasse totale égale à 4,994 t/km<sup>2</sup>, on fixe la biomasse du groupe « Mérou grand » à 4 et celles des petits et des moyens sont déduites par le modèle. Les valeurs de P/B et de Q/B des Mérous sont calculées sur le site fishbase.org (Froese & Pauly, FishBase, 2009) ou déduites par le modèle Ecopath. De même, pour les groupes « Saupe », afin d'obtenir une biomasse totale égale à 9,5 t/km<sup>2</sup>, on fixe celle du groupe « Saupe grande » à 4,15, et celle des petites est calculée par le modèle. Les valeurs de P/B des Saupes sont calculées à l'aide de la méthode empirique de Caddy (1991). Le Q/B des « Saupe grande » est obtenu avec l'équation empirique de Palomares & Pauly (1998), et celui des petites est calculé par le modèle.

La biomasse du groupe « Chinchards & Athérines + » est la plus forte de tous les groupes de poissons. La valeur obtenue initialement était de 60 t/km<sup>2</sup>, mais cette valeur apparaît beaucoup trop forte lors de l'équilibrage du modèle. Cela est dû à une surestimation de la biomasse des espèces *Atherina spp.* et *Trachurus spp.* (Francour, comm. pers.). La valeur de biomasse retenue correspond donc à la valeur initiale divisée par 4, ce qui reste toutefois nettement supérieur aux autres valeurs de biomasse. Lors de l'équilibrage, les biomasses des groupes « Amphipodes », « Décapodes », « Vers marins », « Gastéropodes », « Ophiures + » et « Suspensivores » obtenues à partir des données de Sala (1997) aux îles Medes, ne semblent pas correspondre aux biomasses présentes à Port-Cros. Ces six valeurs de biomasse sont donc estimées par le modèle (avec des EE respectivement fixées à 0,95 pour les trois premiers groupes et à 0,9 pour les autres groupes) et les valeurs obtenues sont nettement plus élevées. La biomasse du groupe « Bivalves » vaut 0,93 t/km<sup>2</sup> (Francour, comm. pers.), mais cette estimation semble trop faible lors de l'équilibrage du modèle. Donc la valeur retenue correspond à la valeur initiale multipliée par 2. De la même façon, la biomasse du groupe « Céphalopodes » vaut 1 t/km<sup>2</sup> (Francour, comm. pers.) et semble aussi trop faible lors de l'équilibrage. La valeur retenue correspond donc à la valeur initiale multipliée par 2,5. Ne disposant pas de données estimant la biomasse présente à Port-Cros des groupes « Foraminifères », « Zooplancton grand » et « Zooplancton petit », ces biomasses sont estimées par le modèle, avec des EE fixées à 0,95. La biomasse du groupe « Phytoplancton » est calculée à partir de la valeur de production primaire :  $P=175 \text{ g C/m}^2/\text{an}$  pour la Méditerranée occidentale (Chassot *et al.*, 2007). En divisant cette valeur, convertie en poids humide, par la valeur du ratio P/B, on obtient la biomasse de ce groupe.

Lors de l'équilibrage du modèle, les valeurs de Q/B des groupes « Amphipodes », « Etoiles de mer », « Holothuries », « Oursins » et « Gorgones » obtenues d'après les données de Opitz (1996), semblent trop fortes. Les Q/B de ces groupes estimés par le modèle (avec un P/Q fixé à 0,2 pour les amphipodes et à 0,15 pour les autres groupes) prennent effectivement des valeurs plus faibles. A l'inverse, le Q/B du groupe « Décapodes » (Coll *et al.*, 2006) (pour des crevettes au Sud de la Mer Catalane) semble trop faible, et il s'avère être inférieur à celui estimé par le modèle, avec un P/Q fixé à 0,25. Les valeurs des ratios P/B et Q/B du groupe « Suspensivores » sont obtenues par une moyenne de différentes données de Opitz (1996), correspondant aux divers taxons de ce groupe, et comportent donc une certaine incertitude. Ainsi, lors de l'équilibrage du modèle, la valeur du P/B est conservée, mais le Q/B est jugé trop incertain et il est estimé par le modèle, avec un P/Q fixé à 0,15. Le Q/B du groupe « Céphalopodes » (Coll *et al.*, 2006) semble également incertain et nous préférons le faire estimer par le modèle, avec un P/Q fixé à 0,3. Pour le groupe « Foraminifères », la valeur de P/B finalement retenue est une valeur intermédiaire entre les différentes valeurs proposées dans la littérature. De plus, pour ce groupe, le Q/B (Pinnegar, 2000) semble trop faible. Cependant, on obtient après équilibrage un Q/B estimé (avec un P/Q fixé à 0,3) très proche de celui donné.

## Annexe X : Compositions alimentaires DC des groupes trophiques

(en normal : valeurs avant équilibrage ; en gras : valeurs après équilibrage)

**Annexe X Tableau a : Compositions alimentaires DC (Partie 1/3)**

n°	Groupe Trophique	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Oiseaux marins							0,001					
2	Raies												
3	Pageots		0,195		0,045	0,031		0,014				0,050	
4	Mérou grand				<b>0,060</b>	<b>0,030</b>		<b>0,050</b>					
5	Mérou moyen							0,000					
6	Mérou petit							<b>0,010</b>					
7	Sériole et Denté +				0,000			0,008					
8	Chapon +				<b>0,006</b>								
9	Sars +				0,000			<b>0,010</b>					
10	Blennies +				0,040	0,031		0,016				0,040	
11	Rascasses et Serrans +				<b>0,180</b>	<b>0,035</b>		<b>0,054</b>					
12	Rouget +				0,031	0,100		0,005				0,010	
13	Syngnathes +				<b>0,020</b>	<b>0,025</b>		<b>0,003</b>				<b>0,001</b>	
14	Labres				0,040	0,031		0,007				0,010	
15	Gobies				<b>0,060</b>	<b>0,035</b>		<b>0,050</b>				<b>0,015</b>	
16	Chinchards et Athérines +		0,195		0,020	0,031		0,070	0,025			0,010	
17	Mulets				<b>0,008</b>	<b>0,028</b>		<b>0,020</b>	<b>0,002</b>			<b>0,001</b>	
18	Saupe grande				0,070	0,018		<b>0,005</b>	<b>0,001</b>				
19	Saupe petite				0,040	0,031		0,100	0,100			0,040	
20	Brachyours				<b>0,180</b>	<b>0,035</b>		<b>0,150</b>	<b>0,125</b>				
21	Amphipodes				0,031	0,100		0,037				0,010	0,001
22	Décapodes				<b>0,020</b>	<b>0,075</b>		<b>0,010</b>				<b>0,005</b>	
23	Petits Crustacés	0,004	0,195	0,028	0,045	0,033		0,142	0,227	0,678		0,166	
24	Bivalves				<b>0,030</b>	<b>0,040</b>		<b>0,150</b>	<b>0,200</b>	<b>0,600</b>		<b>0,190</b>	
25	Céphalopodes				0,045	0,031		0,080				0,040	
26	Gastéropodes				<b>0,060</b>	<b>0,030</b>		<b>0,060</b>					
27	Etoiles de mer				0,045	0,031		0,000	0,030			0,050	
28	Holothuries				<b>0,130</b>	<b>0,055</b>		<b>0,100</b>					
29	Oursins				0,000	0,031		0,075	0,000			0,000	
30	Ophiures +				<b>0,050</b>	<b>0,035</b>		<b>0,152</b>	<b>0,030</b>			<b>0,010</b>	
31	Suspensivores		0,024	0,080	0,095	0,334		0,242	0,017	0,061		0,460	0,060
32	Décapodes				<b>0,060</b>	<b>0,071</b>						<b>0,030</b>	0,006
33	Petits Crustacés				0,008			0,010	0,004	0,007	0,024	0,004	0,020
34	Bivalves				<b>0,016</b>						<b>0,080</b>		0,377
35	Décapodes		0,156	0,152				0,021	0,029	0,170	0,012	0,098	0,387
36	Petits Crustacés	0,002	0,011	0,050						<b>0,200</b>	<b>0,050</b>	0,032	<b>0,406</b>
37	Bivalves				0,045	0,031		0,080		0,002	0,031	0,032	0,019
38	Céphalopodes				<b>0,060</b>	<b>0,030</b>		<b>0,060</b>					0,040
39	Gastéropodes				0,045	0,031		0,000	0,030				0,050
40	Etoiles de mer				<b>0,130</b>	<b>0,055</b>		<b>0,100</b>					
41	Holothuries				0,000	0,031		0,075	0,000				0,000
42	Oursins				<b>0,050</b>	<b>0,035</b>		<b>0,152</b>	<b>0,030</b>				<b>0,010</b>
43	Ophiures +		0,024	0,080	0,095	0,334		0,242	0,017	0,061		0,460	0,060
44	Suspensivores				<b>0,060</b>	<b>0,071</b>						<b>0,030</b>	0,006
45	Gorgones				0,008			0,010	0,004	0,007	0,024	0,004	0,020
46	Foraminifères				<b>0,016</b>						<b>0,080</b>		0,377
47	Zooplancton grand		0,156	0,152				0,021	0,029	0,170	0,012	0,098	0,387
48	Zooplancton petit				<b>0,172</b>					<b>0,200</b>	<b>0,050</b>	0,032	<b>0,406</b>
49	Bivalves				0,045	0,031		0,080		0,002	0,031	0,032	0,019
50	Céphalopodes				<b>0,060</b>	<b>0,030</b>		<b>0,060</b>					0,040
51	Gastéropodes				0,045	0,031		0,000	0,030				0,050
52	Etoiles de mer				<b>0,130</b>	<b>0,055</b>		<b>0,100</b>					
53	Holothuries				0,000	0,031		0,075	0,000				0,000
54	Oursins				<b>0,050</b>	<b>0,035</b>		<b>0,152</b>	<b>0,030</b>				<b>0,010</b>
55	Ophiures +		0,024	0,080	0,095	0,334		0,242	0,017	0,061		0,460	0,060
56	Suspensivores				<b>0,060</b>	<b>0,071</b>						<b>0,030</b>	0,006
57	Gorgones				0,008			0,010	0,004	0,007	0,024	0,004	0,020
58	Foraminifères				<b>0,016</b>						<b>0,080</b>		0,377
59	Zooplancton grand		0,156	0,152				0,021	0,029	0,170	0,012	0,098	0,387
60	Zooplancton petit				<b>0,172</b>					<b>0,200</b>	<b>0,050</b>	0,032	<b>0,406</b>
61	Bivalves				0,045	0,031		0,080		0,002	0,031	0,032	0,019
62	Céphalopodes				<b>0,060</b>	<b>0,030</b>		<b>0,060</b>					0,040
63	Gastéropodes				0,045	0,031		0,000	0,030				0,050
64	Etoiles de mer				<b>0,130</b>	<b>0,055</b>		<b>0,100</b>					
65	Holothuries				0,000	0,031		0,075	0,000				0,000
66	Oursins				<b>0,050</b>	<b>0,035</b>		<b>0,152</b>	<b>0,030</b>				<b>0,010</b>
67	Ophiures +		0,024	0,080	0,095	0,334		0,242	0,017	0,061		0,460	0,060
68	Suspensivores				<b>0,060</b>	<b>0,071</b>						<b>0,030</b>	0,006
69	Gorgones				0,008			0,010	0,004	0,007	0,024	0,004	0,020
70	Foraminifères				<b>0,016</b>						<b>0,080</b>		0,377
71	Zooplancton grand		0,156	0,152				0,021	0,029	0,170	0,012	0,098	0,387
72	Zooplancton petit				<b>0,172</b>					<b>0,200</b>	<b>0,050</b>	0,032	<b>0,406</b>
73	Bivalves				0,045	0,031		0,080		0,002	0,031	0,032	0,019
74	Céphalopodes				<b>0,060</b>	<b>0,030</b>		<b>0,060</b>					0,040
75	Gastéropodes				0,045	0,031		0,000	0,030				0,050
76	Etoiles de mer				<b>0,130</b>	<b>0,055</b>		<b>0,100</b>					
77	Holothuries				0,000	0,031		0,075	0,000				0,000
78	Oursins				<b>0,050</b>	<b>0,035</b>		<b>0,152</b>	<b>0,030</b>				<b>0,010</b>
79	Ophiures +		0,024	0,080	0,095	0,334		0,242	0,017	0,061		0,460	0,060
80	Suspensivores				<b>0,060</b>	<b>0,071</b>						<b>0,030</b>	0,006
81	Gorgones				0,008			0,010	0,004	0,007	0,024	0,004	0,020
82	Foraminifères				<b>0,016</b>						<b>0,080</b>		0,377
83	Zooplancton grand		0,156	0,152				0,021	0,029	0,170	0,012	0,098	0,387
84	Zooplancton petit				<b>0,172</b>					<b>0,200</b>	<b>0,050</b>	0,032	<b>0,406</b>
85	Bivalves				0,045	0,031		0,080		0,002	0,031	0,032	0,019
86	Céphalopodes				<b>0,060</b>	<b>0,030</b>		<b>0,060</b>					0,040
87	Gastéropodes				0,045	0,031		0,000	0,030				0,050
88	Etoiles de mer				<b>0,130</b>	<b>0,055</b>		<b>0,100</b>					
89	Holothuries				0,000	0,031		0,075	0,000				0,000
90	Oursins				<b>0,050</b>	<b>0,035</b>		<b>0,152</b>	<b>0,030</b>				<b>0,010</b>
91	Ophiures +		0,024	0,080	0,095	0,334		0,242	0,017	0,061		0,460	0,060
92	Suspensivores				<b>0,060</b>	<b>0,071</b>						<b>0,030</b>	0,006
93	Gorgones				0,008			0,010	0,004	0,007	0,024	0,004	0,020
94	Foraminifères				<b>0,016</b>						<b>0,080</b>		0,377
95	Zooplancton grand		0,156	0,152				0,021	0,029	0,170	0,012	0,098	0,387
96	Zooplancton petit				<b>0,172</b>					<b>0,200</b>	<b>0,050</b>	0,032	<b>0,406</b>
97	Bivalves				0,045	0,031		0,080		0,002	0,031	0,032	0,019
98	Céphalopodes				<b>0,060</b>	<b>0,030</b>		<b>0,060</b>					0,040
99	Gastéropodes				0,045	0,031		0,000	0,030				0,050
100	Etoiles de mer				<b>0,130</b>	<b>0,055</b>		<b>0,100</b>					

### Annexe X Tableau b : Compositions alimentaires DC (Partie 2/3)

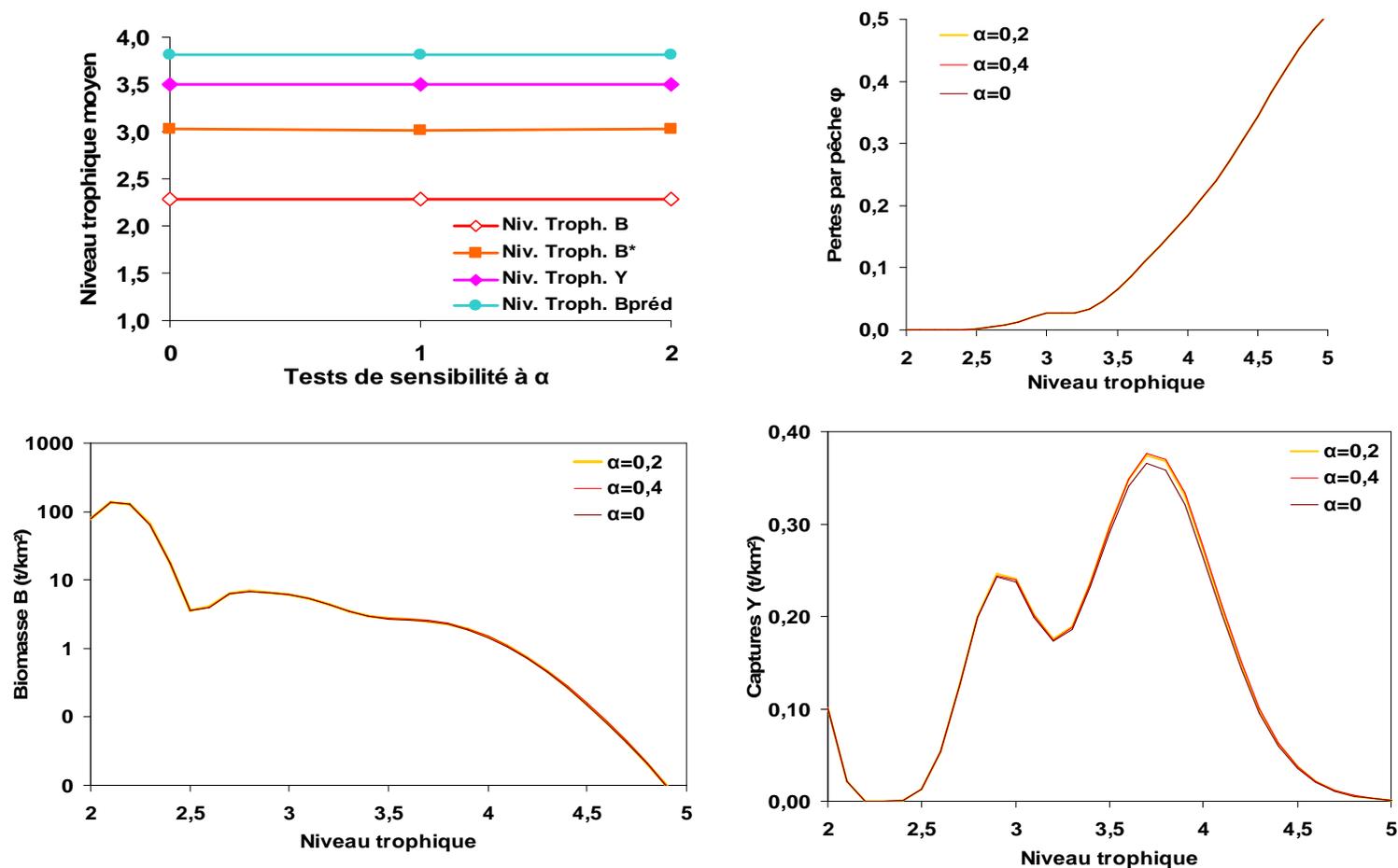
n°	Groupe Trophique	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Oiseaux marins												
2	Raies												
3	Pageots												
4	Mérou grand												
5	Mérou moyen												
6	Mérou petit												
7	Sériole et Denté +												
8	Chapon +												
9	Sars +												
10	Blennies +												
11	Rascasses et Serrans +												
12	Rouget +												
13	Syngnathes +												
14	Labres												
15	Gobies												
16	Chinchards et Athérines +												
17	Mulets												
18	Saupe grande												
19	Saupe petite												
20	Brachyoures		0,013	0,037					0,005		0,001		
21	Amphipodes	0,096	0,017	0,089	0,160				0,263		0,262		
			<b>0,030</b>		<b>0,100</b>						<b>0,280</b>		
22	Décapodes	0,523	0,117	0,216	0,010				0,091		0,095		
			<b>0,140</b>		<b>0,020</b>				<b>0,095</b>		<b>0,010</b>		
23	Petits Crustacés	0,006	0,034	0,062	0,169	0,025			0,188		0,188	0,100	0,024
					<b>0,030</b>						<b>0,125</b>	<b>0,008</b>	
24	Bivalves		0,080	0,029					0,037		0,001	0,020	
			<b>0,010</b>						<b>0,010</b>			<b>0,001</b>	
25	Céphalopodes		0,030		0,016								
			<b>0,010</b>		<b>0,002</b>								
26	Gastéropodes		0,200	0,068		0,025			0,066		0,066		
			<b>0,225</b>						<b>0,085</b>				
27	Etoiles de mer								0,001				
28	Holothuries								0,001		0,003		
											<b>0,004</b>		
29	Oursins		0,020	0,013					0,002				
			<b>0,024</b>										
30	Ophiures +	0,001	0,003	0,003					0,001		0,003		
											<b>0,002</b>		
31	Suspensivores		0,005	0,001	0,001						0,036		
32	Gorgones												
33	Foraminifères		0,002						0,003	0,218	0,003	0,018	0,164
										<b>0,000</b>		<b>0,036</b>	<b>0,200</b>
34	Zooplancton grand	0,128	0,002	0,060	0,200	0,100			0,015		0,015	0,020	0,011
			<b>0,020</b>								<b>0,028</b>	<b>0,000</b>	<b>0,020</b>
35	Zooplancton petit	0,113	0,033	0,200	0,040	0,050			0,063	0,027	0,033	0,018	0,061
			<b>0,040</b>		<b>0,050</b>					<b>0,050</b>	<b>0,060</b>	<b>0,036</b>	<b>0,100</b>
36	Posidonies						1,000	0,300					
								<b>0,400</b>					
37	Algues superficielles		0,001	0,024	0,010	0,122		0,600	0,069		0,069	0,444	
								<b>0,450</b>				<b>0,200</b>	
38	Algues profondes											0,000	
												<b>0,050</b>	
39	Phytoplancton								0,001	0,343	0,030	0,036	0,429
									<b>0,005</b>	<b>0,100</b>	<b>0,010</b>		<b>0,400</b>
40	Vers marins	0,018	0,080	0,190	0,075				0,012		0,012	0,020	
			<b>0,100</b>		<b>0,080</b>							<b>0,030</b>	
41	Détritus	0,115	0,363	0,008	0,119	0,678		0,100	0,182	0,412	0,183	0,324	0,311
			<b>0,343</b>		<b>0,057</b>			<b>0,150</b>		<b>0,850</b>	<b>0,293</b>	<b>0,603</b>	<b>0,256</b>
	Importation				0,200								
					<b>0,450</b>								

**Annexe X Tableau c : Compositions alimentaires DC (Partie 3/3)**

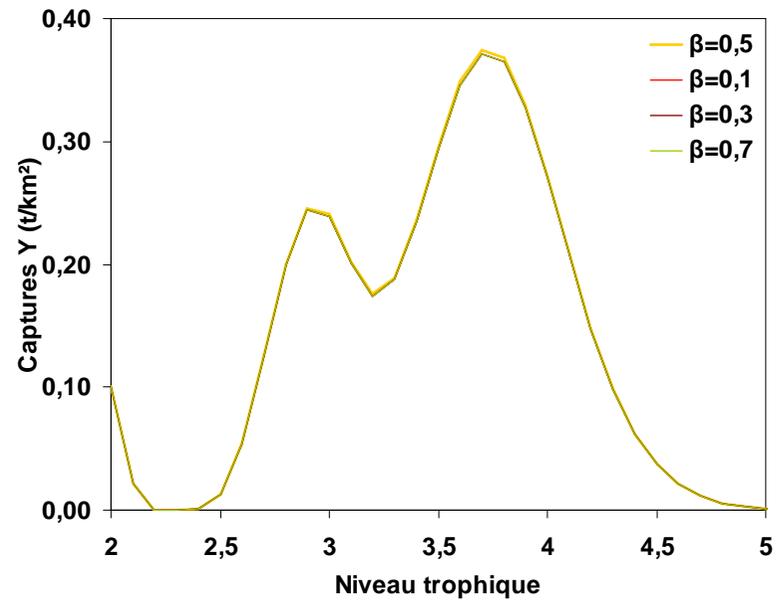
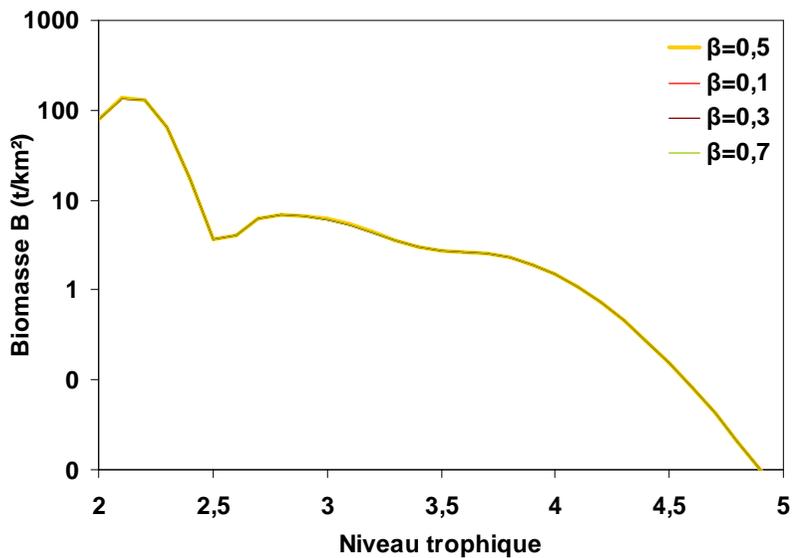
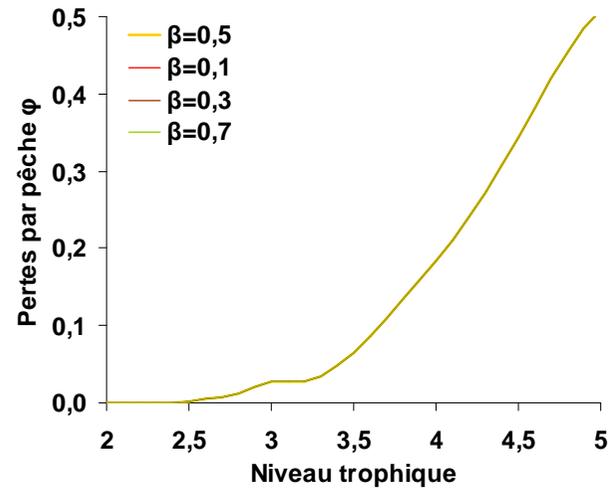
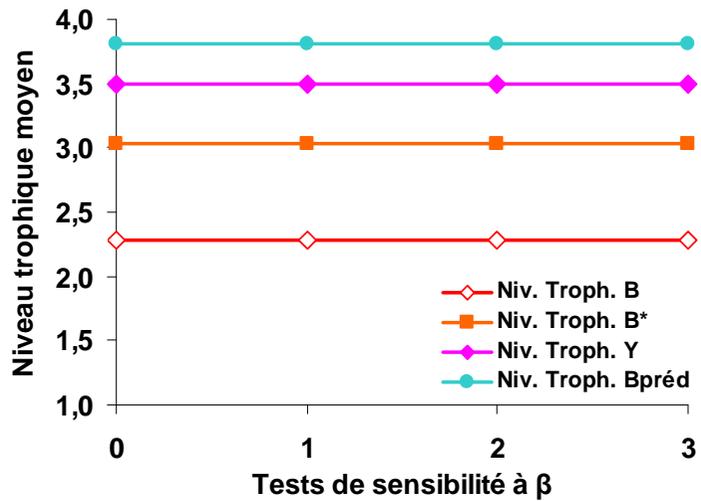
n°	Groupe Trophique	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	40
1	Oiseaux marins												
2	Raies												
3	Pageots												
4	Mérou grand												
5	Mérou moyen												
6	Mérou petit												
7	Sériole et Denté +												
8	Chapon +												
9	Sars +												
10	Blennies +												
11	Rascasses et Serrans +												
12	Rouget +												
13	Syngnathes +												
14	Labres												
15	Gobies												
16	Chinchards et Athérines +	0,100											
17	Mulets												
18	Saupe grande												
19	Saupe petite												
20	Brachyoures	0,010	0,001										
21	Amphipodes		0,002		0,020		0,058						0,048
22	Décapodes	0,180	0,001 <b>0,006</b>										
23	Petits Crustacés	0,200	0,005	0,058	0,005	0,004	0,006	0,024 <b>0,004</b>					0,054 <b>0,010</b>
24	Bivalves	0,100 <b>0,040</b>	0,001	0,006			0,001						0,050 <b>0,000</b>
25	Céphalopodes	0,050											
26	Gastéropodes	0,100 <b>0,120</b>	0,050 <b>0,001</b>	0,116									0,050 <b>0,060</b>
27	Etoiles de mer		0,005 <b>0,000</b>										
28	Holothuries			0,006									
29	Oursins		0,005 <b>0,002</b>	0,006									
30	Ophiures +		0,004 <b>0,001</b>	0,006									
31	Suspensivores	0,160 <b>0,200</b>	0,145 <b>0,130</b>	0,116		0,042	0,058						0,000 <b>0,030</b>
32	Gorgones		0,005 <b>0,001</b>										
33	Foraminifères		0,010 <b>0,000</b>		0,050	0,004	0,058	0,164 <b>0,160</b>	0,150 <b>0,070</b>		0,102 <b>0,050</b>	0,341 <b>0,100</b>	0,010
34	Zooplancton grand	0,060	0,000 <b>0,005</b>		0,020			0,011 <b>0,010</b>	0,150 <b>0,050</b>		0,051 <b>0,070</b>		
35	Zooplancton petit	0,040	0,010	0,001	0,050			0,061 <b>0,100</b>	0,150 <b>0,050</b>		0,102 <b>0,200</b>		0,054 <b>0,055</b>
36	Posidonies		0,150			0,300							
37	Algues superficielles		0,180 <b>0,200</b>	0,116		0,459	0,116				0,026		
38	Algues profondes		<b>0,050</b>										
39	Phytoplancton		0,010		0,050	0,007		0,429 <b>0,400</b>	0,150 <b>0,070</b>	0,364 <b>0,300</b>	0,204 <b>0,200</b>	0,653 <b>0,600</b>	0,075
40	Vers marins		0,084 <b>0,085</b>	0,058 <b>0,050</b>	0,005		0,058						0,048 <b>0,024</b>
41	Détritus		0,332 <b>0,340</b>	0,511 <b>0,519</b>	0,800	0,184	0,645	0,311 <b>0,326</b>	0,400 <b>0,760</b>	0,636 <b>0,700</b>	0,515 <b>0,454</b>	0,006 <b>0,300</b>	0,611 <b>0,698</b>
	Importation												

## Annexe XI : Analyse de sensibilité du modèle EcoTroph

Afin d'analyser la robustesse du modèle, nous procédons à une analyse de sensibilité à deux paramètres :  $\alpha$  et  $\beta$ . Le paramètre  $\alpha$  correspond au contrôle *top down* et le paramètre  $\beta$  correspond au recyclage de la biomasse par la boucle microbienne de la boîte détritique (Gascuel *et al.*, 2009). Ces paramètres ont des valeurs par défaut respectivement fixées à 0,2 et 0,5. Nous avons donc étudié l'influence de la valeur de ces paramètres sur le modèle en testant les valeurs 0 et 0,4 pour  $\alpha$ , et les valeurs 0,1 ; 0,3 et 0,7 pour  $\beta$ , pour le scénario n°5.



Annexe XI Figure a : Analyse de sensibilité au paramètre alpha  $\alpha$



**Annexe XI Figure b : Analyse de sensibilité au paramètre béta  $\beta$**

	Pôle Halieutique : Spécialisation ou spécialité <b>SHA</b> dominante <b>REA</b> Enseignant responsable : <b>Olivier Le Pape</b>	Cadre réservé à la bibliothèque centrale
Auteur(s) : <b>Audrey Valls</b>	Organisme d'accueil : <b>Agrocampus Ouest Laboratoire d'Ecologie Halieutique</b>	
Nb pages : <b>35 p.</b> Annexe(s) : <b>21 p.</b>	Adresse : <b>65 rue de St-Brieuc - CS 84215 35042 RENNES – Cedex - France</b>	
Année de soutenance : <b>2009</b>	Maître de stage : <b>Didier Gascuel</b>	
Titre : <b>Evaluation de l'efficacité des AMP par modélisation du fonctionnement trophique de l'écosystème : cas du Parc national de Port-Cros, en Méditerranée.</b>		
Résumé : <p>Les Aires Marines Protégées (AMP) sont considérées comme un outil majeur pour la gestion des stocks halieutiques dans le cadre de l'Approche Ecosystémique des Pêches. Cependant, les gestionnaires disposent assez rarement d'une évaluation objective de l'efficacité de ces AMP d'un point de vue halieutique. L'objectif de cette étude, menée dans le cadre du projet de recherche AMPHORE, est d'évaluer l'impact de l'AMP du Parc national de Port-Cros, en Méditerranée, sur le fonctionnement trophique de l'écosystème sous-jacent. Cette zone protégée dispose d'une importante biodiversité et fait l'objet d'un suivi scientifique, approfondi et ancien, de l'essentiel de ses compartiments biologiques et des activités humaines de prélèvement qui y sont pratiquées. Dans un premier temps, un modèle trophodynamique Ecopath est construit, visant à proposer une synthèse cohérente des connaissances acquises sur le fonctionnement de cette aire marine protégée. Ce modèle compte 41 groupes, dont 18 groupes de poissons. Il repose sur des données provenant de comptages visuels en plongée, de chalutages et d'analyses de contenus stomacaux. Nous cherchons ensuite à mesurer l'effet réserve en simulant, à l'aide des routines EcoTroph, différents scénarios de pêche, et en quantifiant leurs effets sur les biomasses et la biodiversité trophique de l'écosystème. Nous nous intéressons enfin à la robustesse de cette démarche de modélisation par une analyse de sensibilité du modèle EcoTroph.</p>		
Abstract : <p><i>The establishment of Marine Protected Areas (MPAs) is a strongly advocated tool to fishing stocks management with the Ecosystem Approach to Fisheries (EAF). Nevertheless, managers rarely have an objective evaluation of the effectiveness of the MPAs concerning fishing. The aim of this study, making part of AMPHORE research project, is to evaluate the impact of the Port-Cros national Park, in the Mediterranean Sea, upon the ecosystem trophic functioning. This MPA has an important biodiversity. Moreover, major biologic groups and fishing human activities have been strongly studied by scientists for a long time in this marine reserve. First, we built an Ecopath mass-balanced model with the aim of synthesising data available on this marine ecosystem. The Ecopath model comprised 41 functional groups, including 18 groups of fishes. Data were collected from diving counts, trawling and stomach contents analysis. Then, we explored fishing impact by simulating, with EcoTroph routines, different scenarios of fishing, and by quantifying effects upon biomass and trophic biodiversity. Finally, we studied the robustness of our modelling approach by a sensitiveness analysis with EcoTroph.</i></p>		
Mots-clés : <b>AMP, pêche, Port-Cros, Ecopath, EcoTroph</b>  Key-words : <b>MPA, fishing, Port-Cros, Ecopath, EcoTroph</b>	<b>Diffusion :</b> <input type="checkbox"/> Non limitée <input type="checkbox"/> Limitée (préciser au verso)	

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

Date : \_\_\_\_\_ Signature :