



# Des modèles écosystémiques pour évaluer les effets des AMPs : démarches et enseignements du projet Amphore



Didier Gascuel,  
Camille Albouy, Timothée Brochier, Mathieu Colléter, Patrice Francour, Sylvie Guénette, François Le Loch, Beyah Meissa, Luis Tito de Morais, Audrey Valls



# Objectifs et approches

- Modélisation du fonctionnement trophique au sein de 3 AMP
  - Port-Cros (Méditerranée, France)
  - Bouches de Bonifacio (Méditerranée, France)
  - Bolong de Bamboung (Sine Saloum, Sénégal)
- Modèles Ecopath (situation moyenne) : synthèse des connaissances acquises sur le fonctionnement des écosystèmes
- Modèles de simulation EcoTroph : comparaison des modèles, simulations de différents scénarios d'impact de la pêche, évaluation de l'effet réserve
- Modèle Osmose : une approche différente pour représenter le fonctionnement de l'écosystème Bamboung

Port-Cros (Source: Audrey Valls)



Bouches de Bonifacio (Source: RNBB)



Bamboung (Source: Colléter Mathieu)





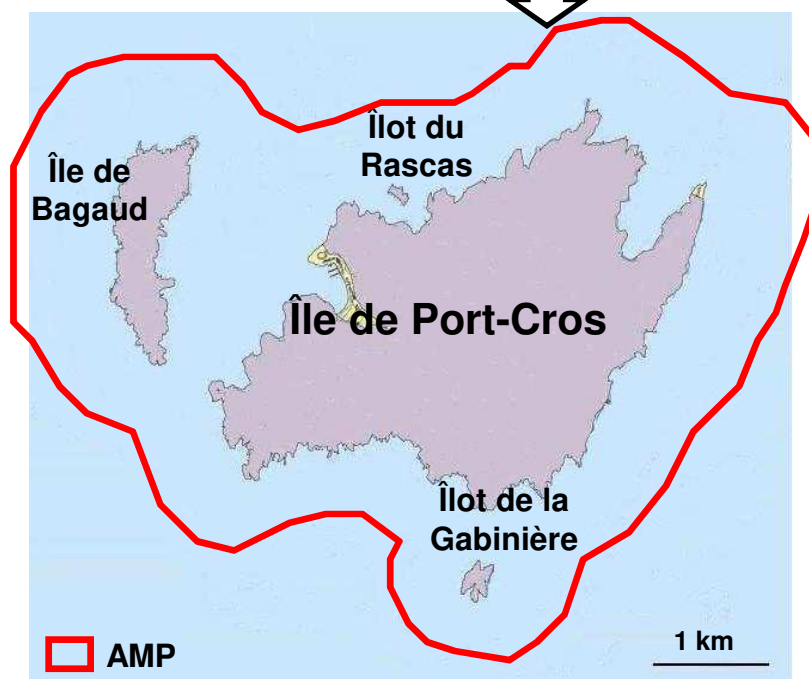
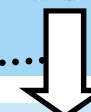
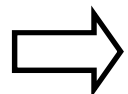
# Objectifs et approches

- Modélisation de l'écosystème « Plateau continental de Mauritanie » (dont AMP du Banc d'Arguin)
  - Évaluation de la contribution du Banc d'Arguin au fonctionnement de l'écosystème marin de Mauritanie : modèle Ecopath
  - Évaluation de l'effet réserve : Simulation Ecosim d'une flottille opérant dans le Banc et la destruction des habitats du Banc



# Réserve marine de Port Cros

(Valls, Gascuel, Guénette, Francours - MEPS, 2012)



**Superficie** : 13 km<sup>2</sup> maritimes  
(= bande de 600 m autour des îles)

## Ancienneté :

1963 : Parc national marin

2006 : AMP

## Pêche :

- petite pêche, traditionnelle et sélective
- bateaux < 12 m
- filets dormants : 50 m maximum





# Réserve marine de Port Cros

- 18 groupes trophiques de poissons

Mériou  
Raies  
Sériole & Denté  
Chapon  
**Carnivores**  
**Piscivores**

Rascasses & Serrans  
Rouget  
Labres  
Syngnathes  
Gobies  
**Carnivores**  
**Invertivores**

Chinchards & Athérines  
**Zooplanctivores**

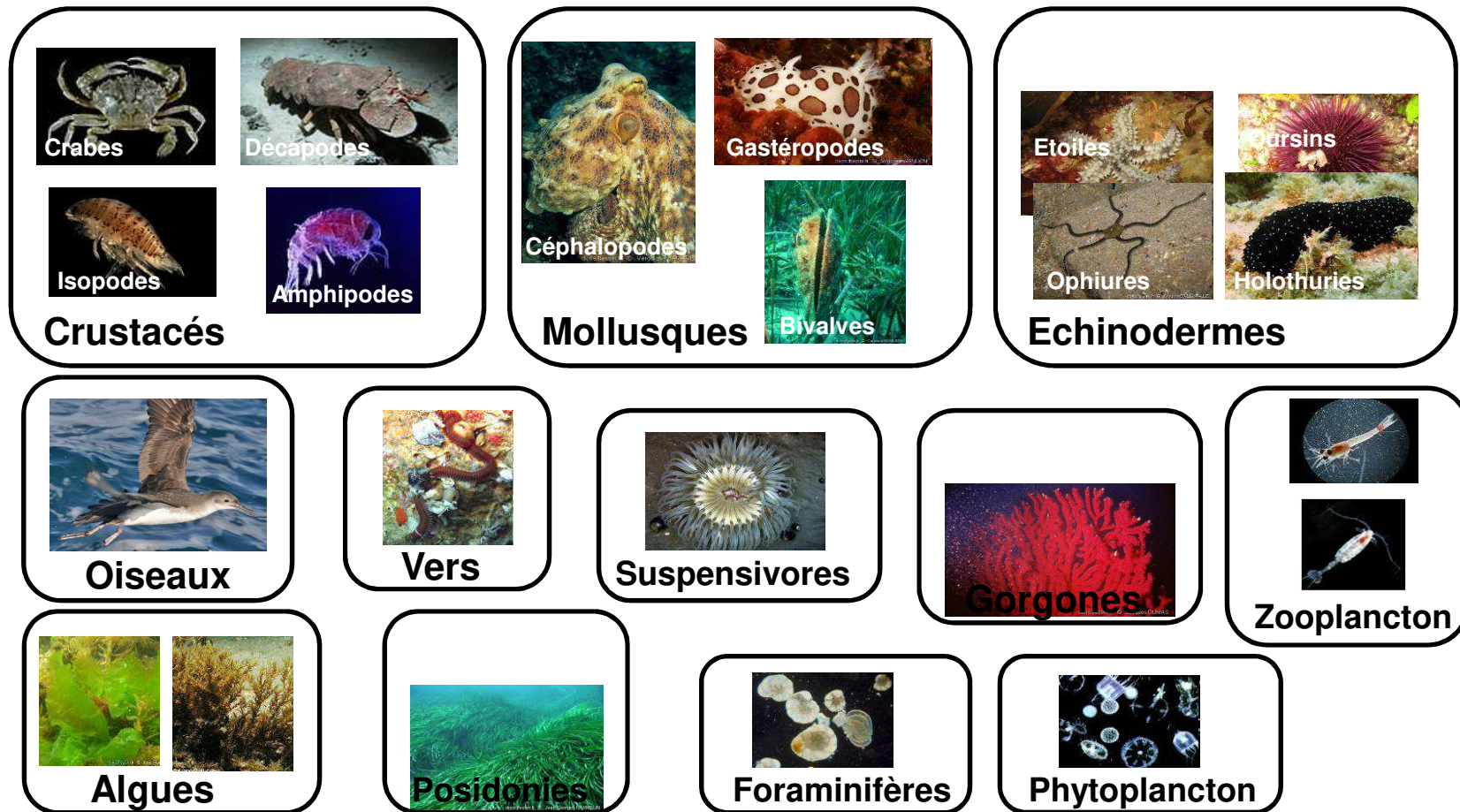
Sars  
Pageots  
Blennies  
**Omnivores**

Mulets  
**Détritivores**

Saupes  
**Herbivores**

# Réserve marine de Port Cros

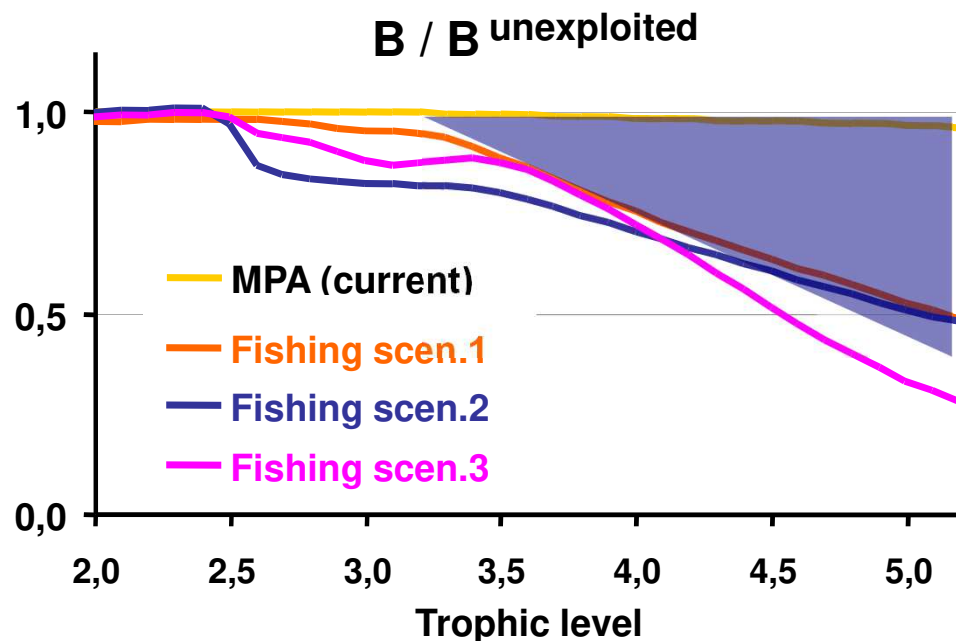
- 22 groupes trophiques invertébrés et producteurs primaires + Détritus





# Réserve marine de Port Cros

## Modélisation EcoTroph de l'effet réserve



### Les effets de l'AMP :

- Augmentation des biomasses des hauts TL
- Augmentation de la biodiversité fonctionnelle
- Augmentation de la stabilité

(Valls, *et al.*, in press, MEPS)

	Total Biomass	Biomass predat.	Mean TL of tot.B	Mean TL of pred.B
<b>Unexploit.</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>2,29</b>	<b>3,69</b>
<b>MPA</b>	<b>1,00</b>	<b>0,99</b>	<b>2,29</b>	<b>3,69</b>
<b>scenario 1</b>	<b>0,99</b>	<b>0,86</b>	<b>2,28</b>	<b>3,66</b>
<b>scenario 2</b>	<b>1,00</b>	<b>0,78</b>	<b>2,26</b>	<b>3,67</b>
<b>scenario 3</b>	<b>1,00</b>	<b>0,83</b>	<b>2,27</b>	<b>3,66</b>



# Réserve marine de Port Cros

- Estimation des exports potentiels de biomasse :
  - ✓ Estimation sous l'hypothèse que toute la production non utilisée dans le système est exportée (EE=0.95),
  - ✓ pour les 12 groupes aptes à émigrer
  - ✓ + sensibilité à l'estimation des imports (alimentation hors réserve)

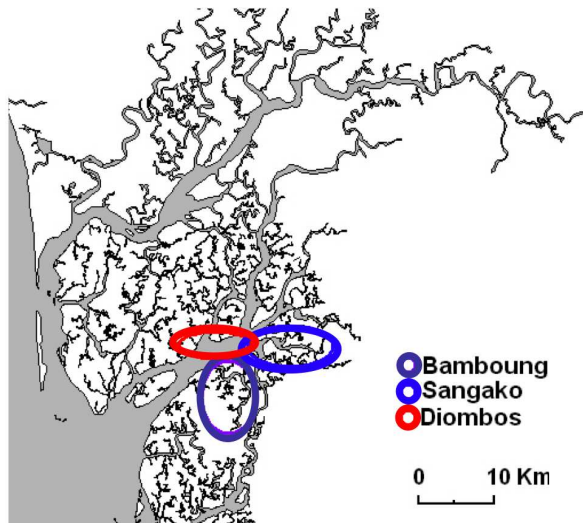
#	Group name	per surface unit		for the whole MPA
		<i>P</i>	Pot.emigr.	Pot.emigr.
2	Rays	0.01	0.00	0.05
4	Dusky grouper - medium	0.19	0.04	0.55
5	Dusky grouper - small	0.38	0.21	2.69
6	Amberjack+	1.35	1.14	14.68
7	Red scorpionfish+	0.25	0.07	0.93
8	Scorpionfishes+	2.57	1.70	21.87
14	Diplodus+	1.82	0.53	6.81
16	Horse mackerels+	11.12	0.37	4.71
17	Mullet	2.04	0.72	9.33
18	Salema - adults	1.37	1.13	14.57
19	Salema - small	3.34	1.75	22.58
20	Cephalopods	7.02	0.02	0.19
	Total	31.47	7.68	98.97





# AMP du Bolong de Bambang

(Colleter, Gascuel, Ecoutin, De Morais – Ecol. Mod., 2012)



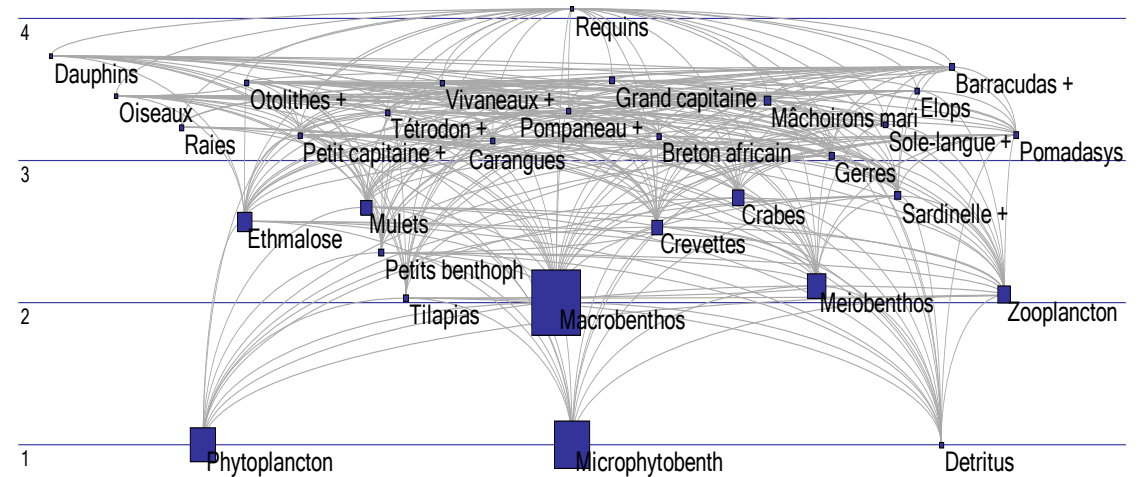
- Superficie : 7 km<sup>2</sup>
- Fermeture de la pêche en 2004 (et suivi scientifique annuel)



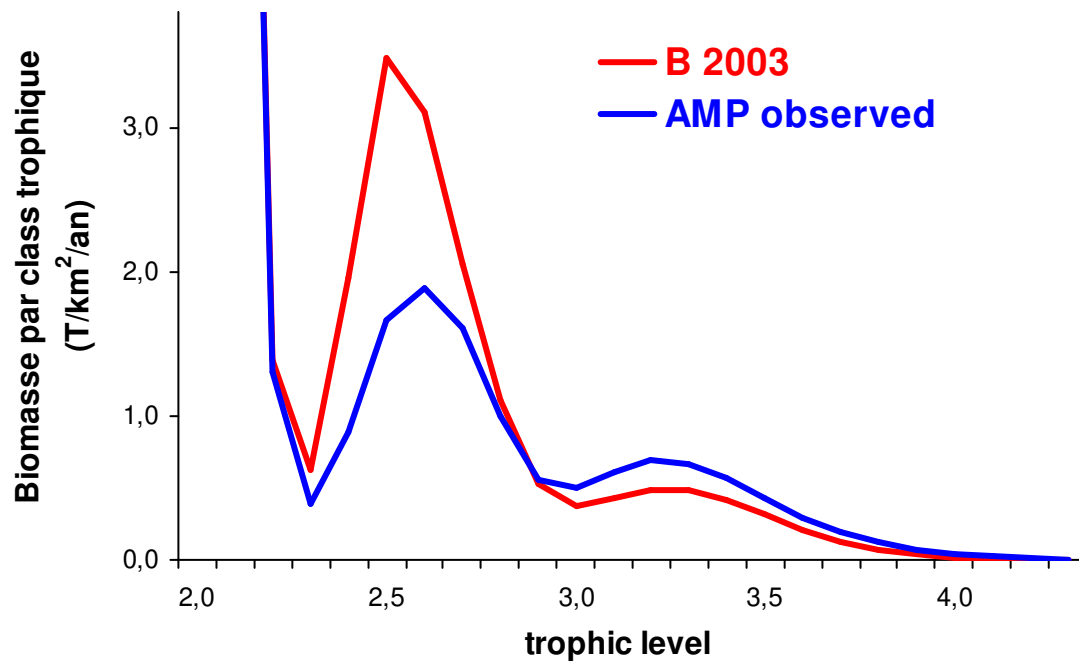


# AMP du Bolong de Bamboung

- Augmentation d'abondance des prédateurs supérieurs
- Baisse des espèces fourrages



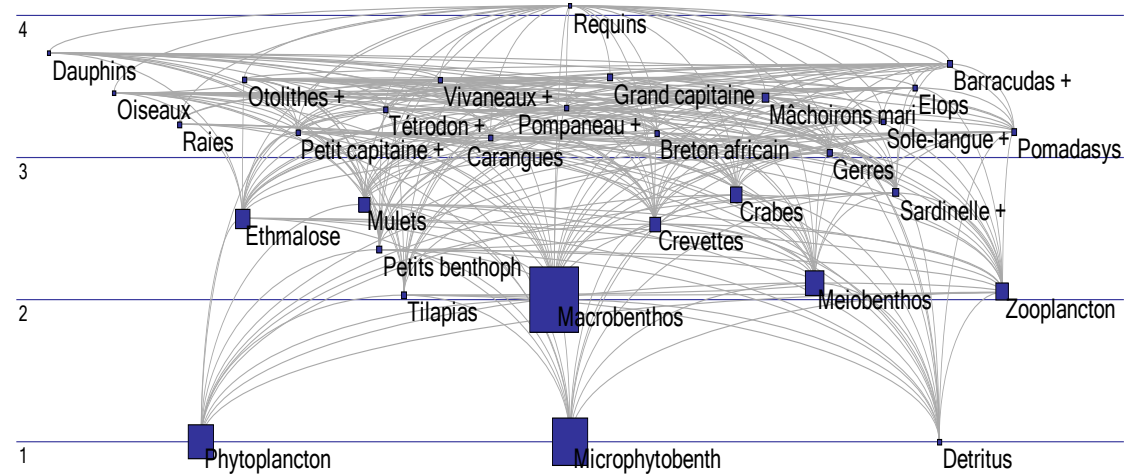
Colléter et al., in press, Ecol.Model.



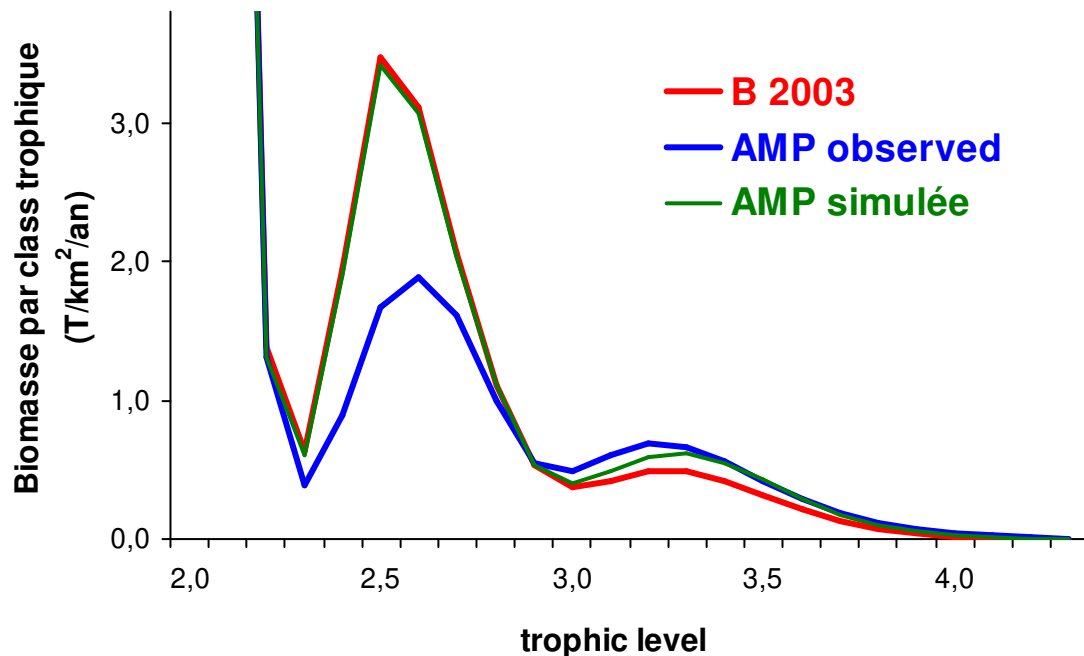


# AMP du Bolong de Bamboung

- Augmentation d'abondance des prédateurs supérieurs
- Baisse des espèces fourrages



Colléter et al., in press, Ecol.Model.



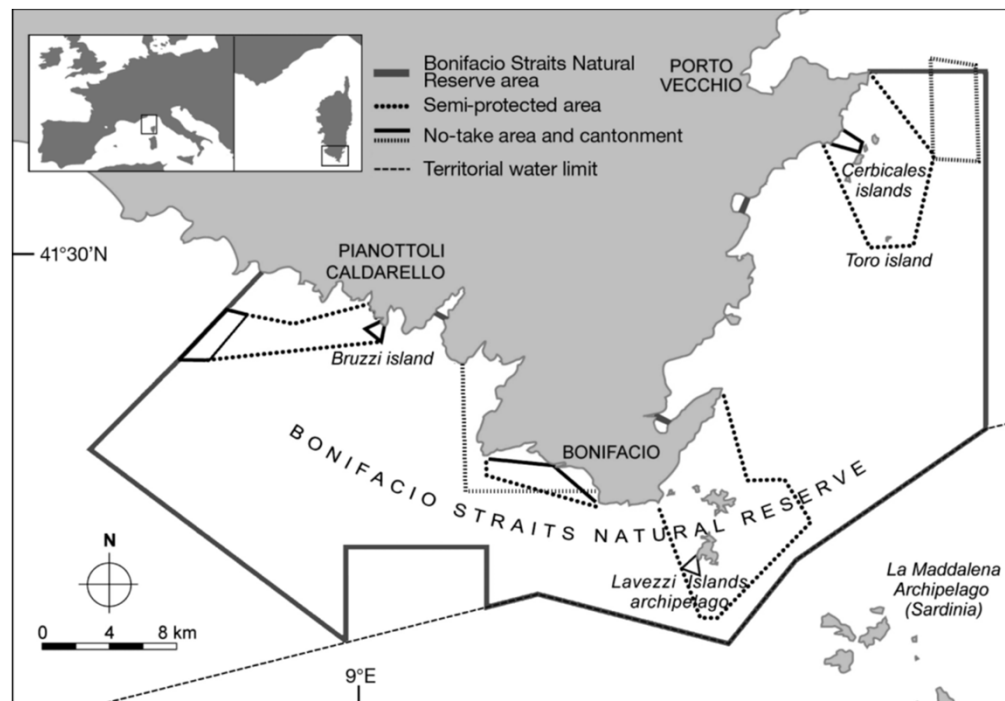
- Le modèle montre que ces changements découlent :
  - d'une ré-organisation du réseau trophique,
  - d'un effet refuge (pour les prédateurs)
  - d'effets environnementaux indépendants de la mise en réserve



# Réserve des Bouches de Bonifacio

(Albouy, Mouillot, Rocklin, Culioli, Le Loch – MEPS, 2010)

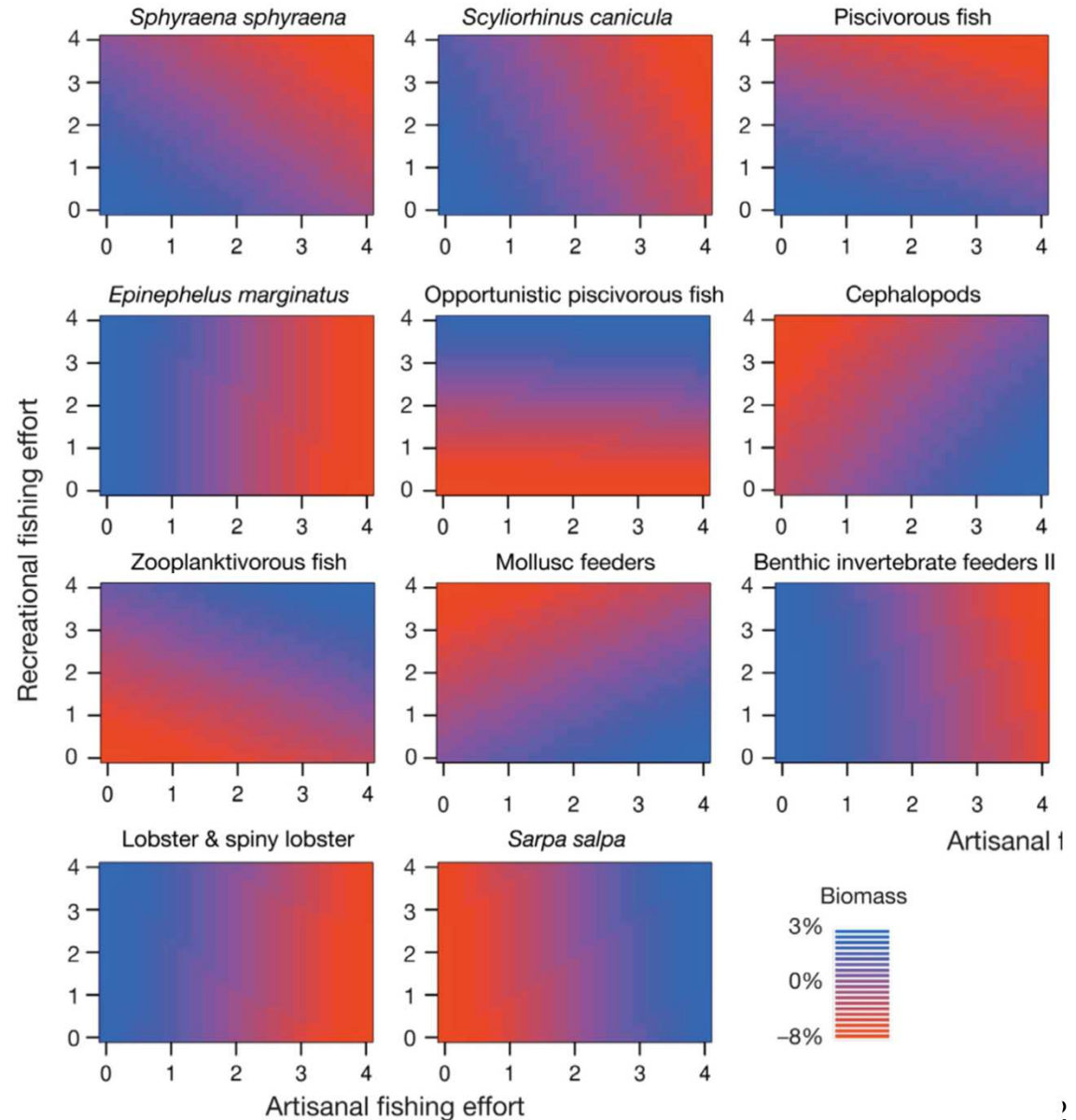
- Une aire à usages multiples :
  - 800 km<sup>2</sup>,
  - zone semi-protégée 120 km<sup>2</sup>
  - réserve 12 km<sup>2</sup>
- Interaction : pêche artisanale, pêche récréative





# Réserve des Bouches de Bonifacio

- Mise en évidence des espèces sensibles :
  - À la pêche artisanale
  - A la pêche récréative
  - Au deux
- Certaines espèces «bénéficient» de la pêche



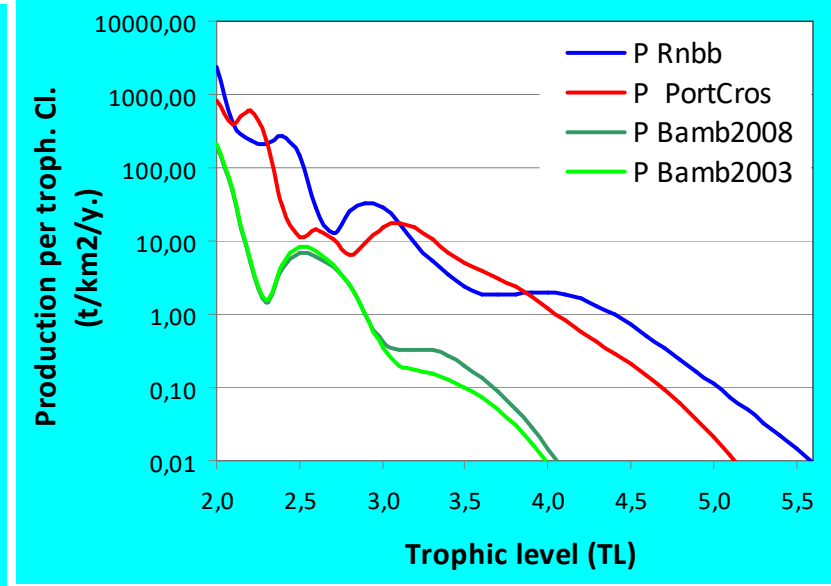
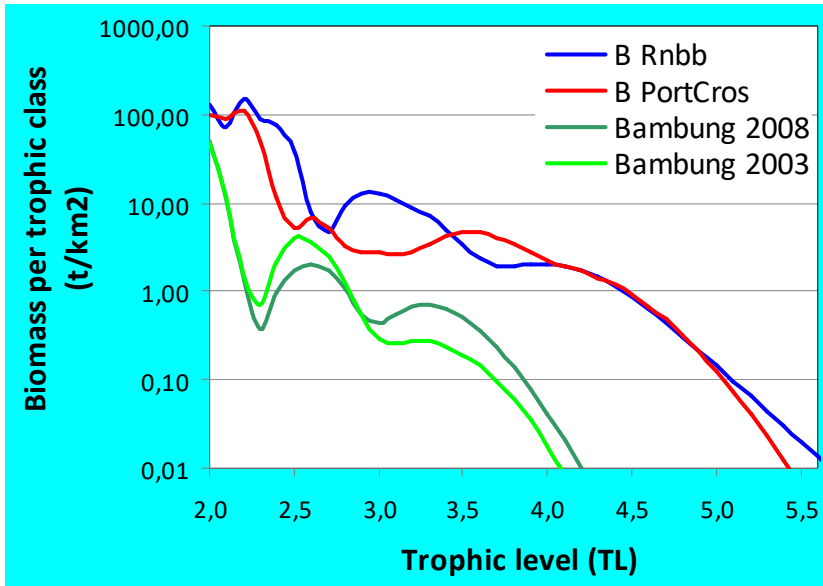
Albouy et al.,  
2010, MEPS



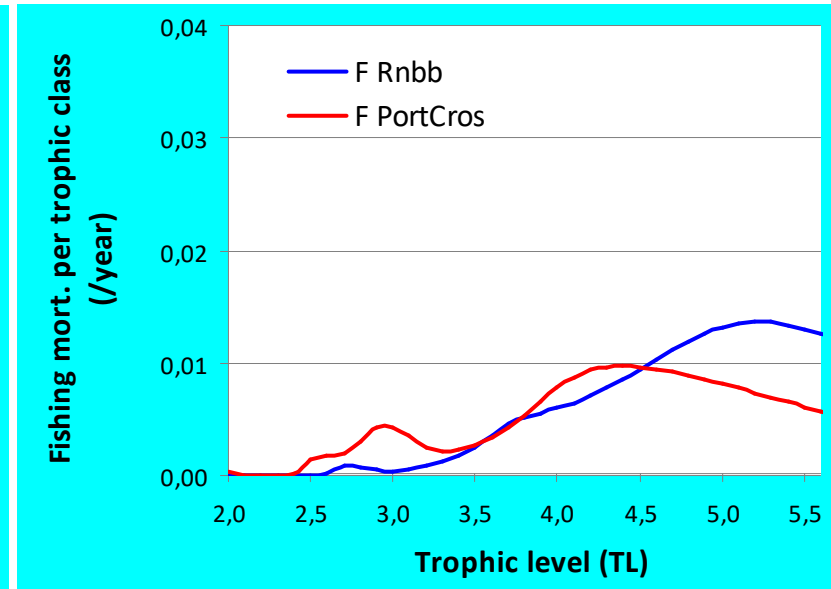
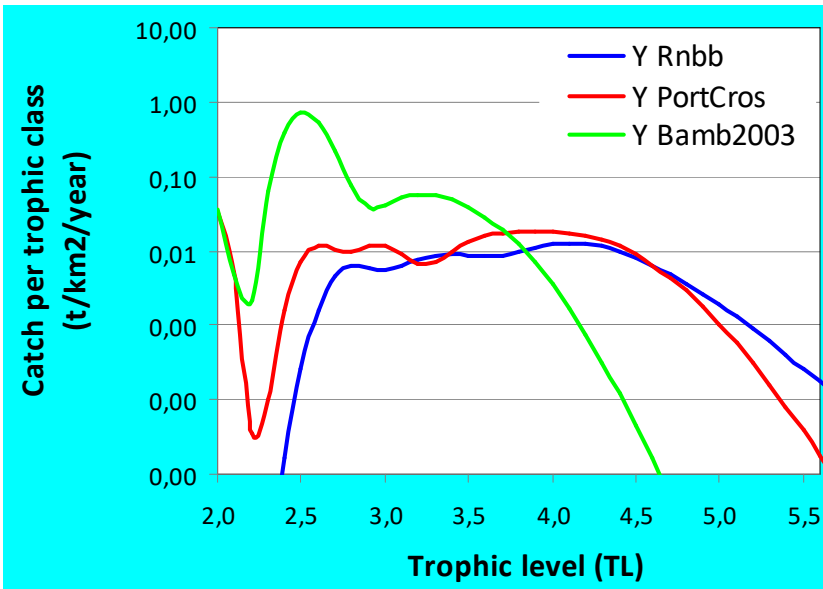


# Comparaison des modèles

B  
et  
P



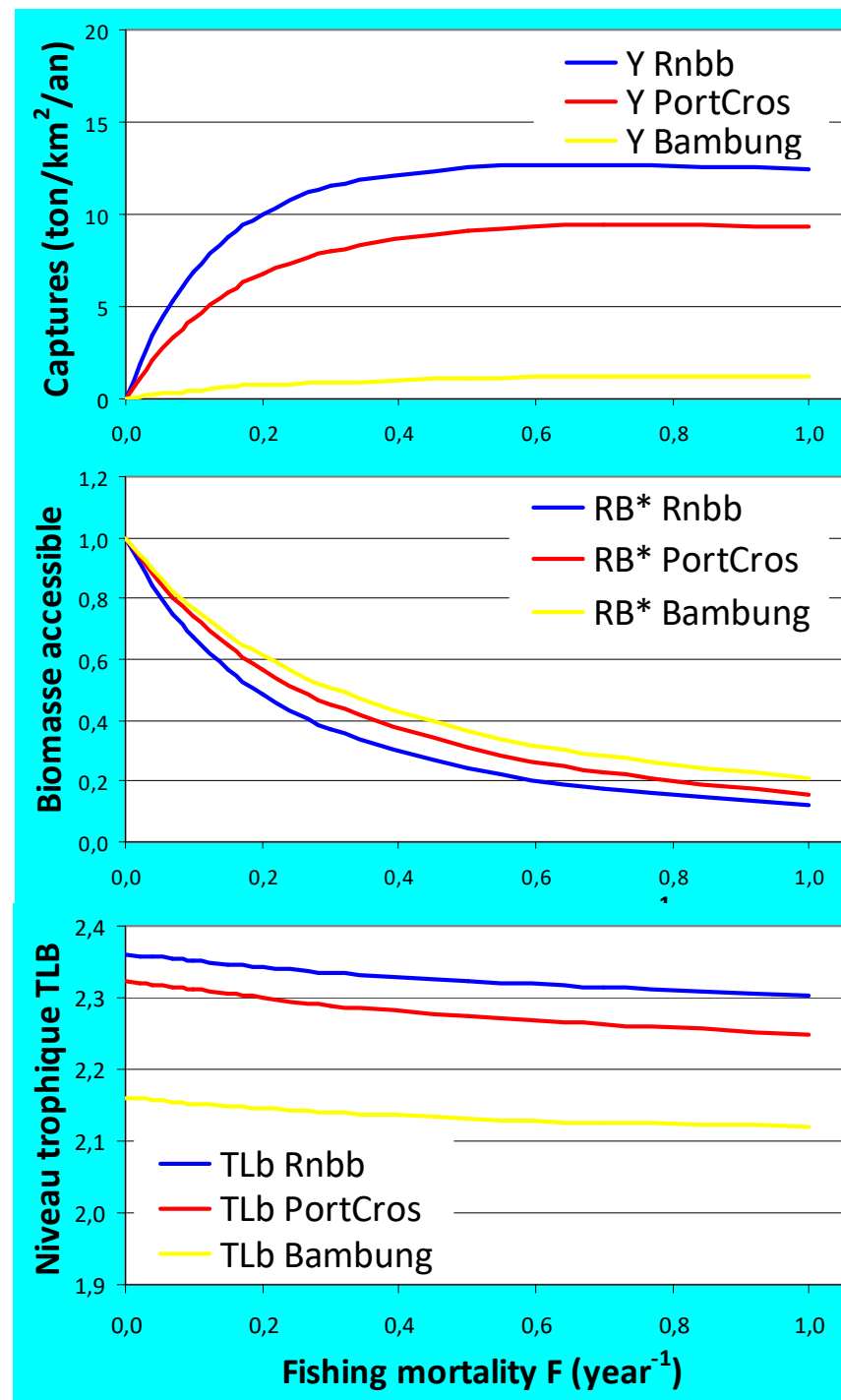
Y  
et  
F





# Simulation d'une pêcherie

- La mise en place d'une AMP induit :
  - Une perte de captures (1 à 2 t/km<sup>2</sup> sur le bamboung ; 5 à 20 t/km<sup>2</sup> sur Port Cros et Bonifacio)
  - Une augmentation de la biomasse accessible (x2 à 4)
  - Une remontée du niveau trophique moyen (diversité)
- Bamboung : production et potentiel de capture plus faible, mais résistance comparable

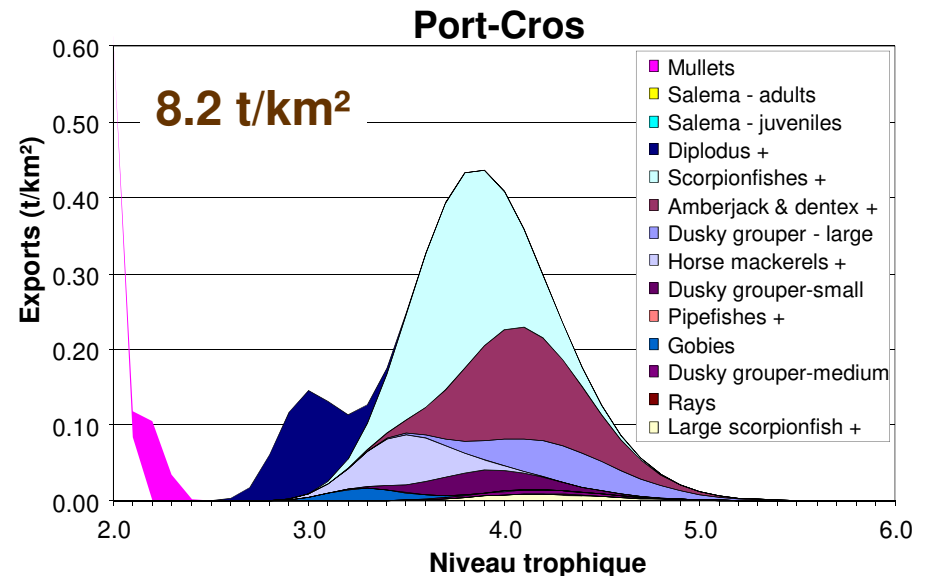
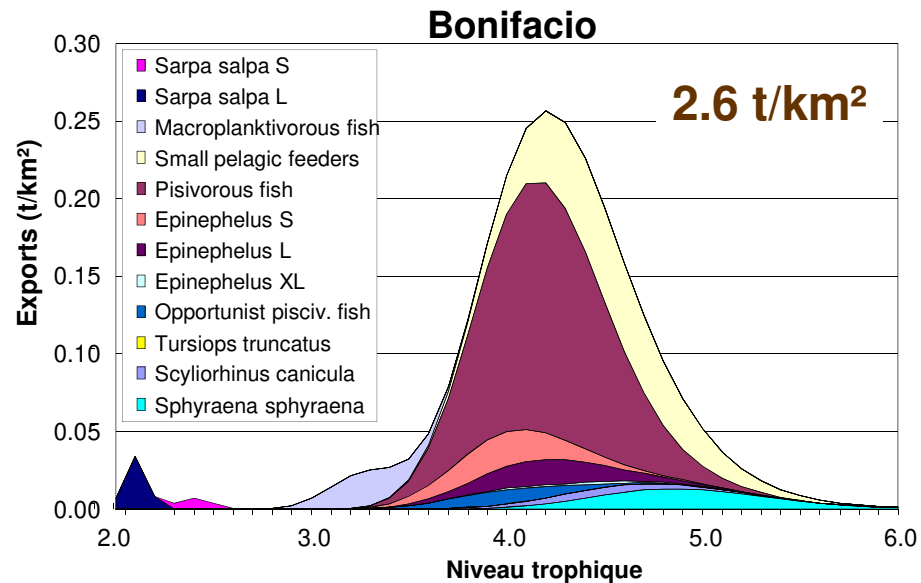
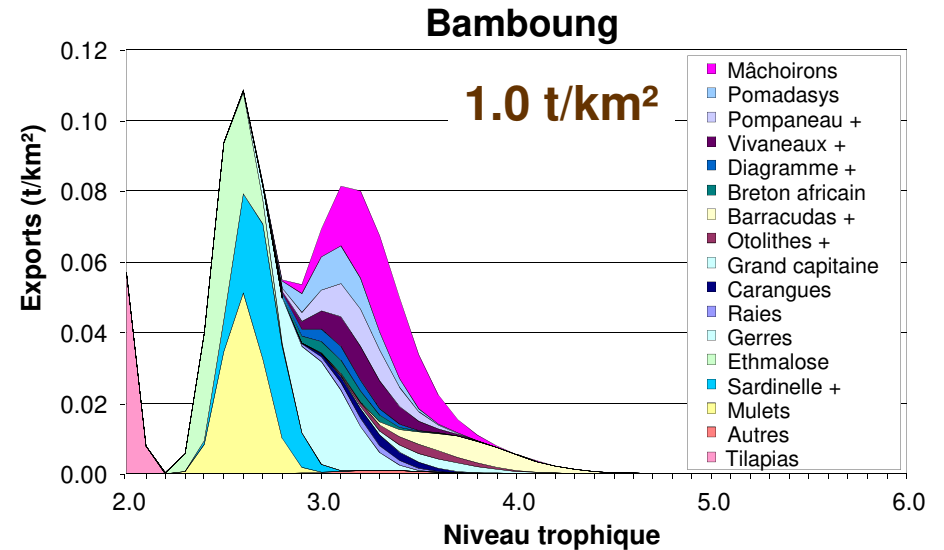




# Estimation des exports potentiels

## ■ A l'échelle de la réserve

- Bamboung ± 10 t/an
- Port Cros ± 100 t/an
- Bonifacio ± 2 000 t/an

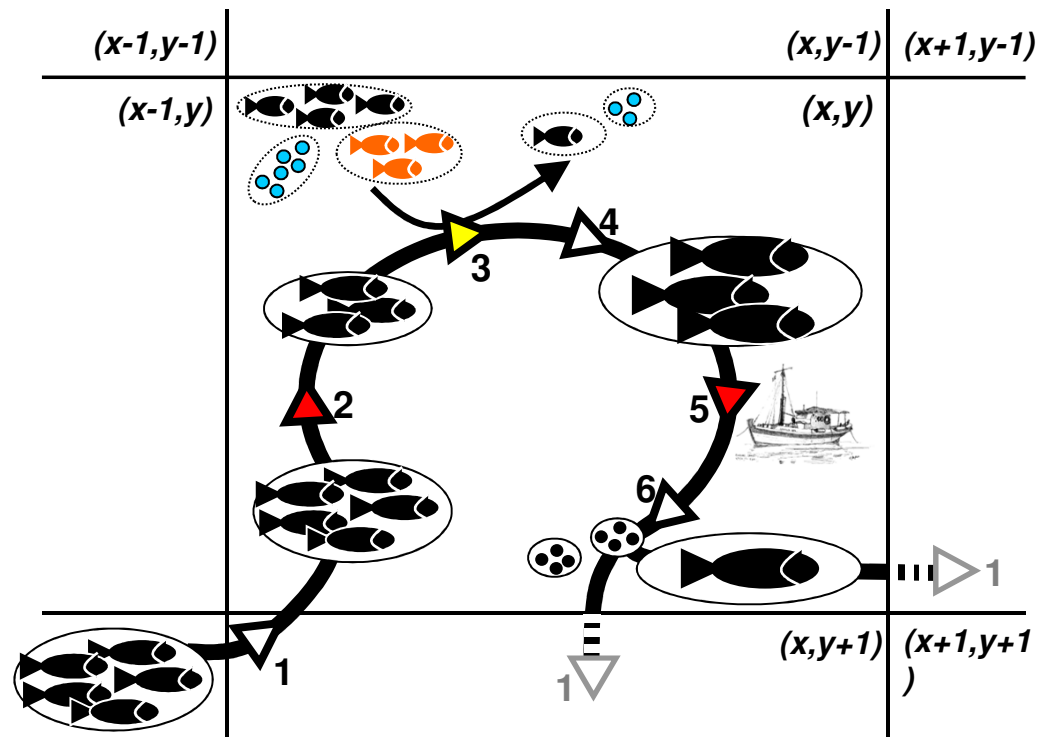




# Modèle OSMOSE de l'AMP de Bamboung

(Brochier et al., en prép)

- Un modèle individus-centré, spatialement explicite
- Simulation dynamique du cycle de vie des différents bancs
- Prédation opportuniste (basée sur la taille)
- Application : Bolong de Bamboung et une partie du Diomboss



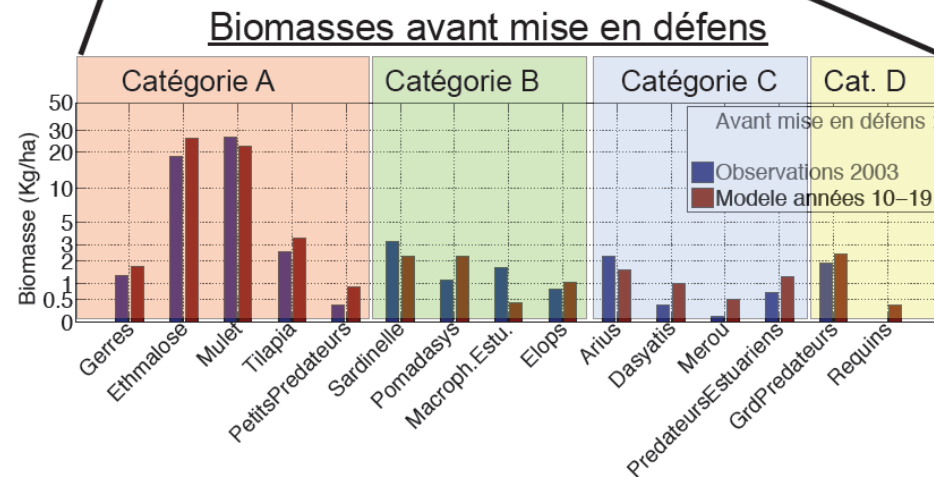
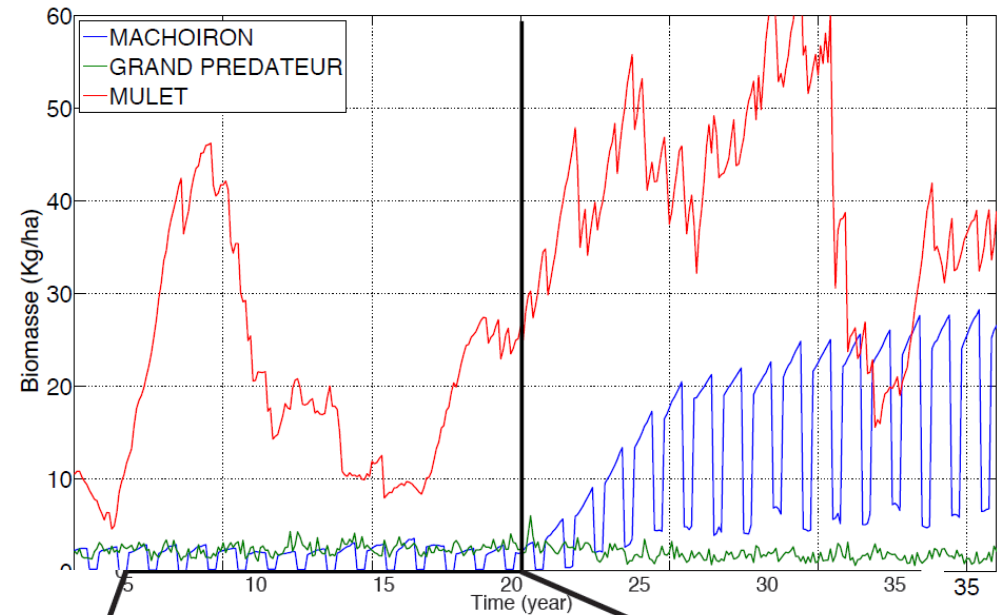
## Processus

1	Distribution spatiale
2	Mortalité naturelle
3	Prédation
4	Croissance <i>ou</i> Mortalité par jeun
5	Mortalité par pêche
6	Reproduction



# Modèle OSMOSE de l'AMP de Bamboing

- 15 « méta-espèces » poisson (95% de la biomasse) ; 4 comportements de déplacement/migration
- Séries temporelles de biomasse pour chaque « méta-espèce » :
  - Ajustement avant fermeture

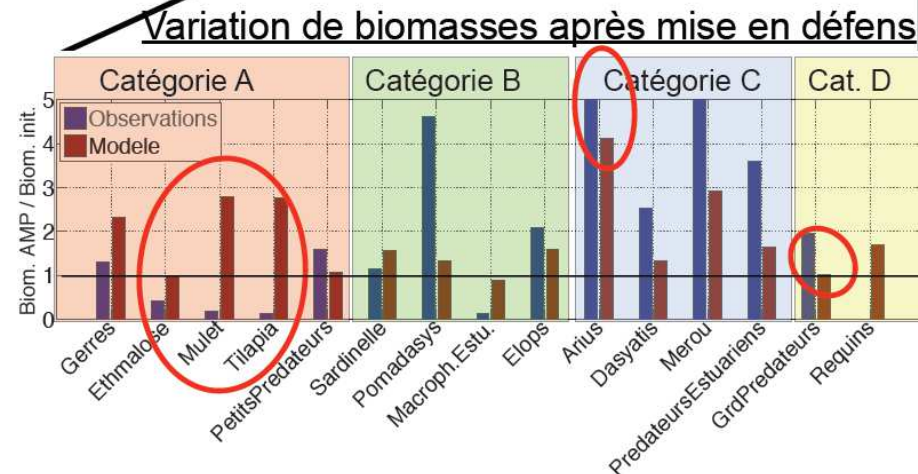
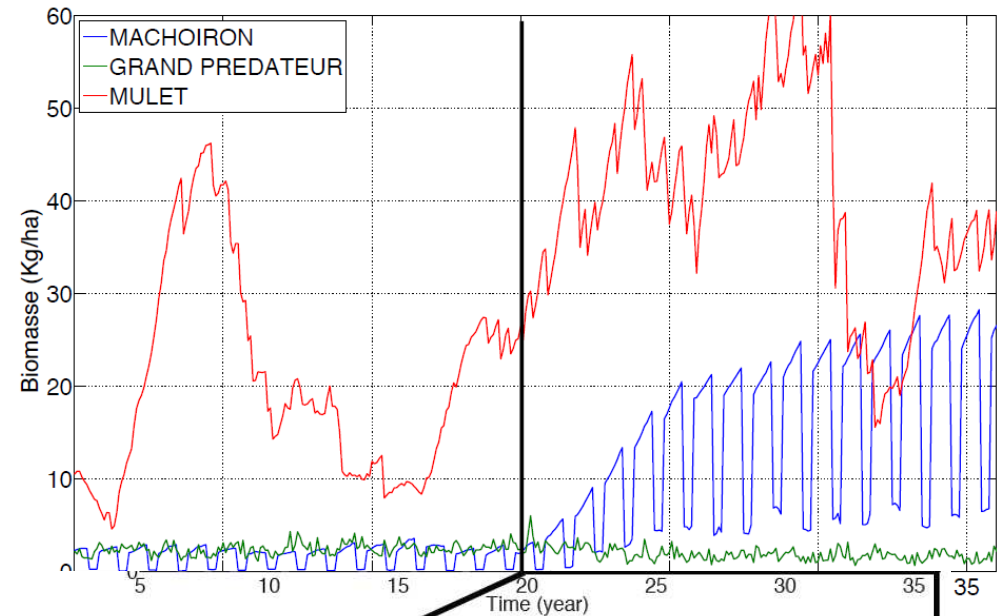






# Modèle OSMOSE de l'AMP de Bamboing

- 15 « méta-espèces » poisson (95% de la biomasse) - 4 comportements de déplacement/migration
- Séries temporelles de biomasse pour chaque « méta-espèce » :
  - Ajustement avant fermeture
  - Validation après
- Estimation du spill-over: 11,15 tonne/an

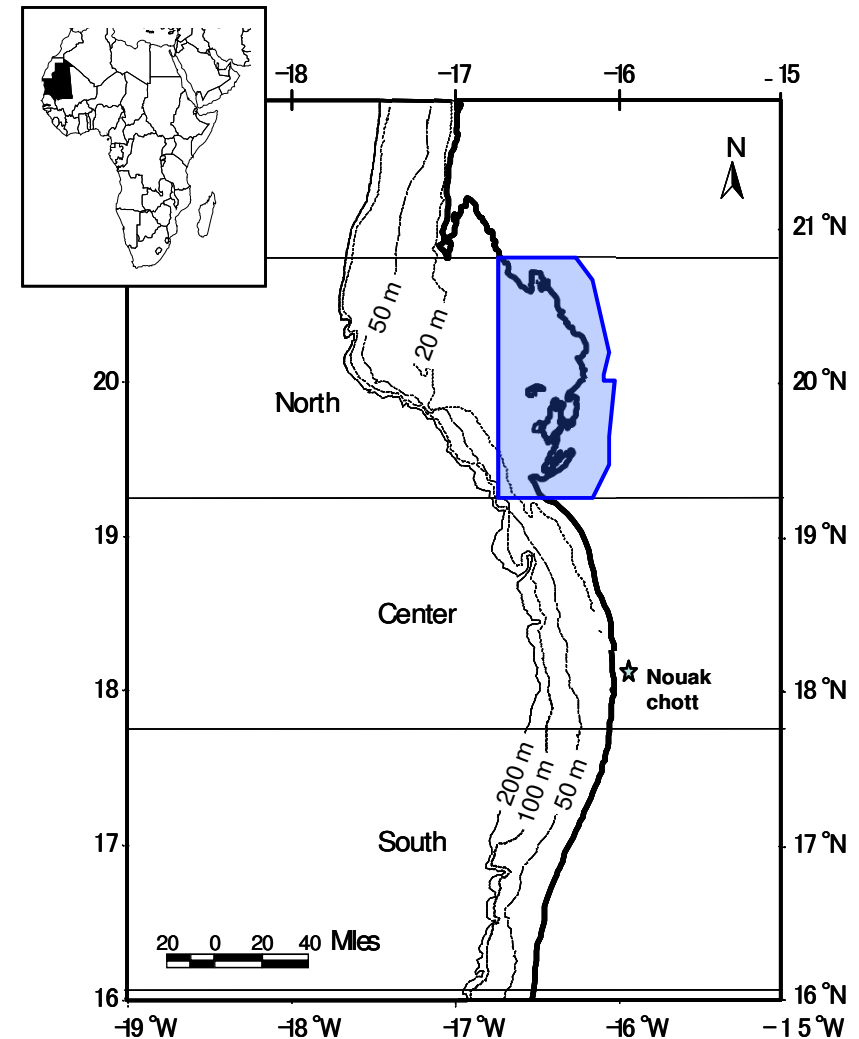




# Modèle écosystémique de Mauritanie

(Guénette, Meissa, Gascuel - en prep.)

- Un modèle Ecopath initial pour 1991, couvrant le plateau continental de Mauritanie (33 224 km<sup>2</sup>)
- 51 groupes trophiques (stades, espèces ou groupes d'espèces)
  - 21 groupes poissons (dont 6 en 2 phases : juvéniles et adultes)
  - 4 groupes mammifères, oiseaux, poulpe, céphalopodes
  - 20 autres invertébrés (groupes in/out) : traçage du «réseau trophique» Banc d'Arguin





■ Structure :  
un modèle  
non spatialisé,  
mais structuré  
par zone (in et  
out Banc  
d'Arguin)

Group
1 Marine mammals
2 Coastal birds
3 Meagre ad
4 Meagre juv
5 Mullet
6 Pelagic L
7 Mackerel
8 Sardine
9 Sardinelles
10 Horse mackerels
11 Coastal selacians
12 Coastal M
13 Coastal S
14 Croakers ad
15 Croakers juv
16 Seabreams ad
17 Seabreams juv.
18 Catfish ad
19 Catfish juv
20 Shelf selacians
21 Shelf L
22 Shelf M
23 Groupers ad
24 Grouper juv
25 Sparids ad
26 Sparids juv
27 Scianids
28 Shelf soles
29 Shelf S
30 Octopus vulgaris
31 Cephalopods
32 BA L crustaceans
33 BA molluscs
34 BA worms
35 BA crustaceans
36 BA other inverts
37 BA meiobenthos
38 shelf L crustaceans
39 shelf molluscs
40 shelf worms
41 shelf crustaceans
42 shelf other inverts
43 shelf meiobenthos
44 mesozooplankton
45 macrozooplankton
46 BA mesozooplankton
47 BA macrozooplankton
48 BA phytoplankton
49 Shelf phytoplankton
50 algae and eelgrass
51 Detritus

32 BA L crustaceans
33 BA molluscs
34 BA worms
35 BA crustaceans
36 BA other inverts
37 BA meiobenthos
38 shelf L crustaceans
39 shelf molluscs
40 shelf worms
41 shelf crustaceans
42 shelf other inverts
43 shelf meiobenthos
44 mesozooplankton
45 macrozooplankton
46 BA mesozooplankton
47 BA macrozooplankton
48 BA phytoplankton
49 Shelf phytoplankton
50 algae and eelgrass
51 Detritus

Group		Diet_in
1 Marine mammals		0,5
2 Coastal birds		1,0
3 Meagre ad	coastal	0,5
4 Meagre juv	coastal	0,5
5 Mullet	coastal	0,7
6 Pelagic L	Pelagic L	0,0
7 Mackerel	Pelagic L	0,1
8 Sardine	Pelagic L	0,0
9 Sardinelles	Pelagic L	0,3
10 Horse mackerels	Pelagic L	0,3
11 Coastal selacians	coastal	0,5
12 Coastal M	coastal	0,5
13 Coastal S	coastal	0,5
14 Croakers ad	coastal	0,3
15 Croakers juv	coastal	0,5
16 Seabreams ad	coastal	0,5
17 Seabreams juv.	coastal	0,5
18 Catfish ad	coastal	0,5
19 Catfish juv	coastal	0,5
20 Shelf selacians	Shelf	0,3
21 Shelf L	Shelf	0,0
22 Shelf M	Shelf	0,3
23 Groupers ad	Shelf	0,3
24 Grouper juv	Shelf	0,5
25 Sparids ad	Shelf	0,3
26 Sparids juv	Shelf	0,5
27 Scianids	Shelf	0,3
28 Shelf soles	Shelf	0,3
29 Shelf S	Shelf	0,3
30 Octopus vulgaris	Shelf	0,2
31 Cephalopods	Shelf	0,2



## Incertitude -> 3 modèles

- Biomasse d'invertébrés du subtidal
- Importance du banc d'Arguin
  - alimentation
  - nourricerie

	M30	Base	P30
Biomasse	$B_{\text{subtidal}} = B_{\text{intertidal}}/1.3$	$B_{\text{subtidal}} = B_{\text{intertidal}}$	$B_{\text{subtidal}} = B_{\text{intertidal}} * 1.3$
Alimentation	prop.in.BA faible	prop.in.BA base	prop.in.BA forte
Juveniles :	0.33	0.5	1.0
Coastal.S :	0.33	0.5	0.75

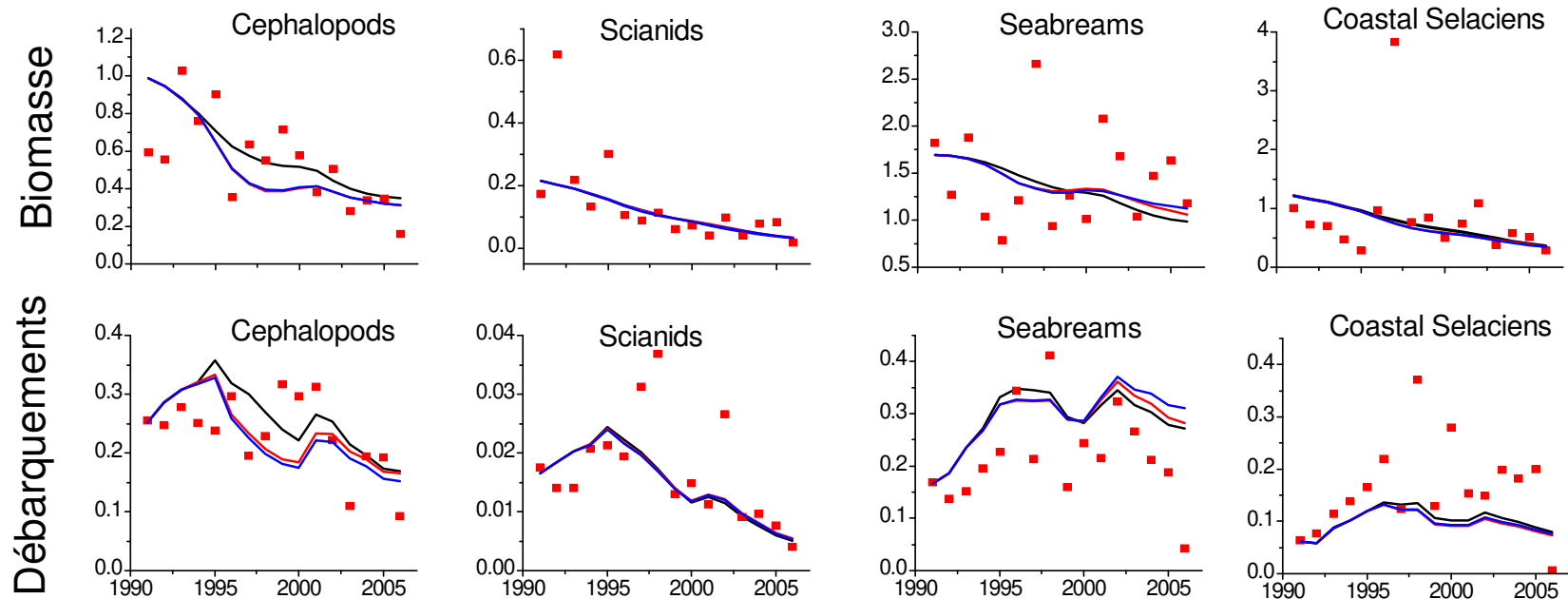


# Modèle dynamique Ecosim

## ■ Séries temporelles

- captures et biomasses estimées (campagnes de chalutage)
- effort pêche

— M30 pred.  
— Base pred.  
■ Base obs.  
— P30 pred.

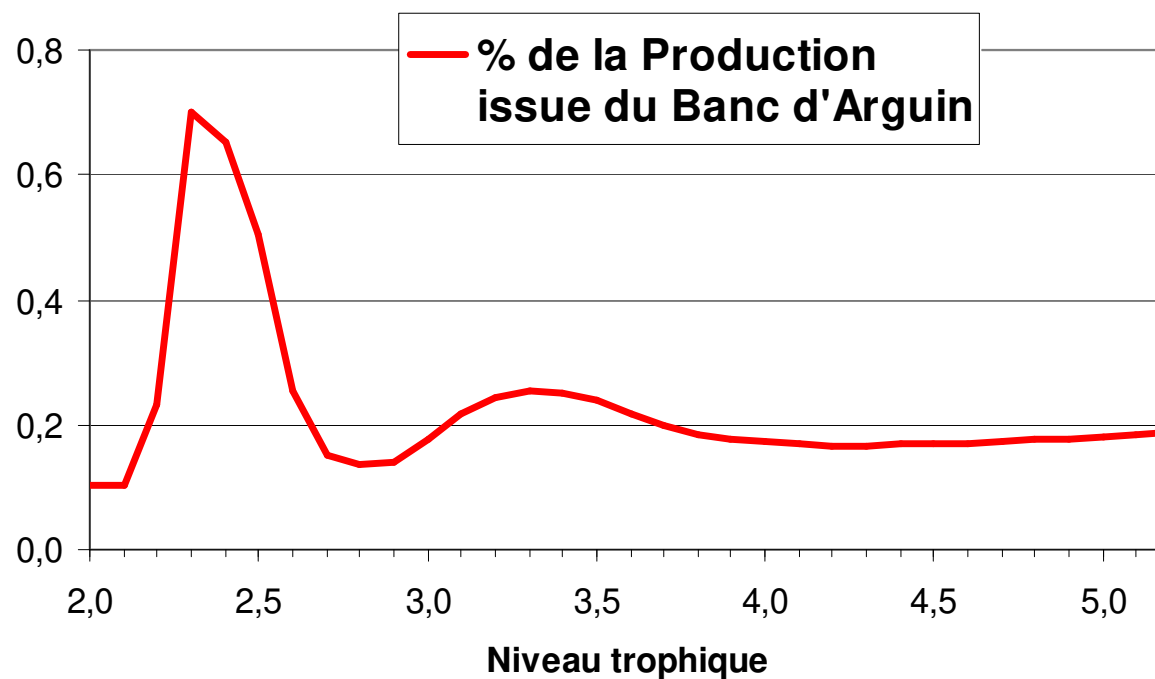






# Résultats : contribution du banc d'Arguin

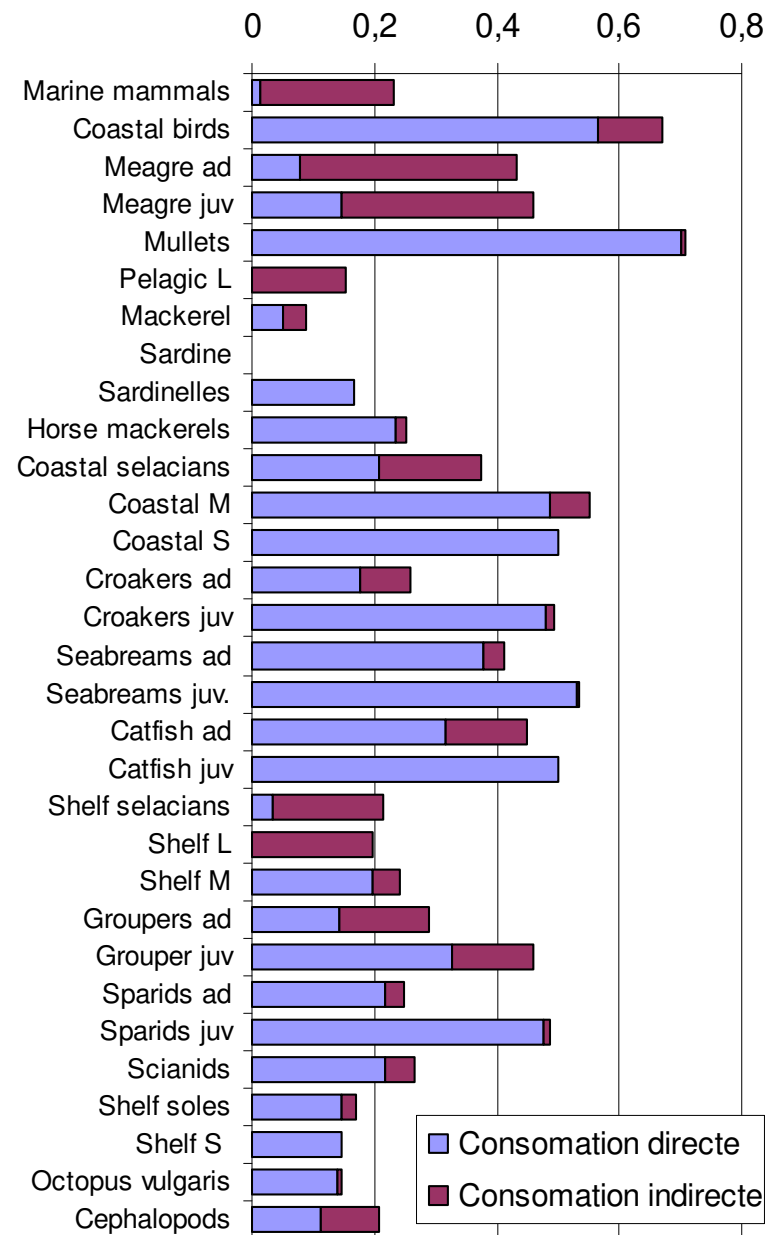
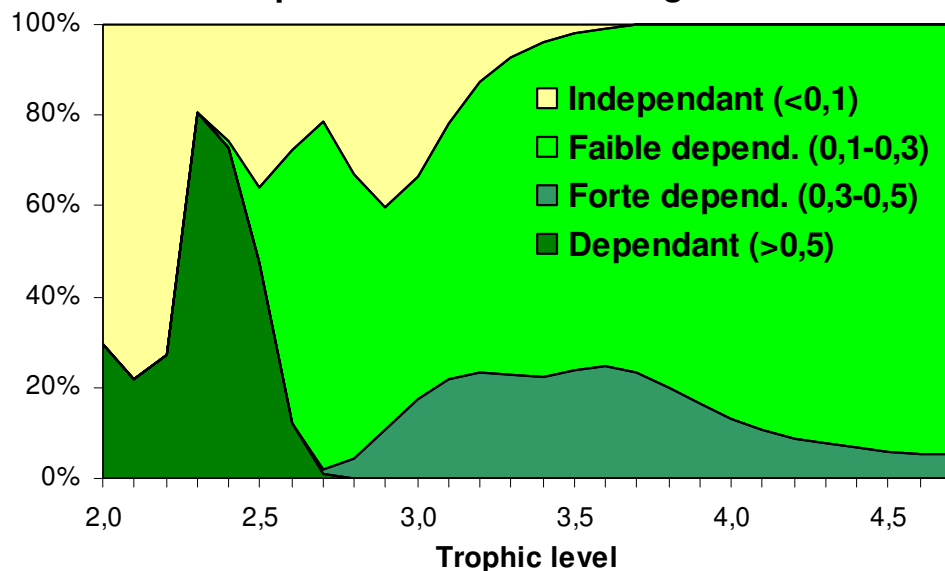
- Le banc d'Arguin est à l'origine de :
  - 17,2 % des consommations totales de l'écosystème ZEE Mauritanie
  - 12,4 % de la production « animale » de l'écosystème
  - 25 à 30 % de la production totale de l'écosystème (PP et détritits inclus)





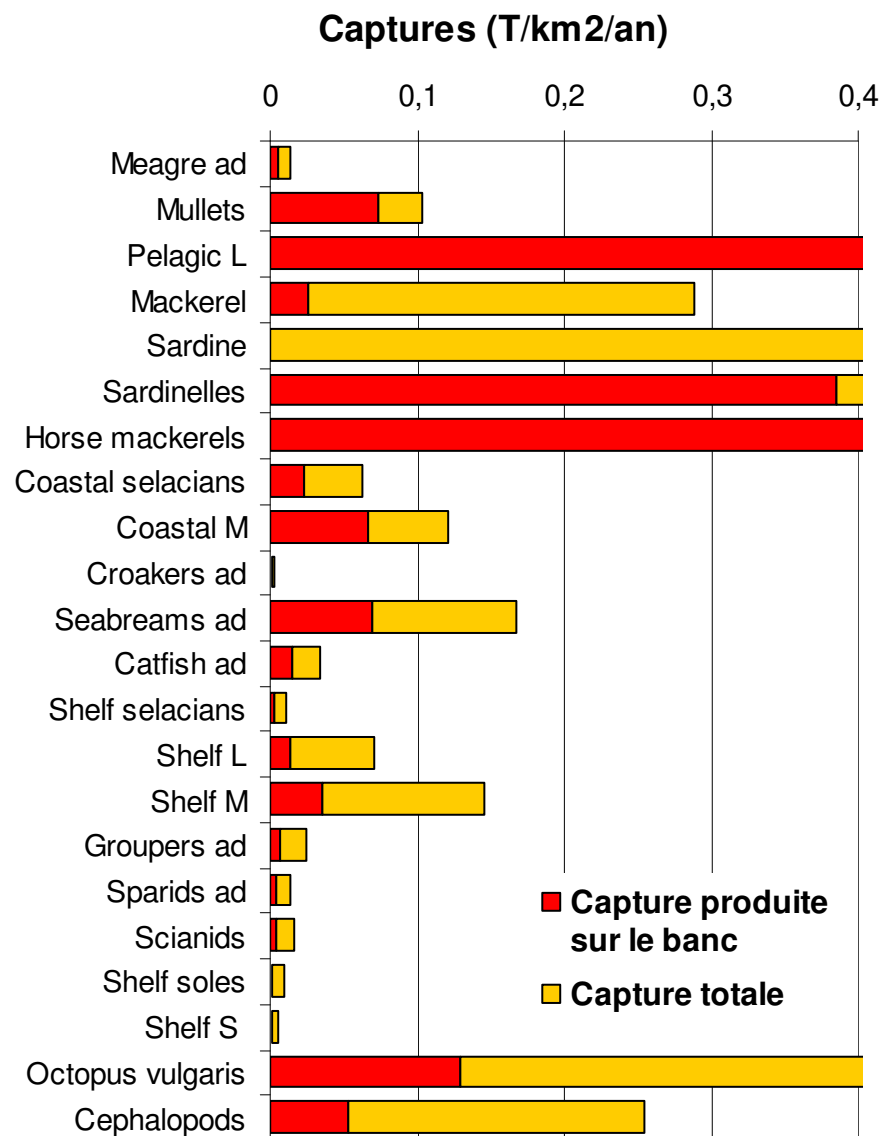
- Parmi les 31 groupes principaux :
  - 14 dépendent du Banc à plus de 30% (en consommation ou en production)
  - En raison des consommations directes ou indirectes
  
- En biomasse : une contribution essentiel du Banc

Répartition des biomasses, en fonction de leur dépendance au banc d'Argin





# Contribution aux captures



- La production issue du banc d'Arguin, supporte 17,8 % des captures totales
- Elle contribue significativement à la production de (presque) tous les groupes

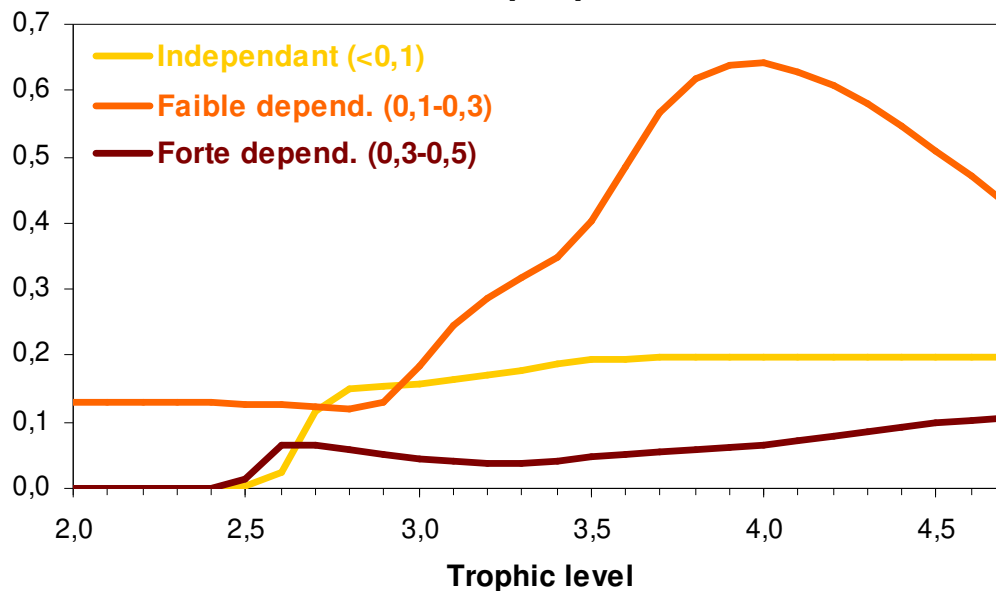


## Bilan contribution du banc

- De 15 à 20 % pour les différents groupes
- $\pm 50$  pour les poissons côtiers
- Une mortalité faible pour les espèces dépendantes du banc

	% Q	% P	% Y
Côtiers (12)	48,9%	47,9%	50,3%
Pélagiques (5)	14,2%	14,9%	16,3%
Plateau (12)	17,0%	17,1%	17,5%
<b>Total (47)</b>	<b>17,2%</b>	<b>12,4%</b>	<b>17,8%</b>

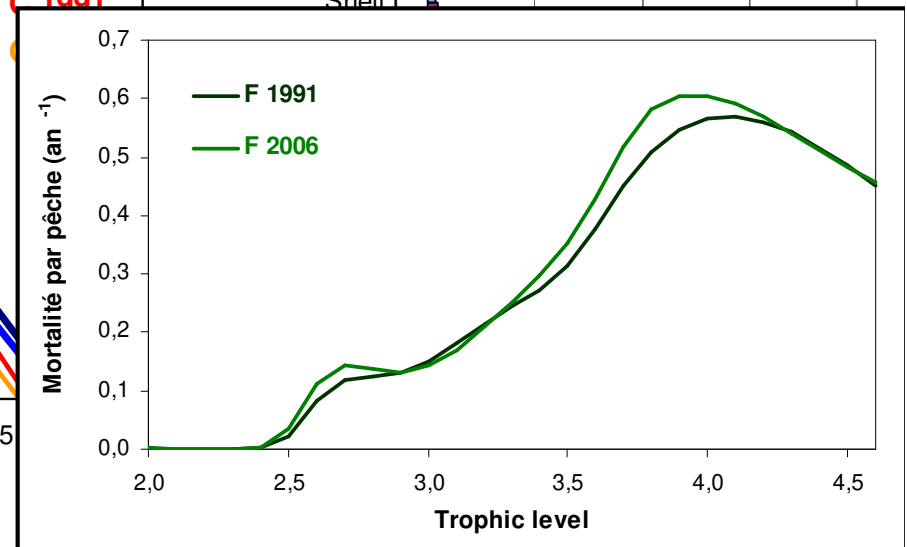
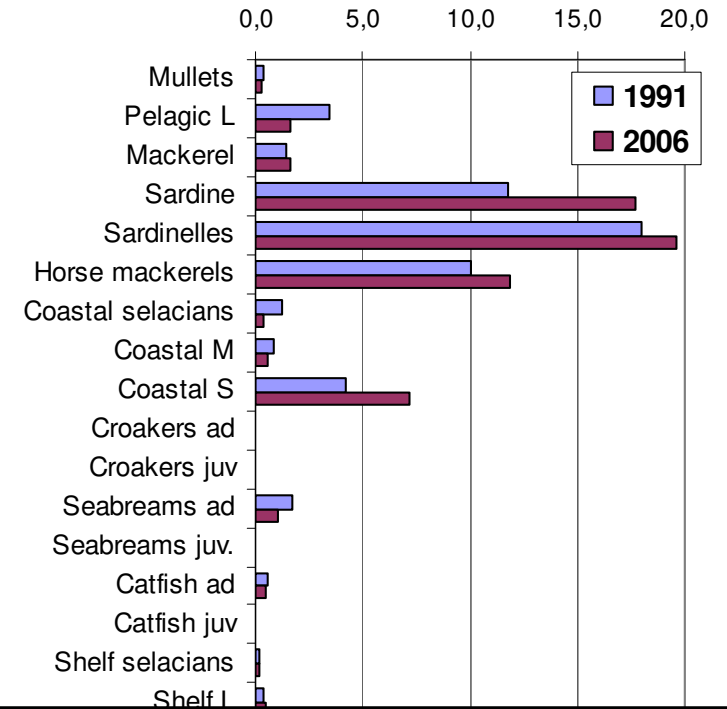
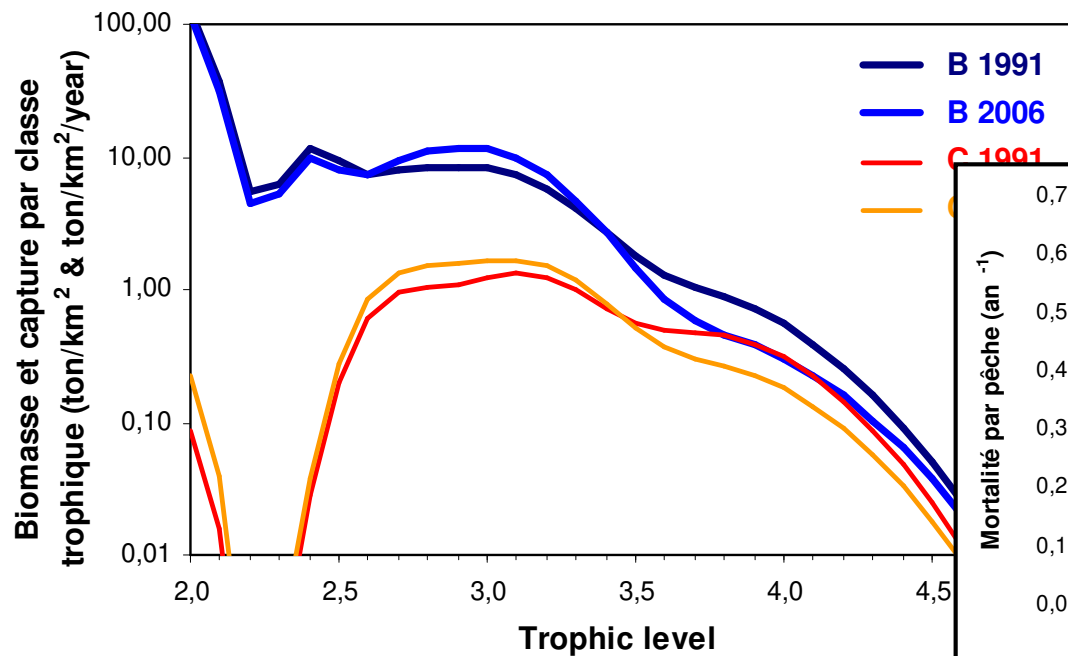
Mortalité par pêche





# Evolution 1991 – 2006

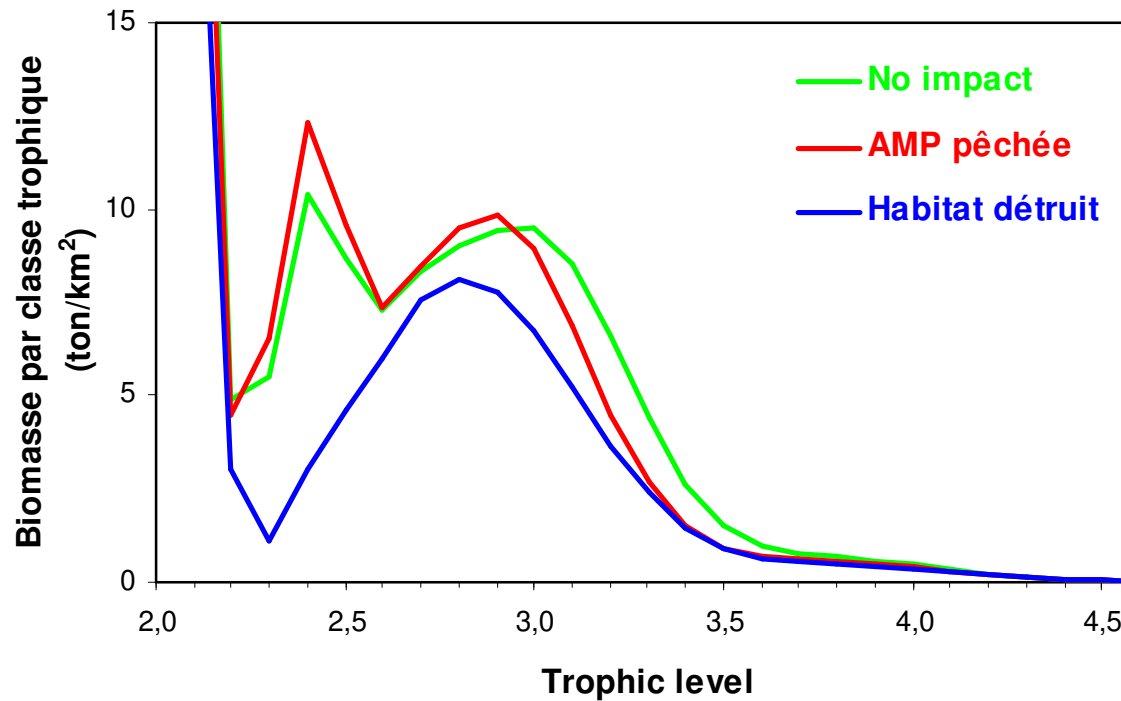
- Baisse des biomasses et des captures des hauts niveaux trophiques (poissons démersaux)
- Augmentation des petits pélagiques





# Simulation de l'effet réserve

- Scénario “Habitat” : **destruction plancton + benthos du Banc**
- Scénario « pêche » : **flottille fictive ( $F=0.8 * \text{taux de présence}$ )**



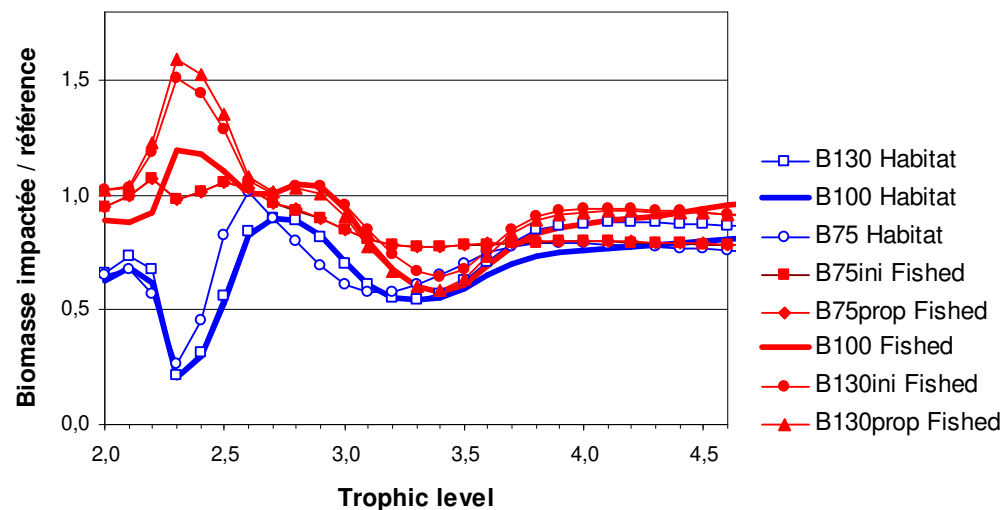
- Un impact fort en cas de dégradation de l'habitat
- Un effet Top-down dans le cas de la pêche



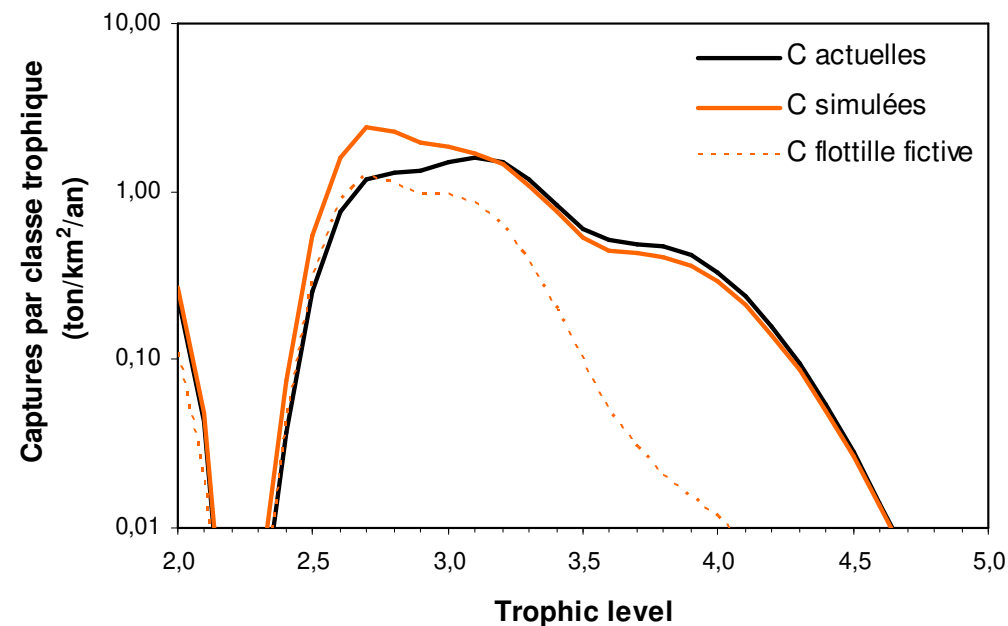


# Simulation de l'effet réserve

- Etude de sensibilité : des résultats globalement robustes



- Des captures globalement augmentées (+25,6%) ...
- ...mais de plus bas niveau trophique (perte de 8,7% sur les prédateurs TL>3.2)
- Des pertes de captures pour les flottilles hors banc (-26,7%, et -29,7% sur les prédateurs)





# Conclusion

- Des effets AMP démontrés en matière de conservation :
  - Accroissement des biomasses
  - Accroissement de la diversité trophique
  - Structuration de l'écosystème
  
- Quels effets pour la pêche ?
  - Des exports potentiels de biomasse adulte... du même ordre de grandeur que le « renoncement de captures »
  - Mais les modèles trophiques n'évaluent pas les effets sur :
    - Le recrutement (export de larve, protection des juvéniles)
    - La stabilité des ressources et de l'écosystème
    - La mortalité par pêche
  
- Importance de la taille des réserves
  - Des réserves de petite taille ont des effets insignifiants



# Importance d'une réserve de type Banc d'Arguin (grande taille)

- Un effet de contrôle global de la mortalité par pêche, à l'échelle du plateau continental de Mauritanie (pour les poissons côtiers)...  
...mais un contrôle insuffisant ici (surexploitation) et dépendant des migrations et déplacements
- Un rôle de soutien des populations naturelles
  - Consommation et production : 15-20% globalement, mais 50% pour les poissons côtiers
  - Biomasses réduites de 25% en cas de « destruction de l'habitat »
- Limites des approches de modélisation Amphore
  - Des modèles simples (non spatialisé, ...)
  - Forte sensibilité des estimations aux hypothèses et données de base
  - Une représentation insuffisante de l'effet « larves »



Merci de votre attention

