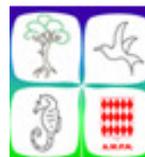


Monaco - 8 mars 2016



Association Monégasque  
pour la Protection  
de la Nature

# Méditerranée : une mer en pleine mutation biogéographique

**Pr Patrice Francour**

Université de Nice-Sophia Antipolis

FRE 3729 ECOMERS

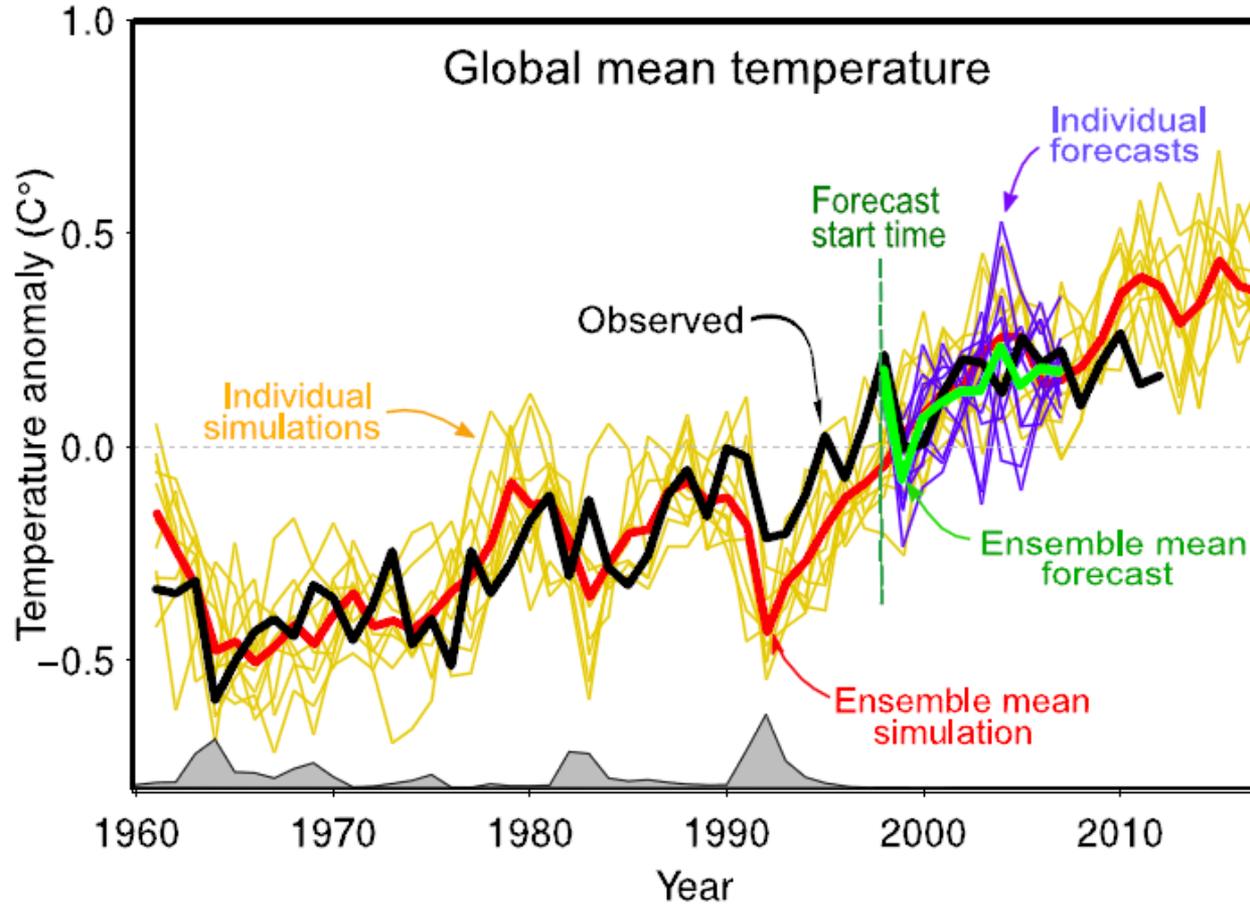
[francour@unice.fr](mailto:francour@unice.fr)



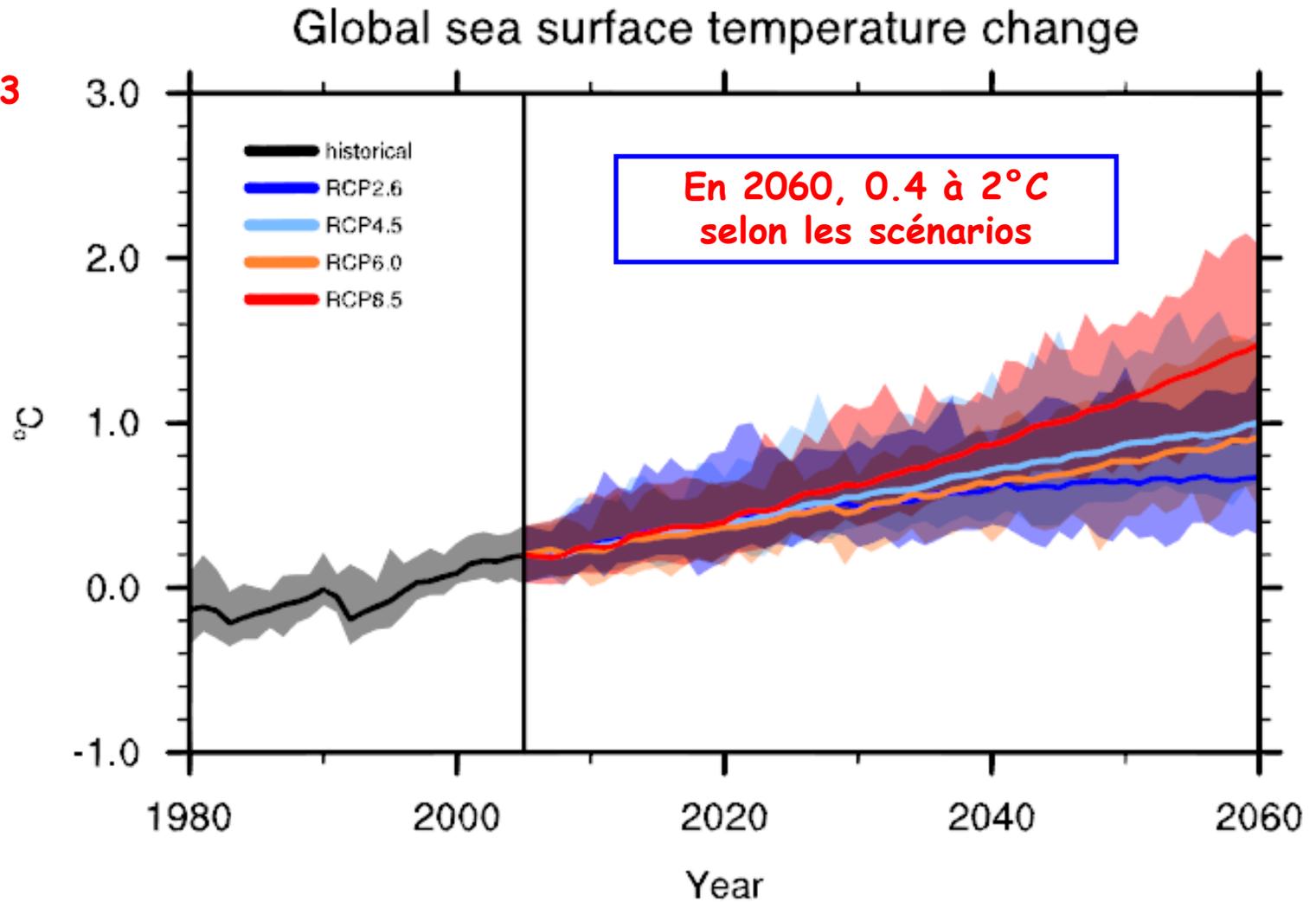
## Changement Global : des modifications environnementales importantes

- augmentation de la température globale

GIEC 2013



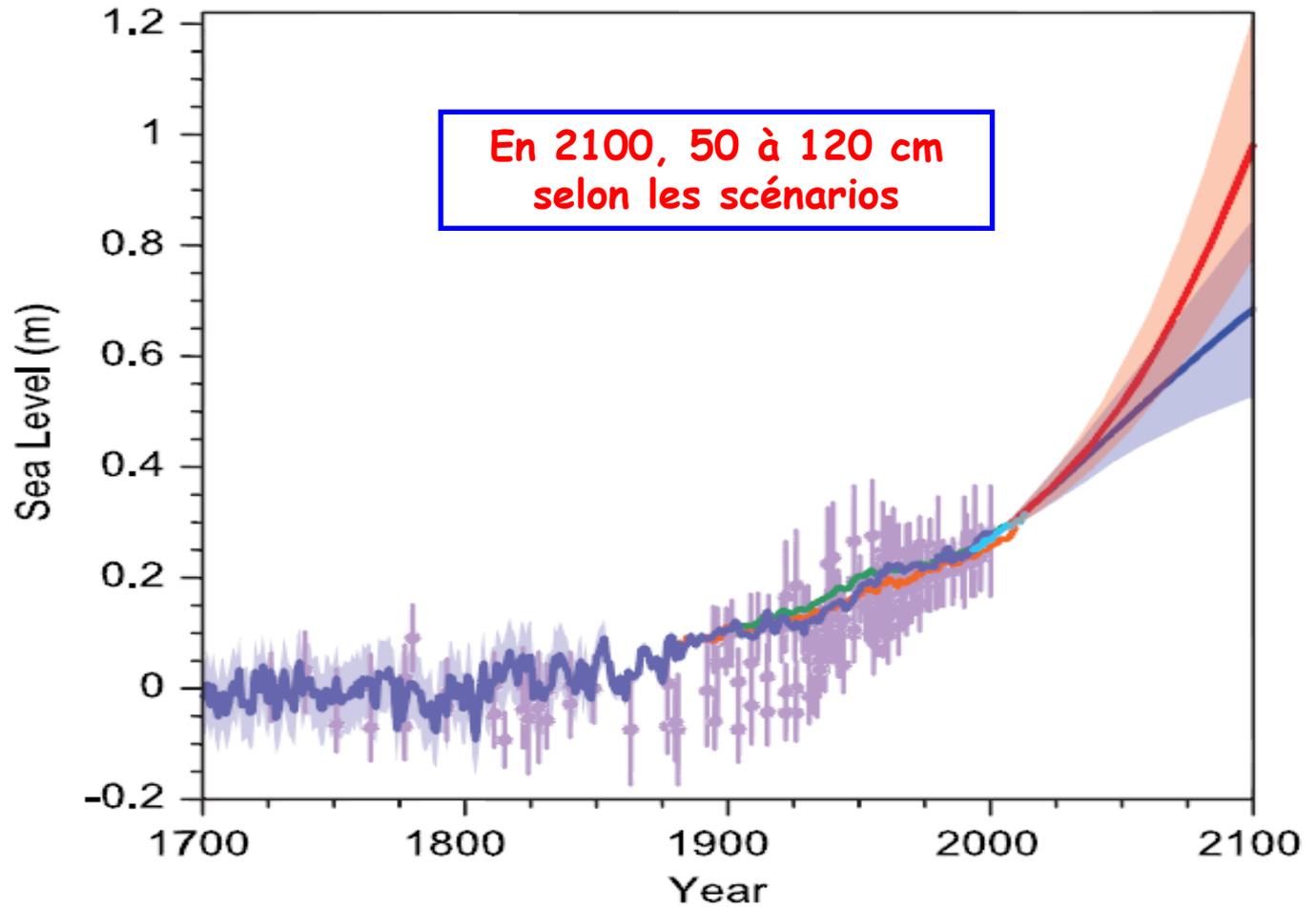
GIEC 2013



## Changement Global : des modifications environnementales importantes

- augmentation de la température globale
- modification des précipitations : plus sec ou plus humide
- élévation du niveau moyen des océans

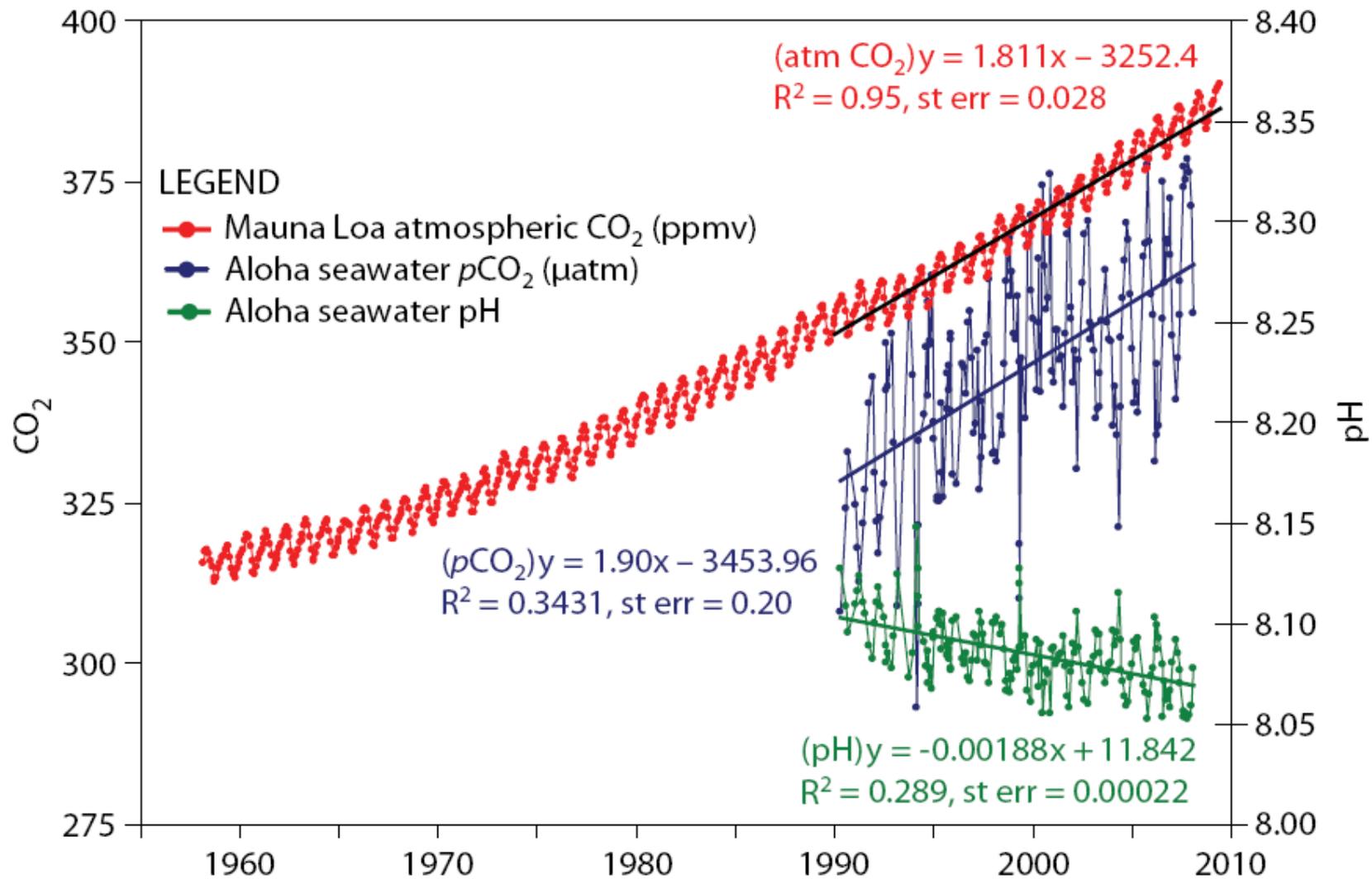
GIEC 2013



## Changement Global : des modifications environnementales importantes

- augmentation de la température globale
- modification des précipitations : plus sec ou plus humide
- élévation du niveau moyen des océans
- **acidification des océans**

# Méditerranée : une mer en pleine mutation biogéographique



(d'après Feely *et al.*, 2009)

## Changement Global : quelles conséquences ?

Les liens entre les modifications physiques/chimiques observées et les réponses biologiques/écologiques sont loin d'être simples à établir !

1. des eaux plus chaudes, donc des espèces d'eau chaude ?
2. une modification des courants marins ?
3. des espèces soumises à des eaux plus acides ?
4. l'avenir de la Méditerranée ?

## 1. Eaux plus chaudes = espèces d'eau chaude ?

- oui, il y a des espèces nouvelles en Méditerranée
- la présence de certaines est liée à la température ...
- mais faire le lien est toujours très difficile

Une illustration de nos connaissances limitées et récentes



*Sphyraena viridensis*



(cliché PF)

*Spariosoma cretense*



(cliché PF)

*Scorpaena maderensis*



*Thalassoma pavo*



(cliché PF)

Oui, il y a des espèces nouvelles en Méditerranée, mais **est-ce un changement récent, unidirectionnel, ou régulier et cyclique ?**



*Thalassoma pavo* :

- arrivée en Corse à la fin des années 1980, comme sur le reste des côtes méditerranéennes françaises
- observation d'une reproduction et de juvéniles
- une espèce classiquement dite « thermophile »
- mais .....
- des observations plus anciennes dans les années 50 !

**La majorité des observations fiables en zone littorale remonte au début de la plongée scientifique : les années 60 !**



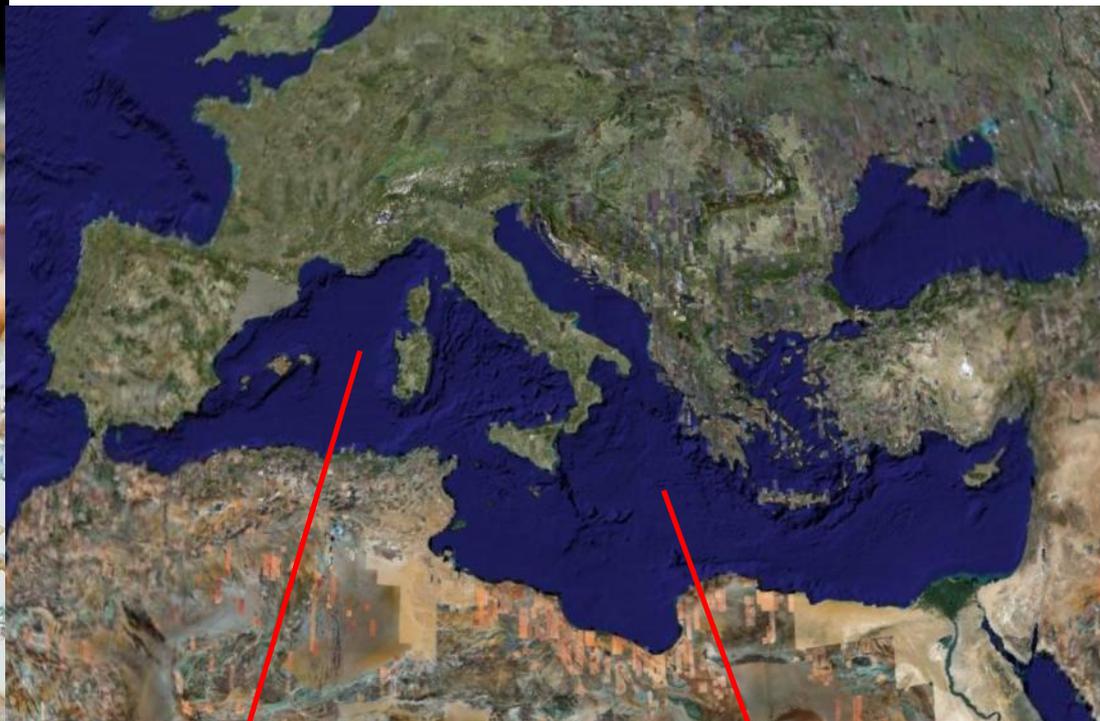
**Un manque de recul flagrant !**

## Eaux plus chaudes = espèces d'eau chaude ?

- oui, il y a des espèces nouvelles en Méditerranée
- la présence de certaines est liée à la température ...
- mais faire le lien est toujours très difficile
- **une prédilection pour l'eau chaude seulement ?**

*Gobius vittatus*

Une répartition différente entre la Méditerranée occidentale et orientale



En profondeur

?

En surface



*Gobius vittatus* abondants en surface

Méditerranée orientale  
zone superficielle

Température > 18°

Alors, sténothermie ou thermophilie ?

Température = < 13°

Méditerranée occidentale  
zone profonde



*Gobius vittatus* abondants en profondeur

## Eaux plus chaudes = espèces d'eau chaude ?

- oui, il y a des espèces nouvelles en Méditerranée
- la présence de certaines est liée à la température ...
- mais faire le lien est toujours très difficile
- une prédilection pour l'eau chaude seulement ?
- **des arrivées liées à d'autres causes**

Protection législative (mérrou)

**Mérou brun**  
*(Epinephelus marginatus)*

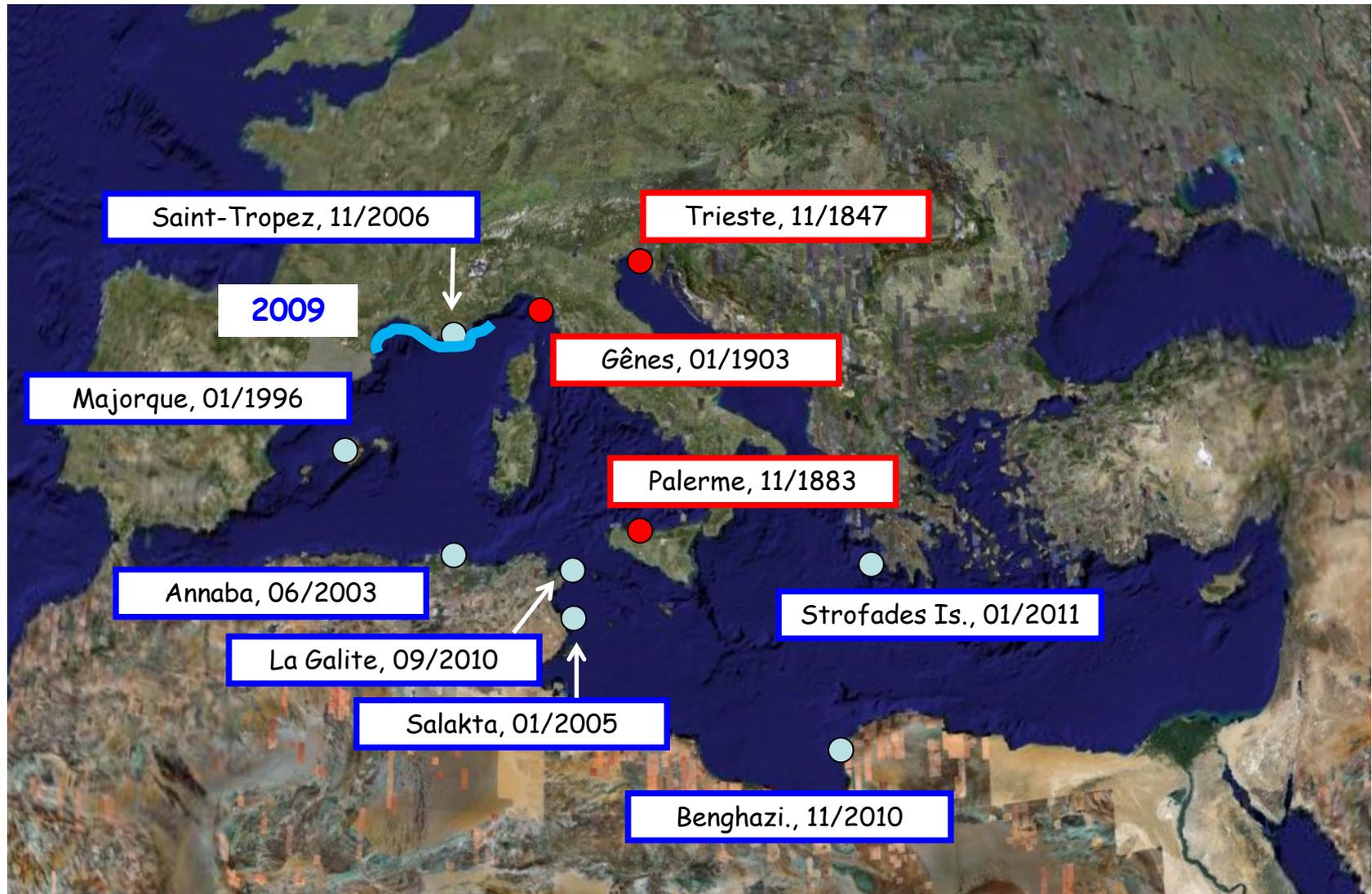


## Eaux plus chaudes = espèces d'eau chaude ?

- oui, il y a des espèces nouvelles en Méditerranée
- la présence de certaines est liée à la température ...
- mais faire le lien est toujours très difficile
- une prédilection pour l'eau chaude seulement ?
- **des arrivées liées à d'autres causes**
  - ❑ Protection législative (mérrou)
  - ❑ Phénomène océanographique ? (saupe brésilienne)



## *Kyphosus sectatrix* en Méditerranée



(complété d'après Francour & Mouine, 2008)

## Eaux plus chaudes = espèces d'eau chaude ?

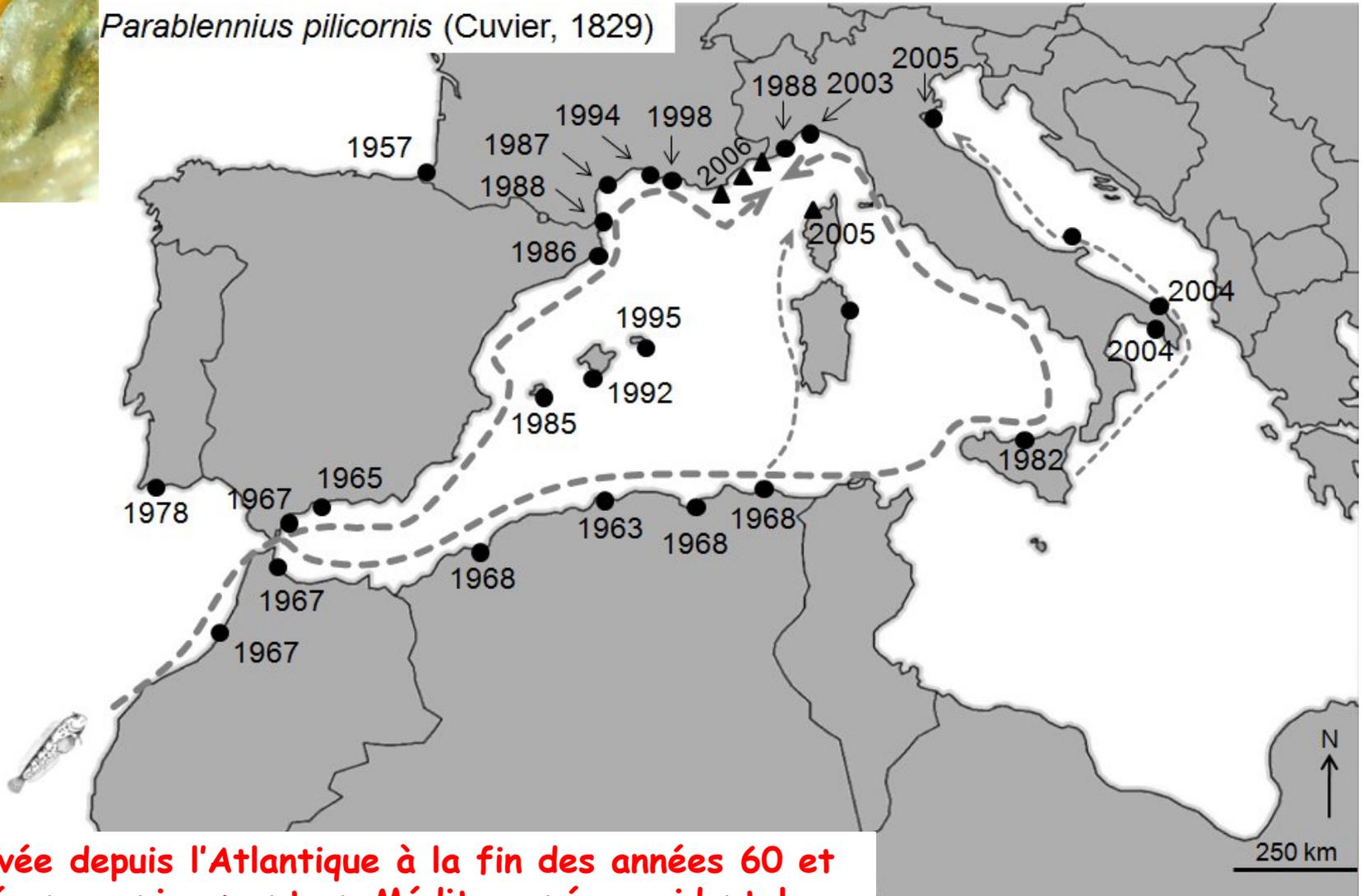
- oui, il y a des espèces nouvelles en Méditerranée
- la présence de certaines est liée à la température ...
- mais faire le lien est toujours très difficile
- une prédilection pour l'eau chaude seulement ?
- **des arrivées liées à d'autres causes**
  - ❑ Protection législative (mérrou)
  - ❑ Phénomène océanographique ? (saupe brésilienne)
  - ❑ Migration depuis l'Atlantique

*Parablennius pilicornis*





*Parablennius pilicornis* (Cuvier, 1829)

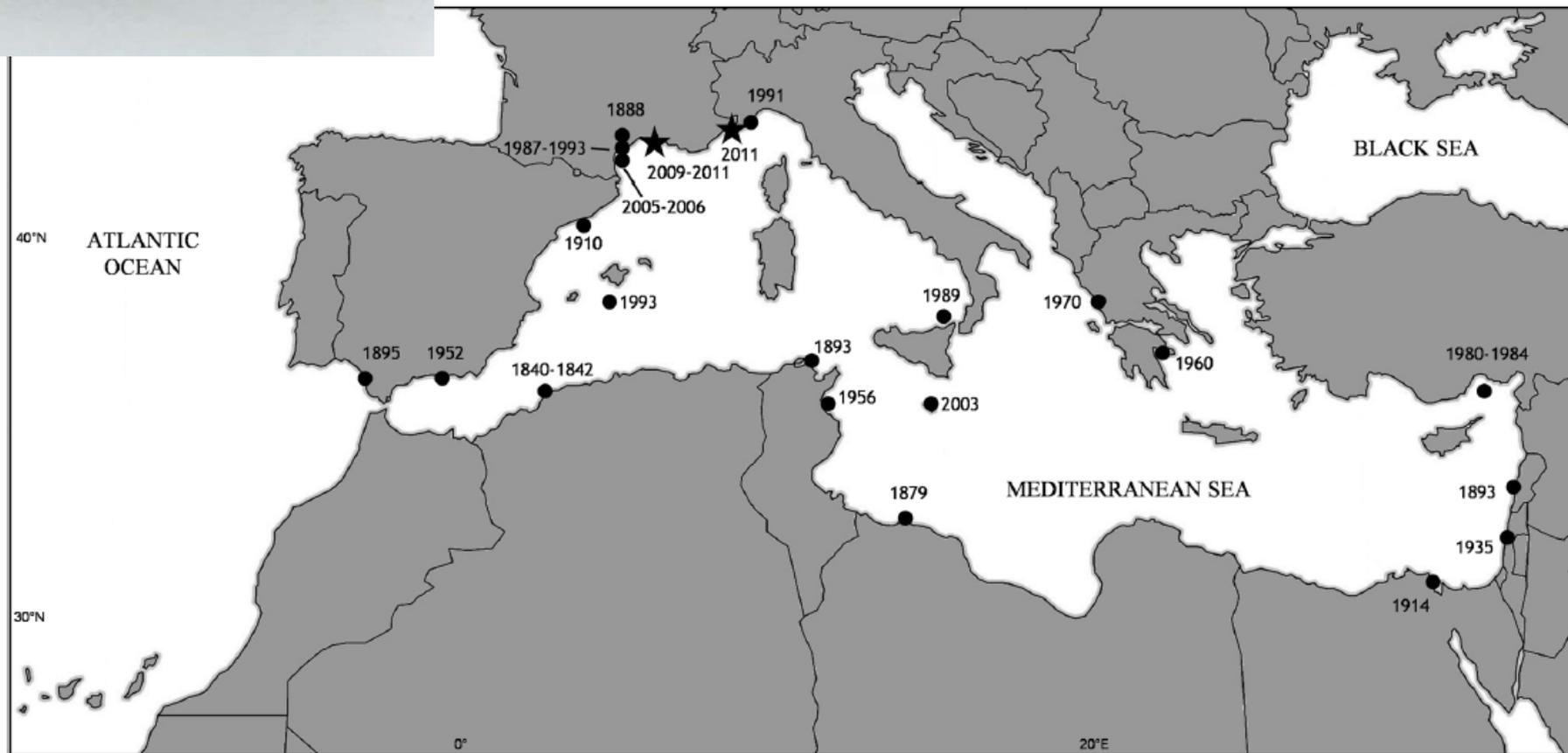


**Une arrivée depuis l'Atlantique à la fin des années 60 et une présence uniquement en Méditerranée occidentale**

(d'après Pastor et Francour, 2010)



## *Pomadasys incisus*, une autre espèce atlantique



(d'après Bodilis *et al.*, 2013)

... qui a atteint le bassin oriental dès le 19<sup>ème</sup> siècle

## Eaux plus chaudes = espèces d'eau chaude ?

- oui, il y a des espèces nouvelles en Méditerranée
- la présence de certaines est liée à la température ...
- mais faire le lien est toujours très difficile
- une prédilection pour l'eau chaude seulement ?
- **des arrivées liées à d'autres causes**
  - ❑ Protection législative (mérrou)
  - ❑ Phénomène océanographique ? (saupe brésilienne)
  - ❑ Migration depuis l'Atlantique
  - ❑ Migration depuis la Mer Rouge ou l'Océan Indien

*Pyura momus*



*Synaptula reciprocans*



*Sargocentrum rubrum*



*Stephanolepis diaspros*

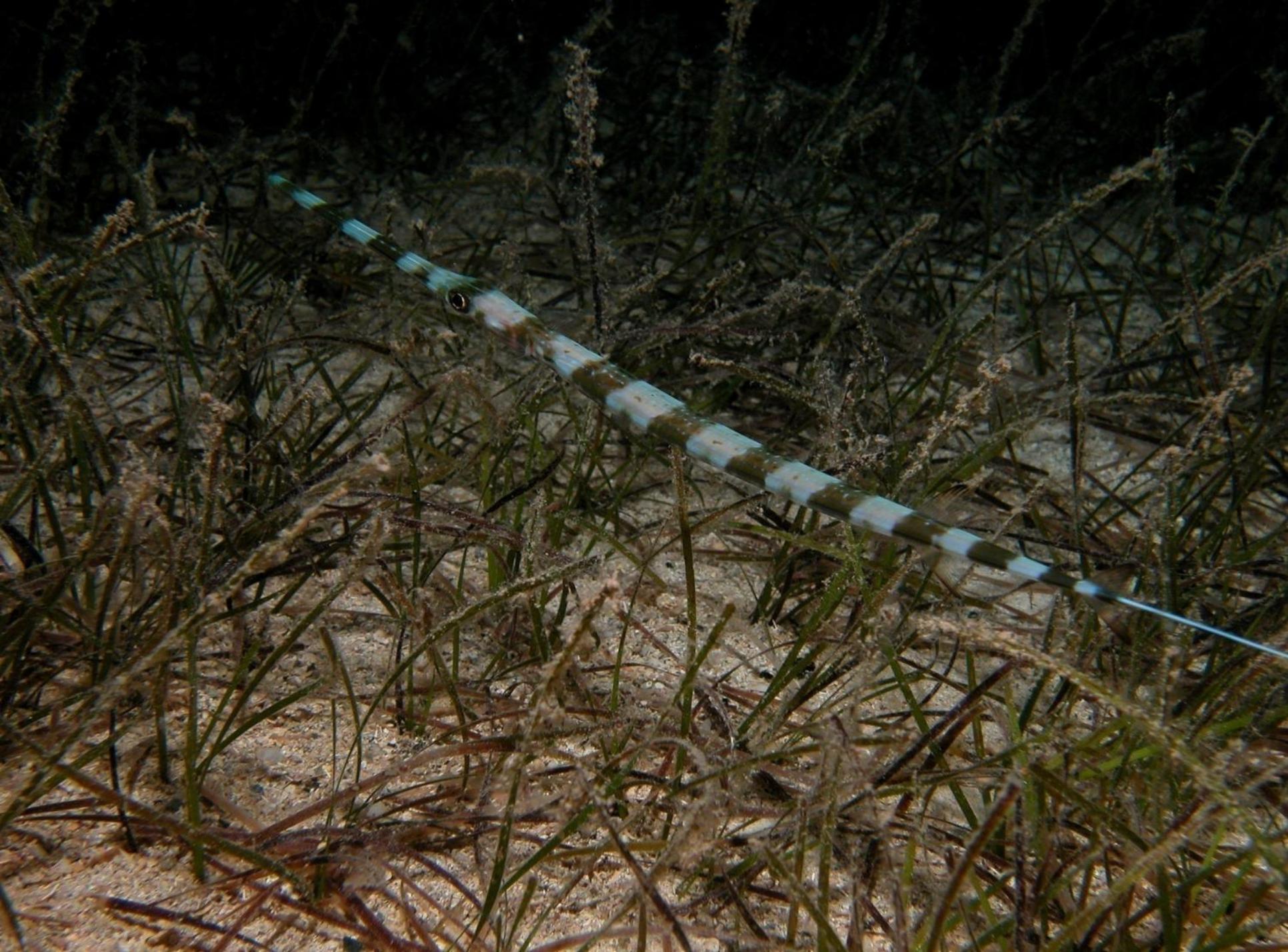


*Pteragogus pelycus*



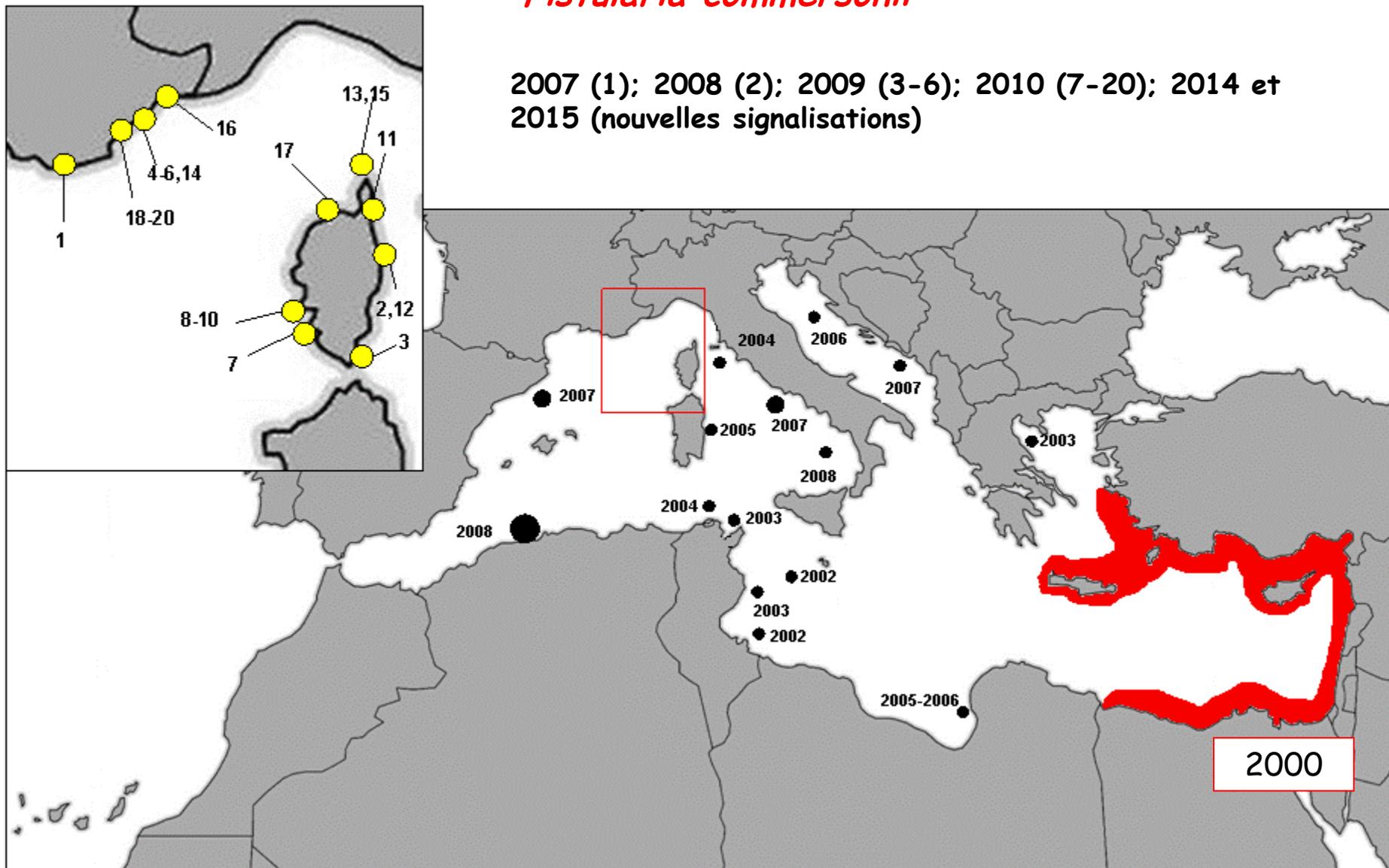
**Poisson flûte**  
*(Fistularia commersonii)*





## *Fistularia commersonii*

2007 (1); 2008 (2); 2009 (3-6); 2010 (7-20); 2014 et 2015 (nouvelles signalisations)

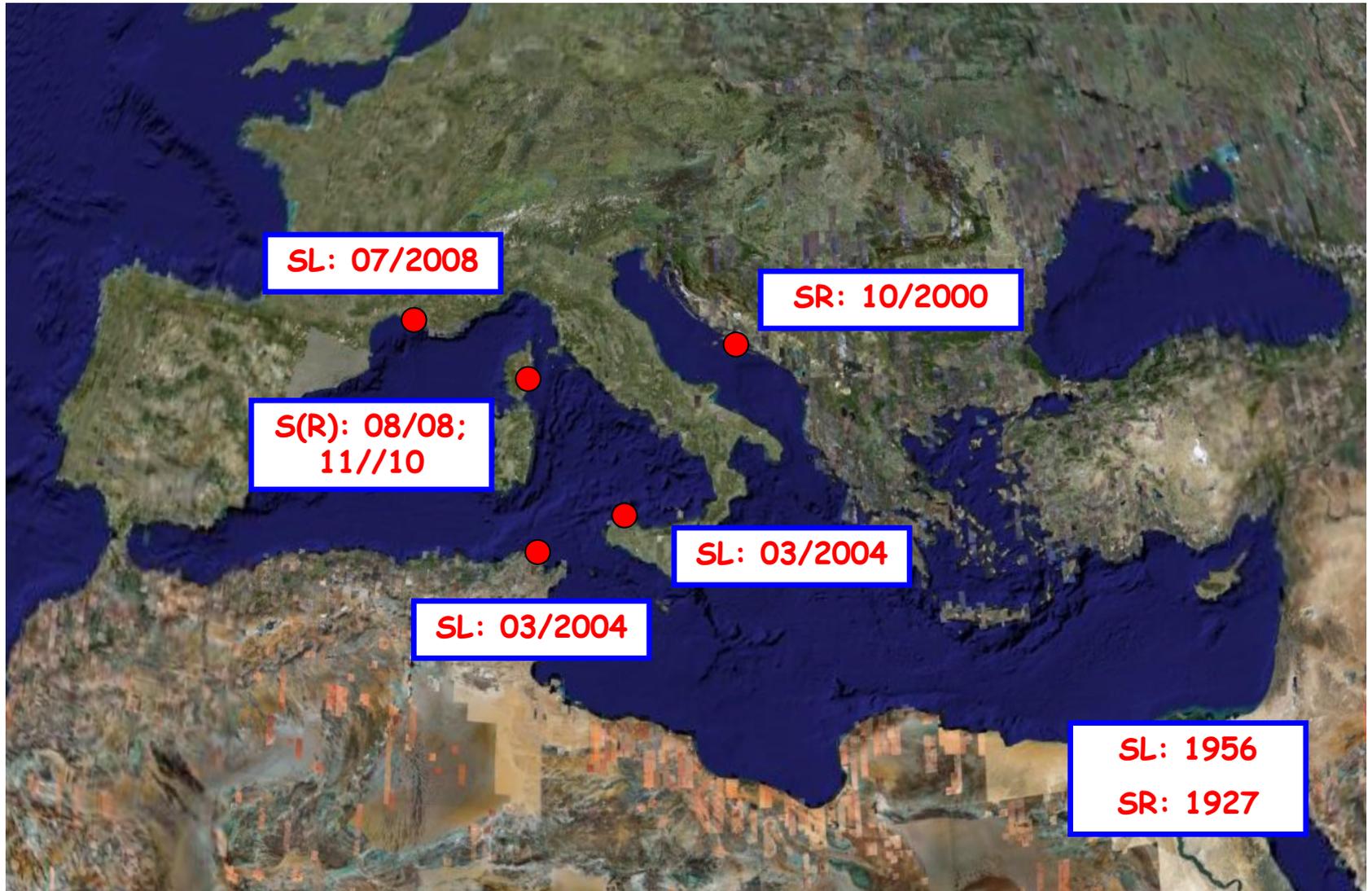


*Siganus luridus*

*Siganus rivulatus*



*Siganus luridus* (SL), *Siganus rivulatus* (SR)



Des impacts écologiques  
considérables

Banc de *Siganus luridus*; région de Bodrum; 08/2008 (photo PF)



**Une exubérance  
de formes et la  
construction d'un  
habitat 3D**



(clichés PF)



... pour laisser  
place à un  
« désert » ?



(clichés PF)



Sala et al. 2011. PlosOne;  
doi:10.1371/journal.pone.0017356.t002

Expérience d'exclusion des poissons lapins à l'aide de cages.  
Des cystoseires poussent alors normalement !

## Eaux plus chaudes = espèces d'eau chaude ?

- oui, il y a des espèces nouvelles en Méditerranée
- la présence de certaines est liée à la température ...
- mais faire le lien est toujours très difficile
- une prédilection pour l'eau chaude seulement ?
- **des arrivées liées à d'autres causes**
  - ❑ Protection législative (mérrou)
  - ❑ Phénomène océanographique ? (saupe brésilienne)
  - ❑ Migration depuis l'Atlantique
  - ❑ Migration depuis la Mer Rouge ou l'Océan Indien
  - ❑ Arrivée facilitée par l'homme



*Opleognathus fasciatus*

**Indo-Pacifique  
Malte, novembre 2009,  
2 individus au plus  
Transport par bateau ?**

(Schrembi *et al.*, 2010)

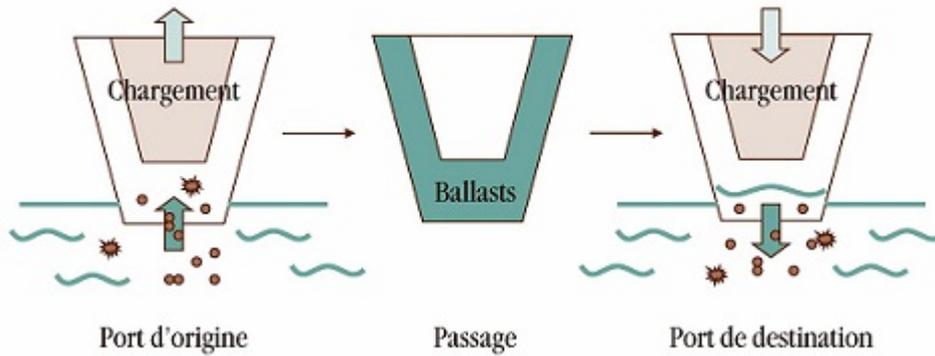


*Scatophagus argus*

**Océan Indien, Pacifique  
Malte, mars 2011,  
nombreux individus  
Aquariums ?**

(Zammit & Schrembi, 2011)

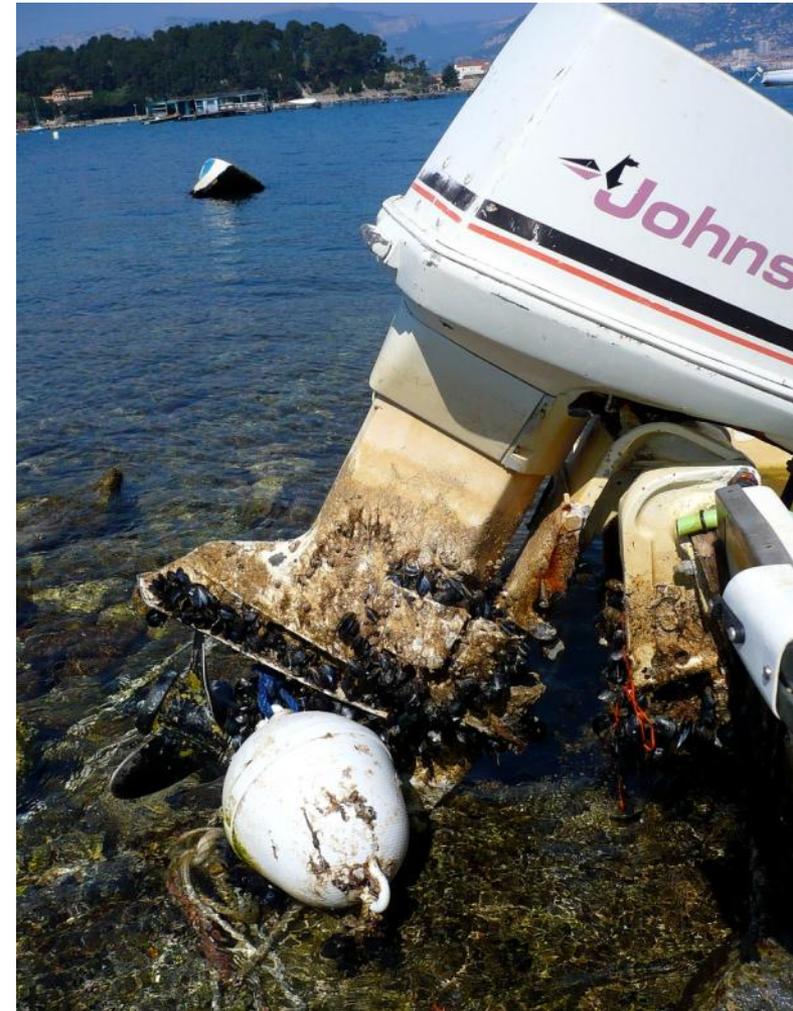
- ✓ Fouling
- ✓ Ancres, puits de chaîne
- ✓ Ballast (réserve d'eau de mer, crépine à l'entrée)



(<http://www.polarcom.gc.ca/fra/>)



- organismes de petite taille (plancton)
- larves
- micro-organismes



(Photo PF)

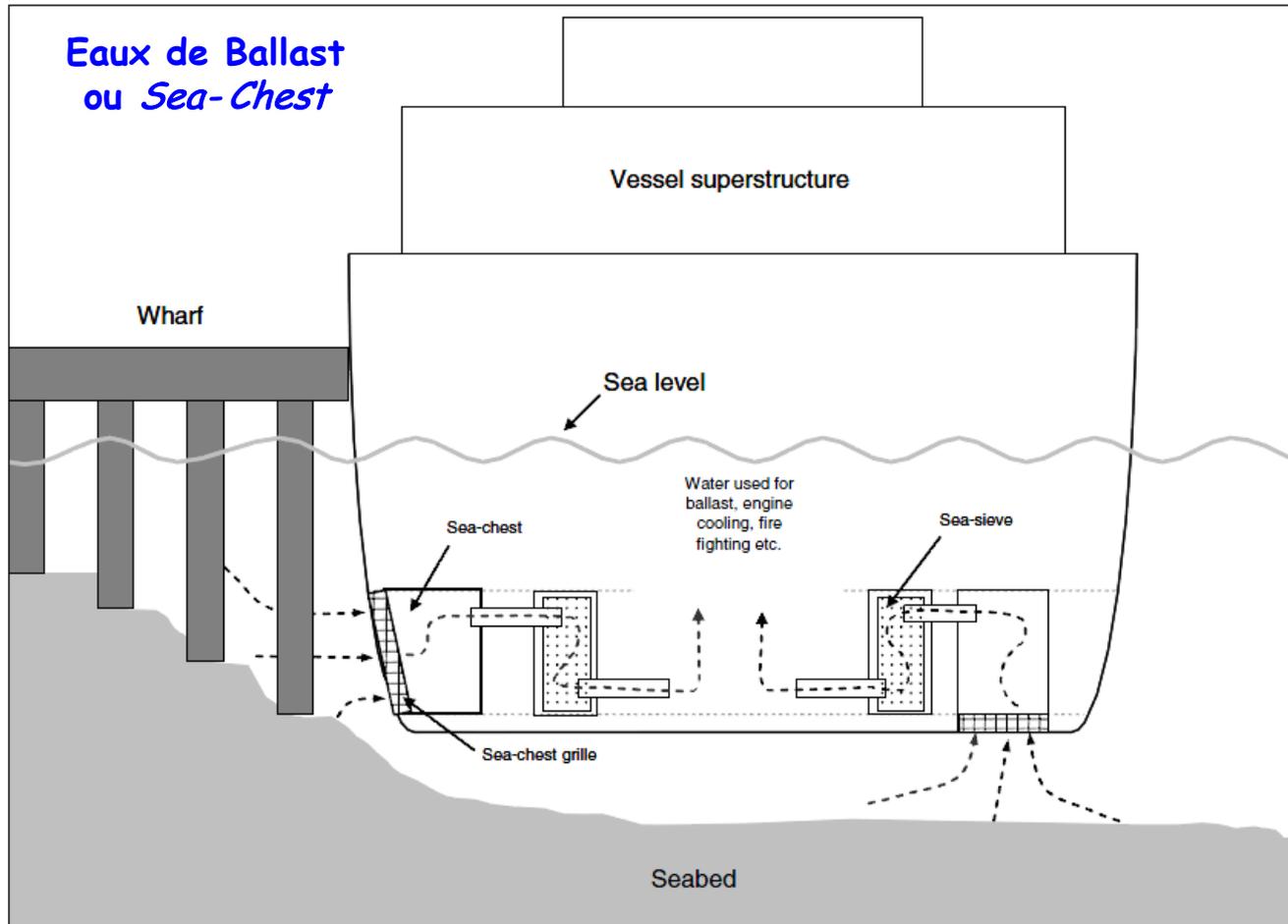


Fig. 1. Schematic diagram of a vessel's sea-chest system.

## La Mye des sables (*Mya arenaria*) : une histoire complexe

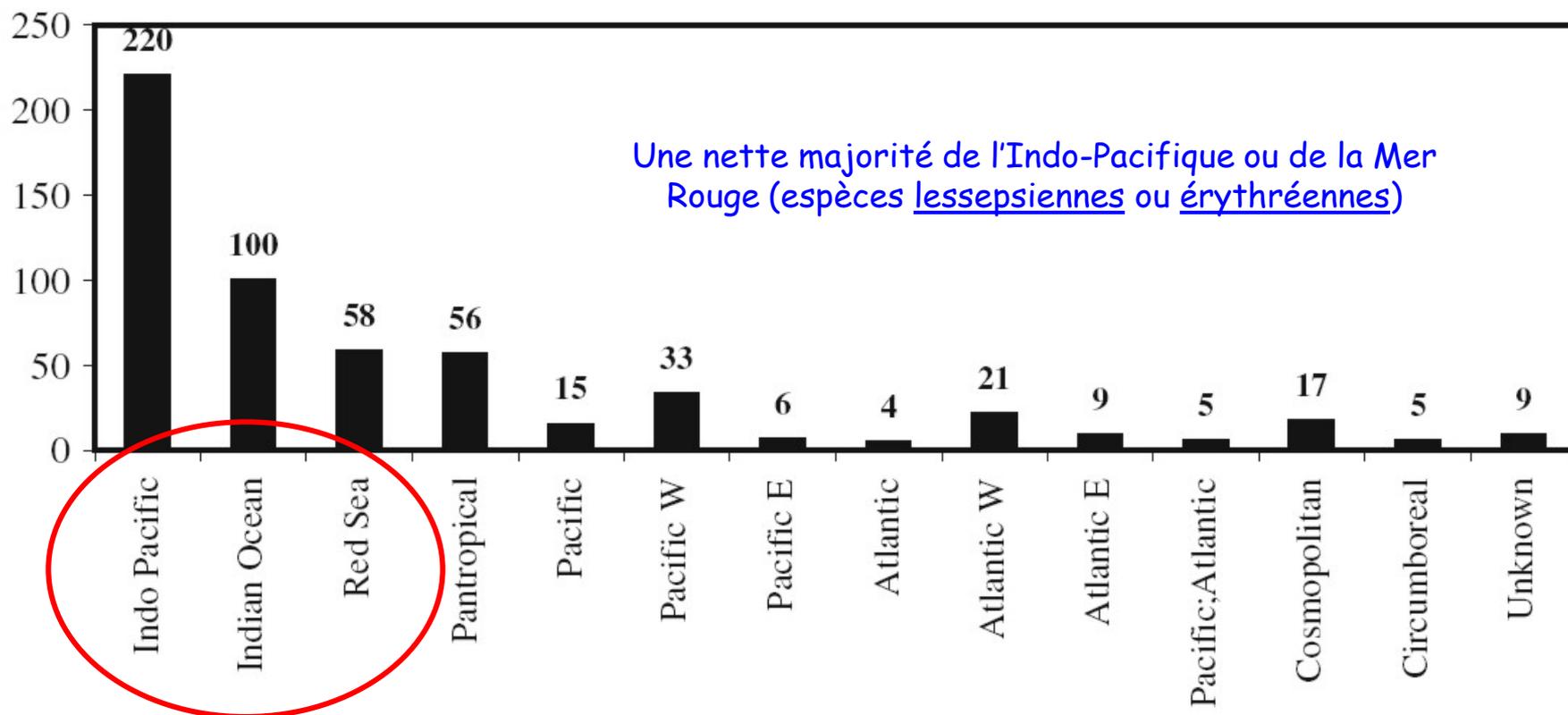


- Miocène : Extension naturelle du Pacifique NW au Pacifique NE, puis, par l'océan Arctique, à l'Atlantique NW.
- 1492 (datation C14) : présence dans le Jutland (Danemark actuel); transport par les Vikings depuis le continent américain
- Passage plus récent (fin XIX ou début XXème) en Méditerranée, pas par Gibraltar, mais transport par l'homme dans un but alimentaire.
- Arrivée en Mer Noire dès 1966, pour les mêmes raisons.
- Une espèce abondante maintenant dans de nombreuses zones sableuses et lagunaires.

(d'après Porcheddu *et al.*, 1999)

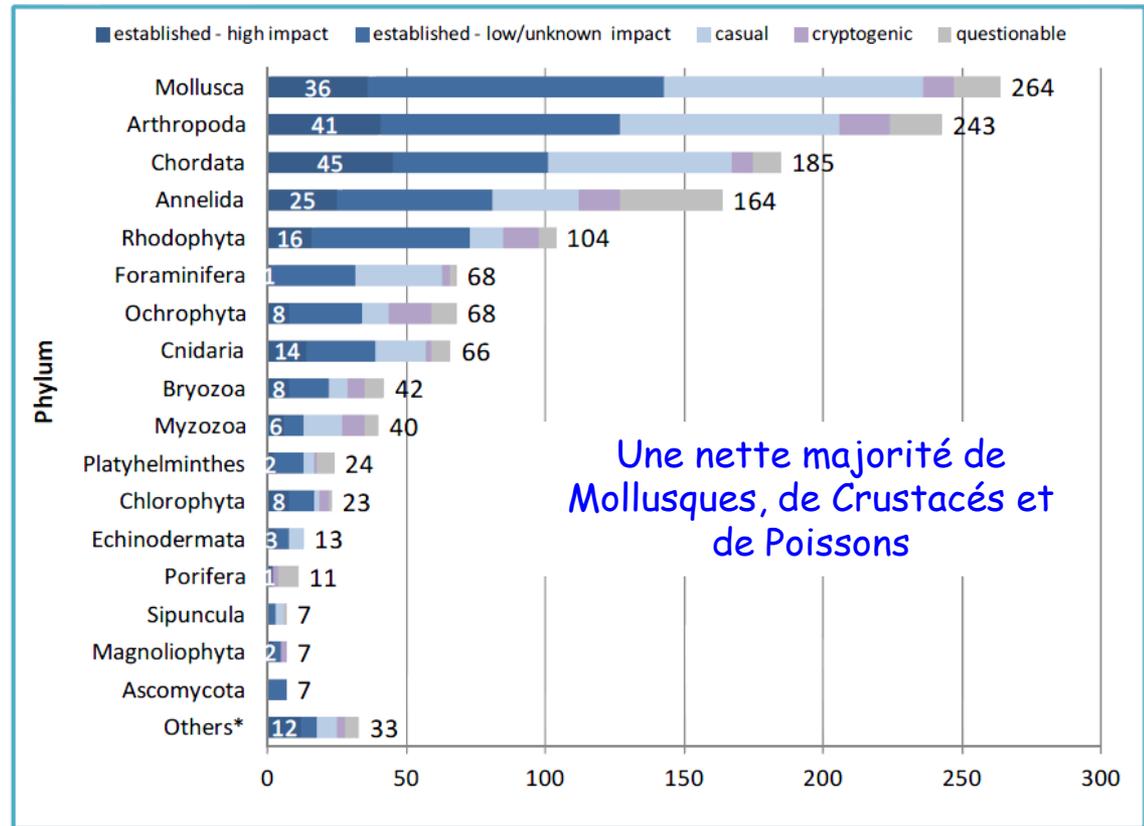
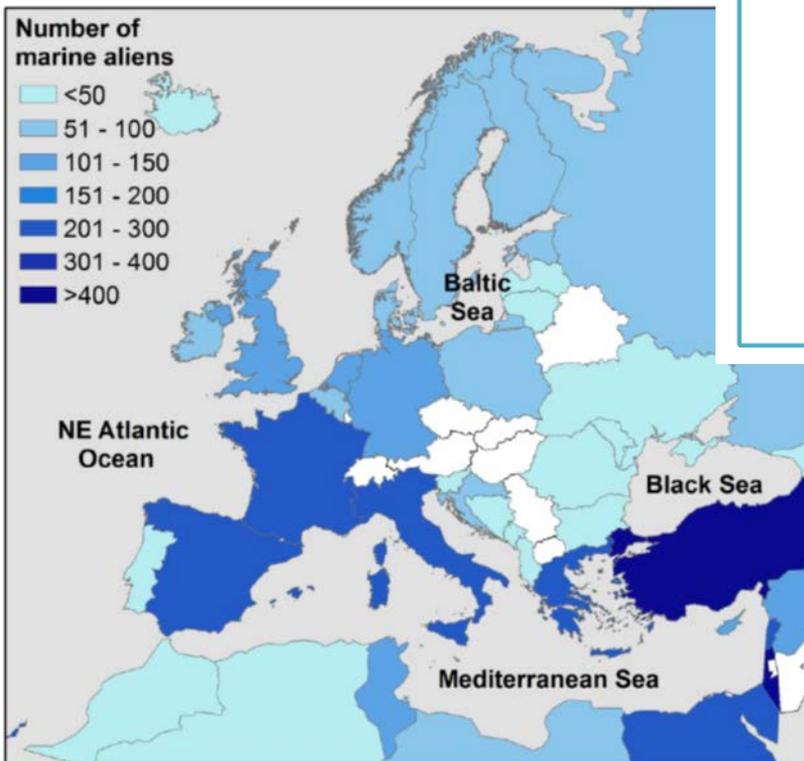
## Des espèces nouvelles : de quelles provenances ?

### Cas de la Méditerranée



(d'après Galil, 2008)

## Mers Europe

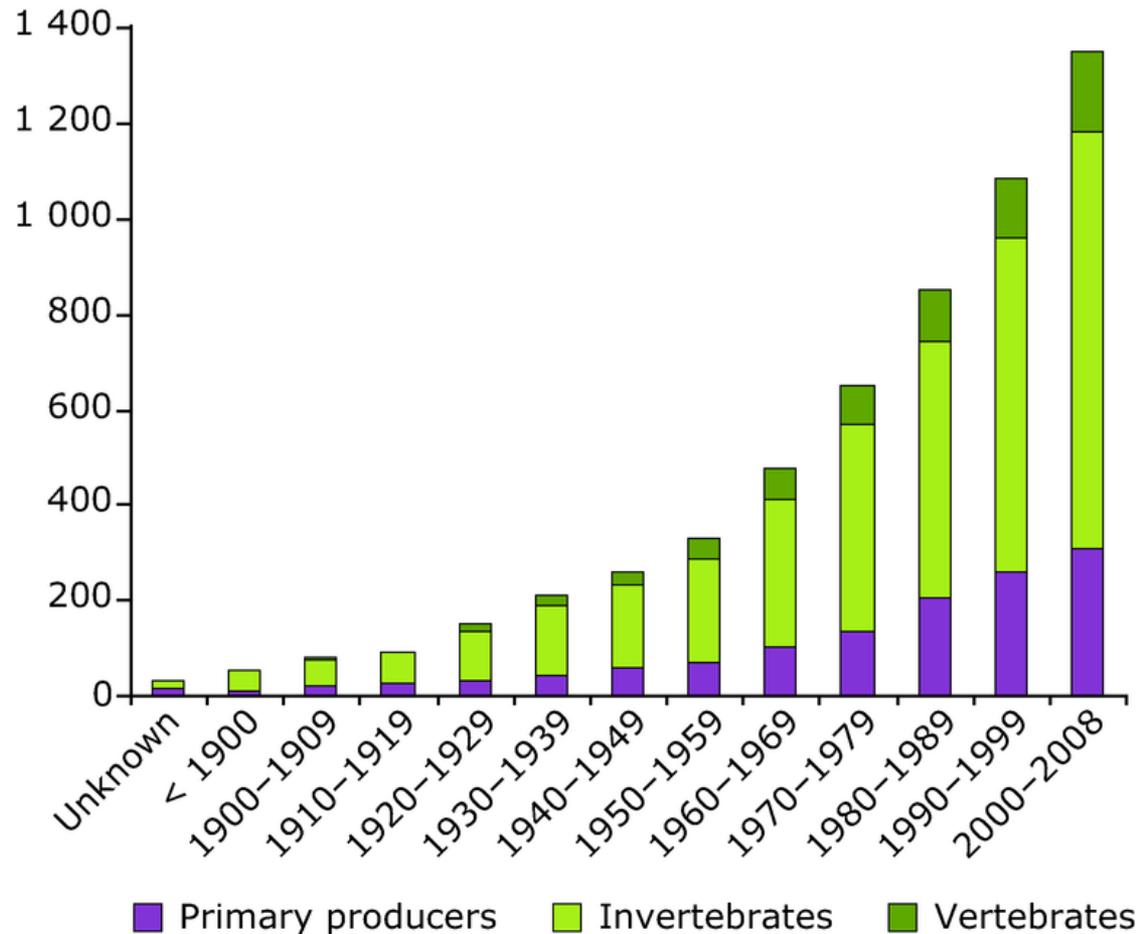


Une nette majorité de Mollusques, de Crustacés et de Poissons

(Katsanevakis *et al.*, 2013)

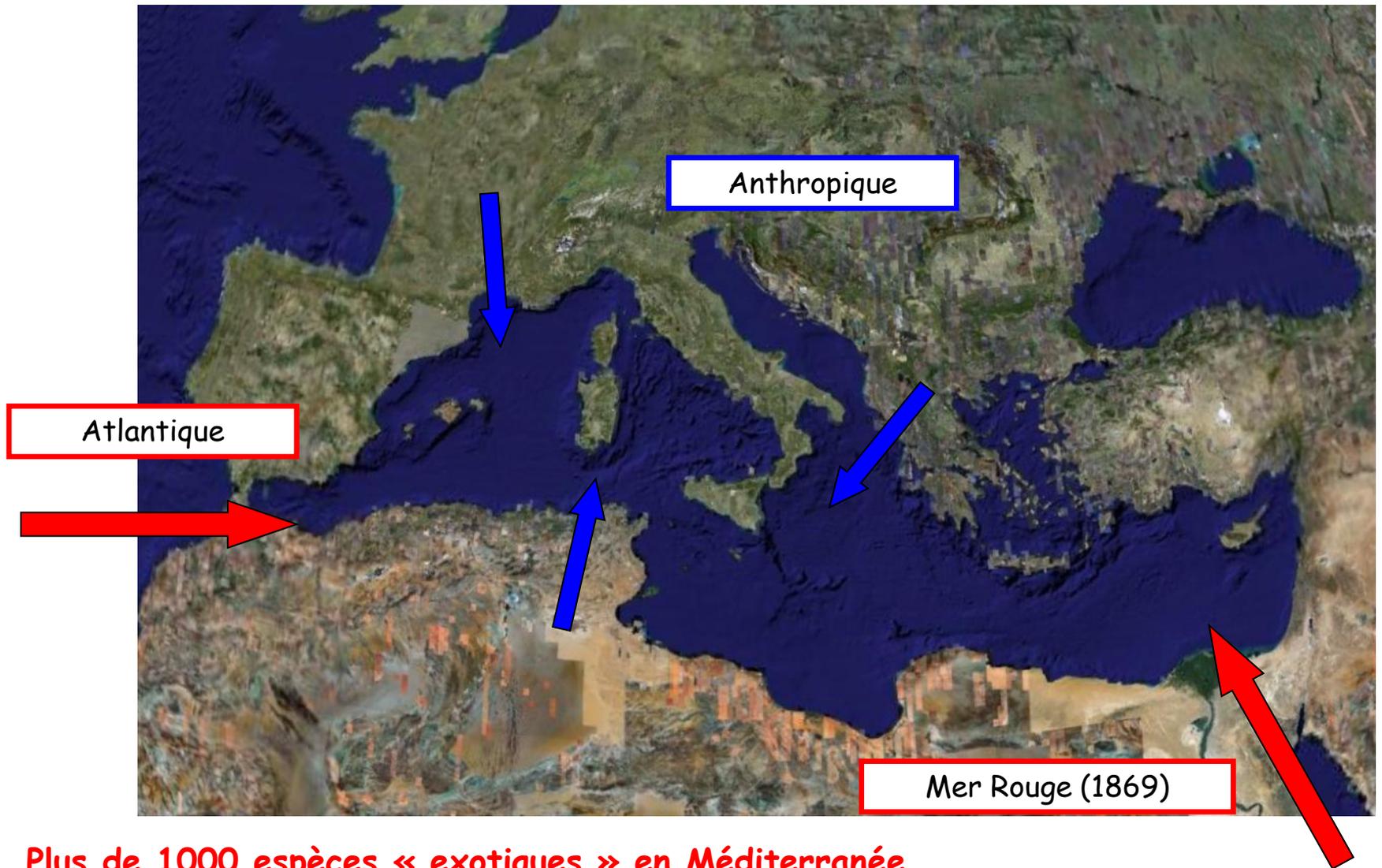
Espèces non-indigènes dans les eaux européennes, estuaires compris

Cumulative number of species



<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/invasive-alien-species-in-europe/invasive-alien-species-in-europe>

## Des espèces nouvelles en Méditerranée par 3 voies possibles



Plus de 1000 espèces « exotiques » en Méditerranée

## Changement Global : quelles conséquences ?

Les liens entre les modifications physiques/chimiques observées et les réponses biologiques/écologiques sont loin d'être simples à établir !

1. des eaux plus chaudes, donc des espèces d'eau chaude ?
2. une modification des courants marins ?
3. des espèces soumises à des eaux plus acides ?
4. l'avenir de la Méditerranée ?

## 2. Modification des courants marins

*B. Alhammoud et al. / Progress in Oceanography 66 (2005) 299–320*

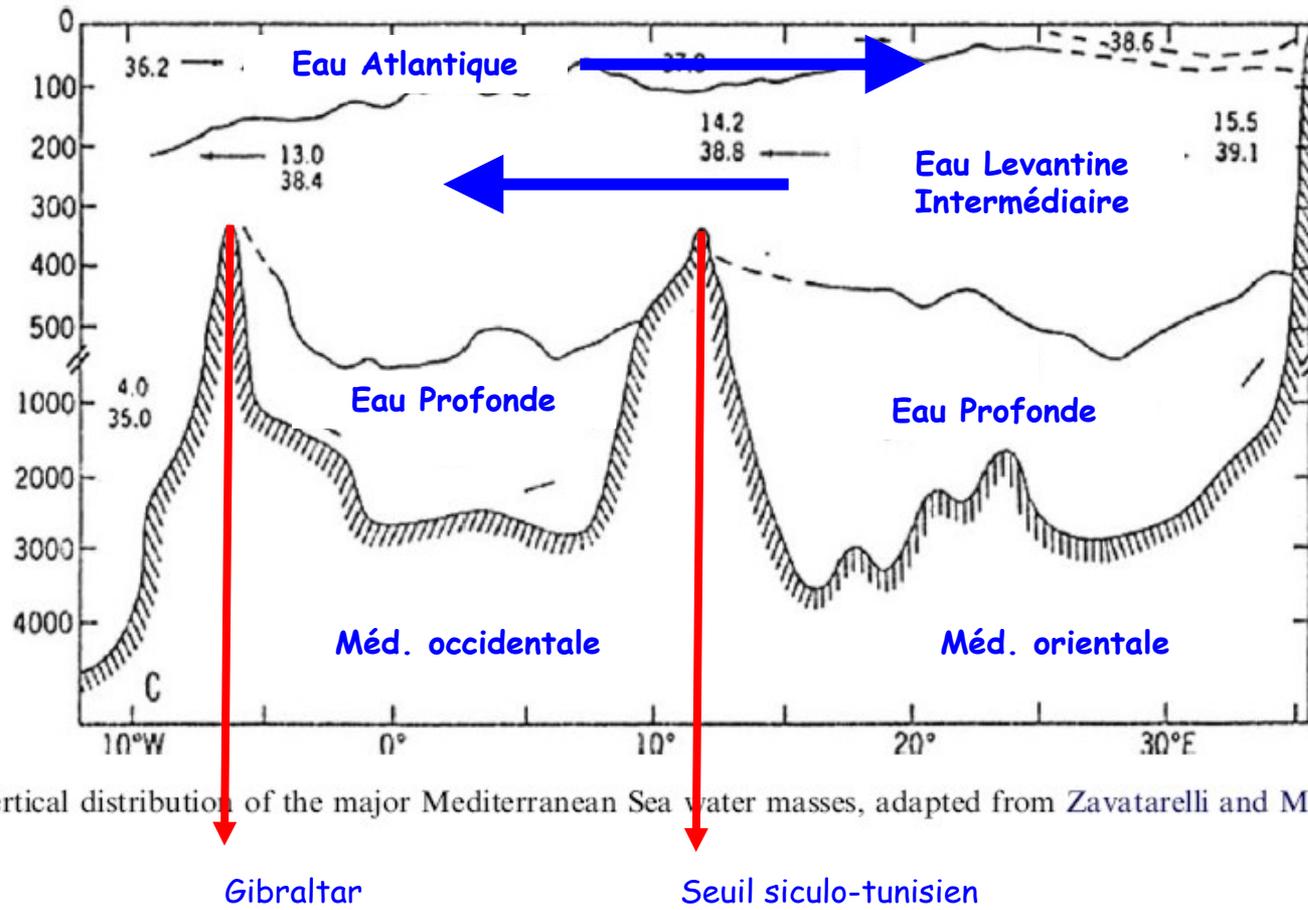
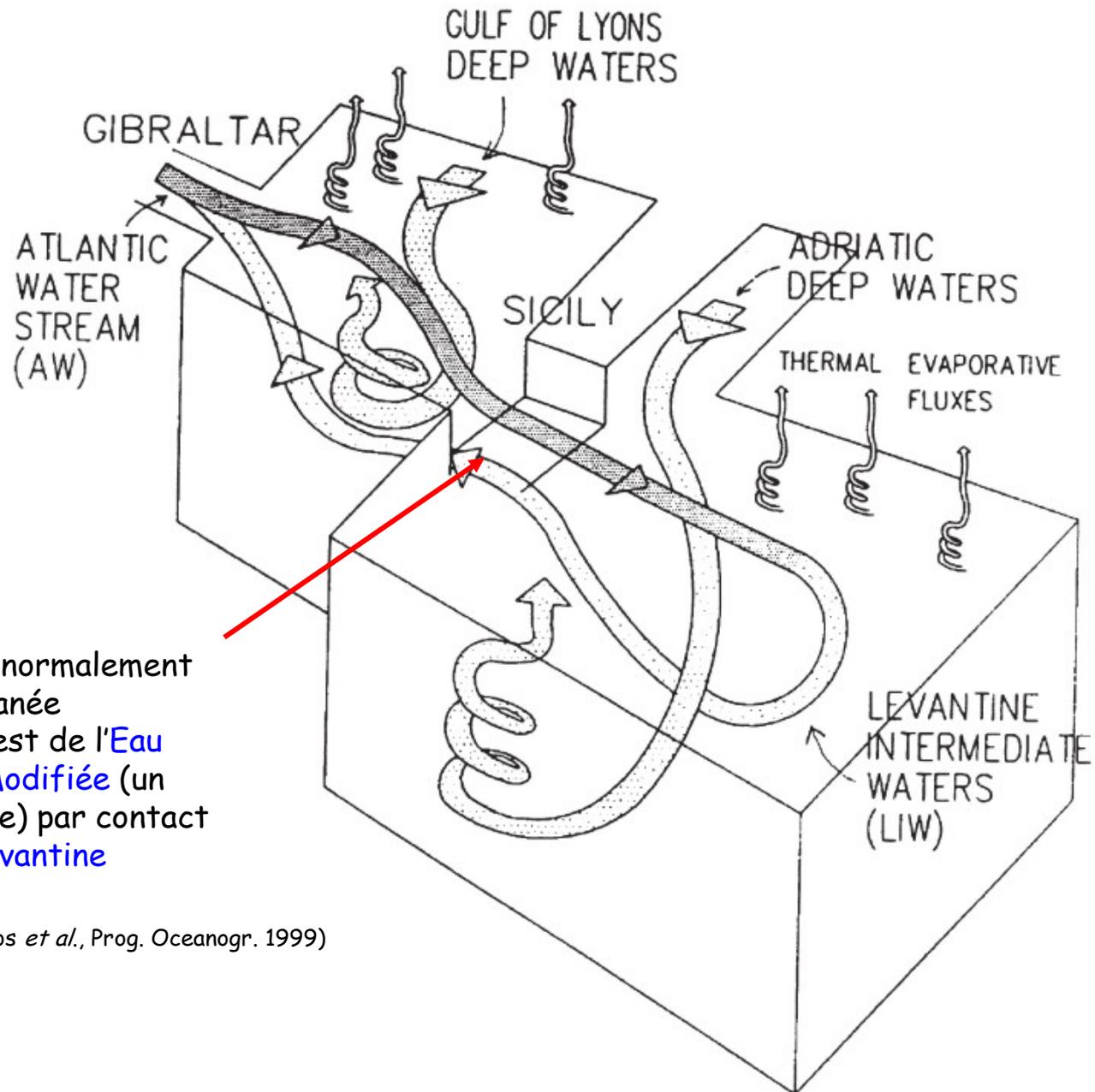


Fig. 2. Vertical distribution of the major Mediterranean Sea water masses, adapted from Zavatarelli and Mellor (1995).

## Méditerranée : une mer en pleine mutation biogéographique



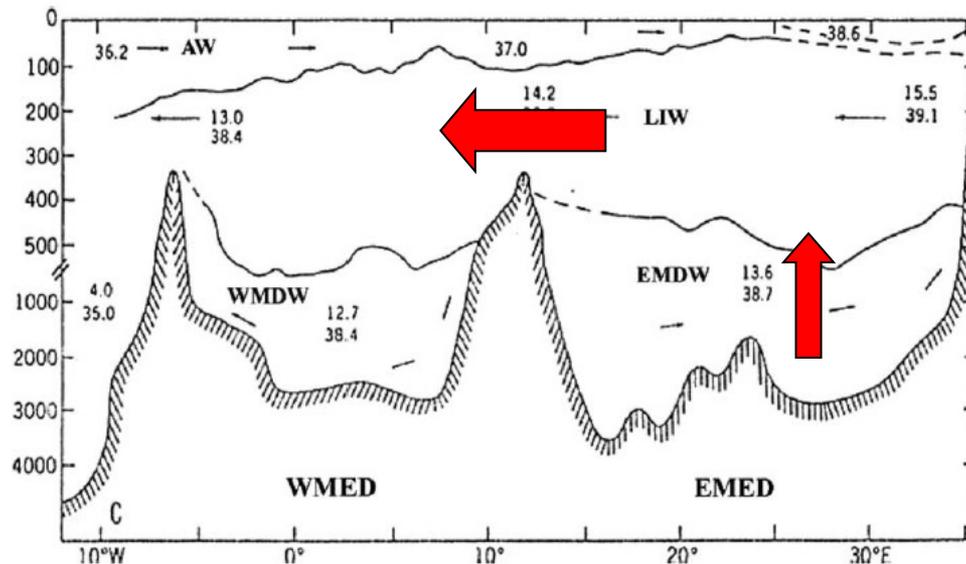
Ce qui passe normalement en Méditerranée occidentale est de l'Eau Atlantique Modifiée (un peu plus salée) par contact avec l'Eau Levantine

(d'après Lascaratos *et al.*, Prog. Oceanogr. 1999)

## Changements récents :

- entre 1987 et 1995, un changement majeur : la formation de l'eau profonde en Méditerranée orientale se fait **à partir de la mer Égée et non de l'Adriatique**
- 3 fois plus d'eau profonde, plus chaude et plus salée
- **modification profonde des échanges** entre les deux bassins Ouest et Est

*B. Alhammoud et al. / Progress in Oceanography 66 (2005) 299–320*



**Conséquences probables pour la répartition des espèces dans les deux bassins**

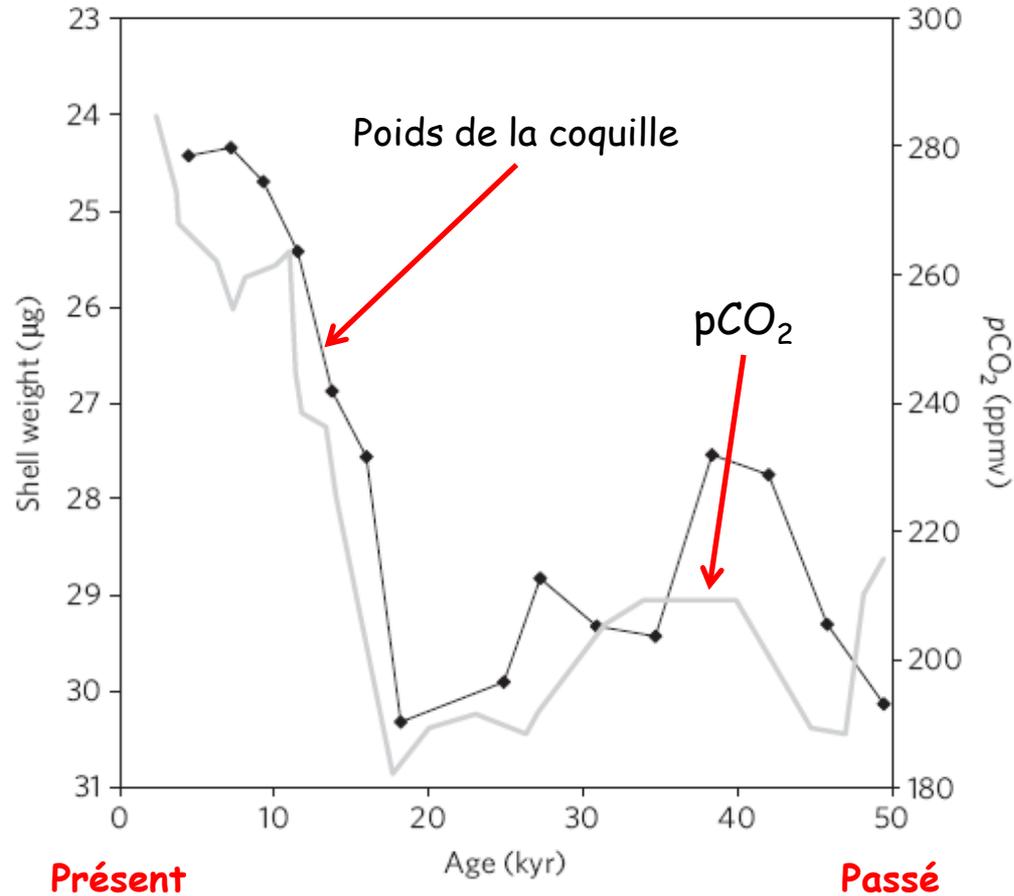
Fig. 2. Vertical distribution of the major Mediterranean Sea water masses, adapted from Zavatarelli and Mellor (1995).

## Changement Global : quelles conséquences ?

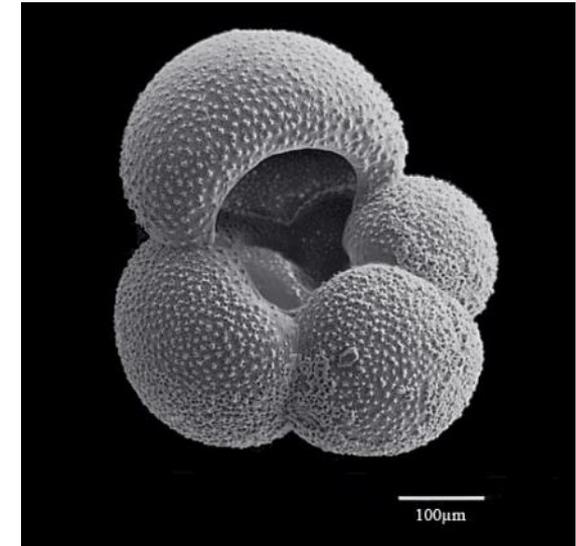
Les liens entre les modifications physiques/chimiques observées et les réponses biologiques/écologiques sont loin d'être simples à établir !

1. des eaux plus chaudes, donc des espèces d'eau chaude ?
2. une modification des courants marins ?
3. des espèces soumises à des eaux plus acides ?
4. l'avenir de la Méditerranée ?

### 3. Acidification des eaux

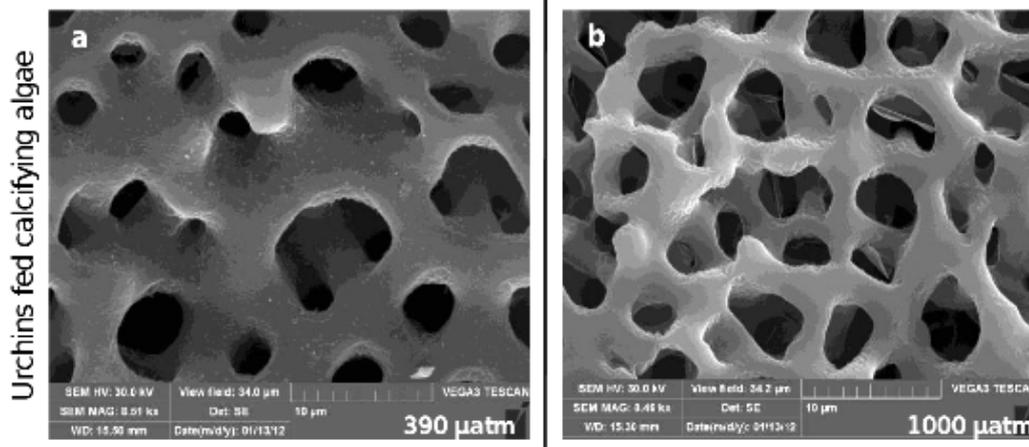


Evolution du poids de la coquille de *Globigerina bulloides* (Foraminifère planctonique)



(d'après Moy *et al.*, 2009)

## Acidification des eaux



pH normal

pH acide

Photographies (microscope électronique à balayage) de la lanterne d'Aristote de l'oursin commun dans deux conditions de pH

(d'après Asnaghi *et al.*, 2013 et 2014)



- Diminution de la masse de la lanterne = difficultés à se nourrir
- Diminution de la résistance du test = augmentation de la vulnérabilité vis-à-vis des prédateurs

## Changement Global : quelles conséquences ?

Les liens entre les modifications physiques/chimiques observées et les réponses biologiques/écologiques sont loin d'être simples à établir !

1. des eaux plus chaudes, donc des espèces d'eau chaude ?
2. une modification des courants marins ?
3. des espèces soumises à des eaux plus acides ?
4. l'avenir de la Méditerranée ?

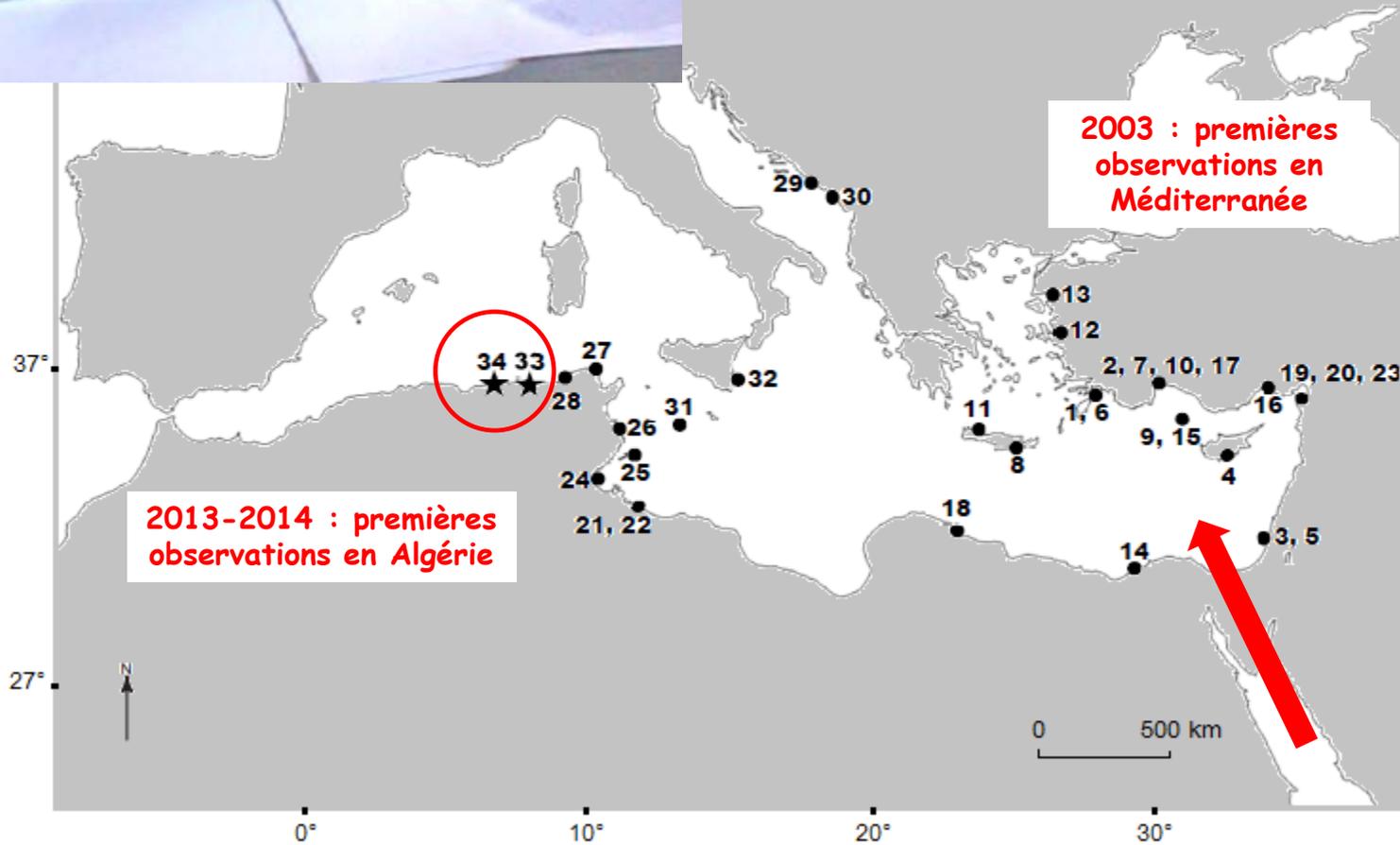
## Quel avenir pour la Méditerranée ?

- le réchauffement climatique se poursuivra ... le changement global aussi
- les arrivées et les modifications en Méditerranée devraient se poursuivre, voire augmenter
- l'intensité du transport maritime ne devrait pas décroître
- les introductions accidentelles continueront et augmenteront d'intensité
- passage de plus en plus fréquent d'espèces lessepsiennes dans le bassin occidental
- ou d'espèces atlantiques dans le bassin oriental
- des espèces (Atlantique ou Indo-Pacifique) nouvelles et toxiques

# Méditerranée : une mer en pleine mutation biogéographique



*Lagocephalus  
sceleratus*



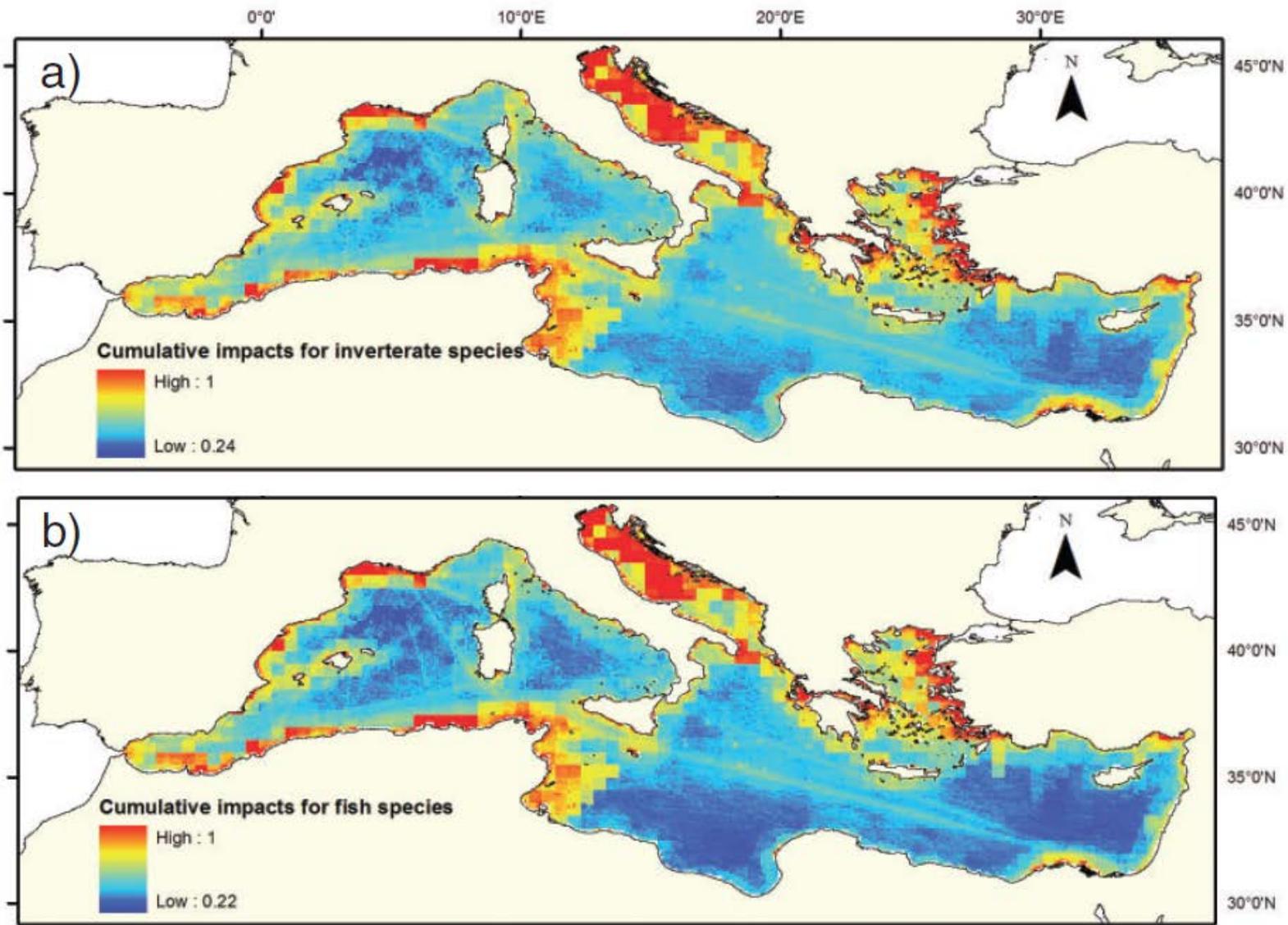
(d'après Kara *et al.*, 2015)

## Quel avenir pour la Méditerranée ?

- le réchauffement climatique se poursuivra ... le changement global aussi
- les arrivées et les modifications en Méditerranée devraient se poursuivre, voire augmenter
- l'intensité du transport maritime ne devrait pas décroître
- les introductions accidentelles continueront et augmenteront d'intensité
- passage de plus en plus fréquent d'espèces lessepsiennes dans le bassin occidental
- ou d'espèces atlantiques dans le bassin oriental
- des espèces (Atlantique ou Indo-Pacifique) nouvelles et toxiques
- les impacts seront d'autant plus importants que les peuplements d'origine seront perturbés ou affaiblis

**En conclusion : nous assisterons au cours des prochaines années à une modification profonde et rapide des principaux milieux en Méditerranée ... sans oublier les impacts « directs » dus à l'homme !**

# Méditerranée : une mer en pleine mutation biogéographique



(d'après Coll *et al.*, 2012)

## Conclusions

- des modifications inéluctables dues au changement global ...
- ... et aux activités humaines
- ces modifications seront rapides, trop rapides, pour que les espèces s'adaptent
- seuls les milieux en « bon état » pourront (peut-être) résister

## Il faut donc :

- protéger, rapidement et efficacement, les milieux côtiers (priorité)
- apprendre à évaluer le bon état écologique
- comprendre que ces modifications auront des répercussions sur les services rendus par les écosystèmes, donc sur l'homme !
- informer et diffuser l'information disponible

***Merci de votre attention***



## Espèces (*Species*)

exotiques	( <i>exotic</i> )	▪ présence dans une zone géographique où l'espèce était originellement absente
non-indigènes	( <i>non indigeneous</i> )	▪ discontinuité géographique entre les zones
introduites	( <i>introduced</i> )	▪ l'extension est liée directement ou indirectement à l'homme
	( <i>non native, aliens</i> )	
naturalisées	( <i>naturalized</i> )	▪ espèces établies durablement dans une nouvelle zone (reproduction)
établies	( <i>established</i> )	
invasives		▪ impacts écologiques et/ou économiques à l'échelle d'autres espèces
envahissantes	( <i>invasive</i> )	▪ impacts écologiques et/ou économiques à l'échelle des habitats

**Biodiversité = Espèces natives + NIS (Etablies (Invasives))**

## Comment devient-on une espèce « exotique » ?

- une espèce est considérée comme exotique quand elle observée en dehors de son aire de répartition connue ou supposée
- l'espèce doit pouvoir se déplacer seule ou être déplacée (vecteur)
- seuls quelques individus peuvent « passer » en Méditerranée
- l'espèce ne sera considérée comme installée que si de nombreux individus sont présents et si la reproduction a réellement lieu (l'augmentation d'effectif n'est plus due aux seules arrivées)

## Comment devient-on une espèce « exotique » ?

- une espèce est considérée comme exotique quand elle observée en dehors de son aire de répartition connue ou supposée
- l'espèce doit pouvoir se déplacer seule ou être déplacée (vecteur)
- seuls quelques individus peuvent « passer » en Méditerranée
- l'espèce ne sera considérée comme installée que si de nombreux individus sont présents et si la reproduction a réellement lieu (l'augmentation d'effectif n'est plus due aux seules arrivées)

## et invasive ?

- développement direct (reproduction) ou indirect conduisant à des populations très abondantes
- développement aux dépens des espèces locales
- absence de prédateur ou de compétiteur; donc pas de régulation ou de contrôle de l'expansion

## Comment une population est contrôlée ?

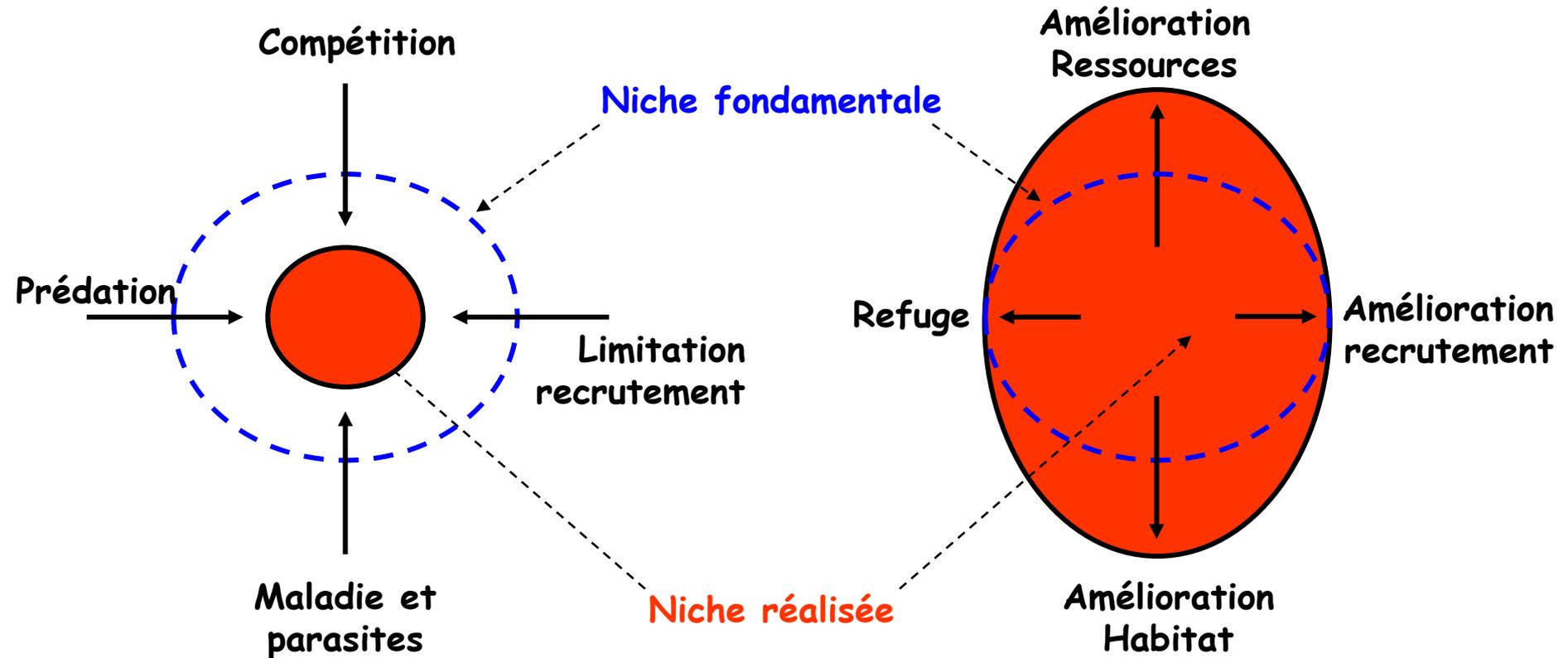
- habitat
- ressources trophiques
- prédation

Une espèce, quelle soit un prédateur en bout de chaîne alimentaire ou non, sera toujours limitée par la quantité d'habitat disponible, la quantité de ressources trophiques auxquelles elle peut accéder et l'existence de prédateurs.

**Niche écologique = (habitat, ressources trophiques, compétiteurs)**

Si une niche est vide, une espèce nouvelle peut alors s'installer.

## Théorie de la facilitation

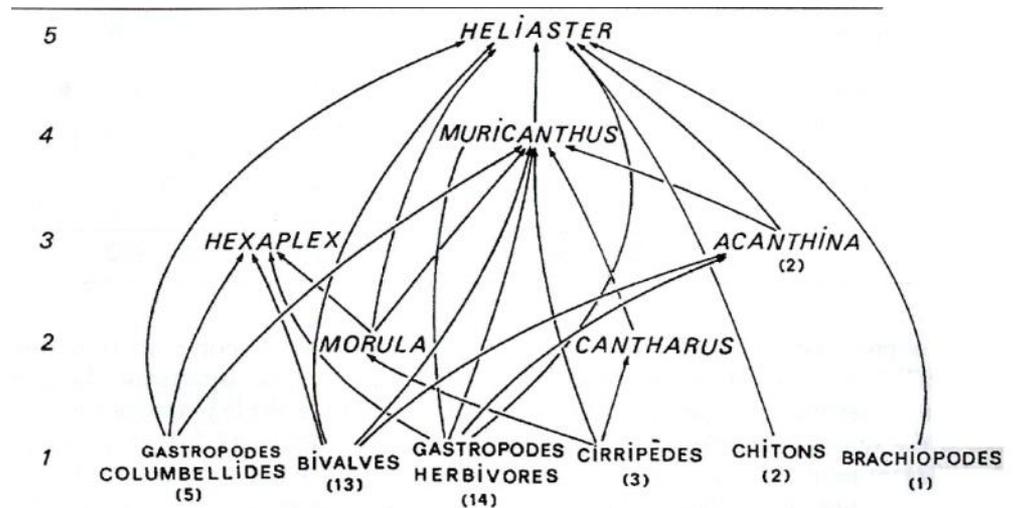


(redessiné d'après Bruno *et al.*, 2003)

### 3 réseaux trophiques de la zone intertidale aux USA

(études de Paine) :

**Basse Californie** - 45 espèces, dont 2 super-prédateurs, une étoile de mer (*Heliaster*) et un gastéropode (*Muricanthus*). *Heliaster* consomme *Muricanthus* et procurent ainsi de la place aux autres espèces.



(d'après Paine, 1966 in Dajoz, 1996)

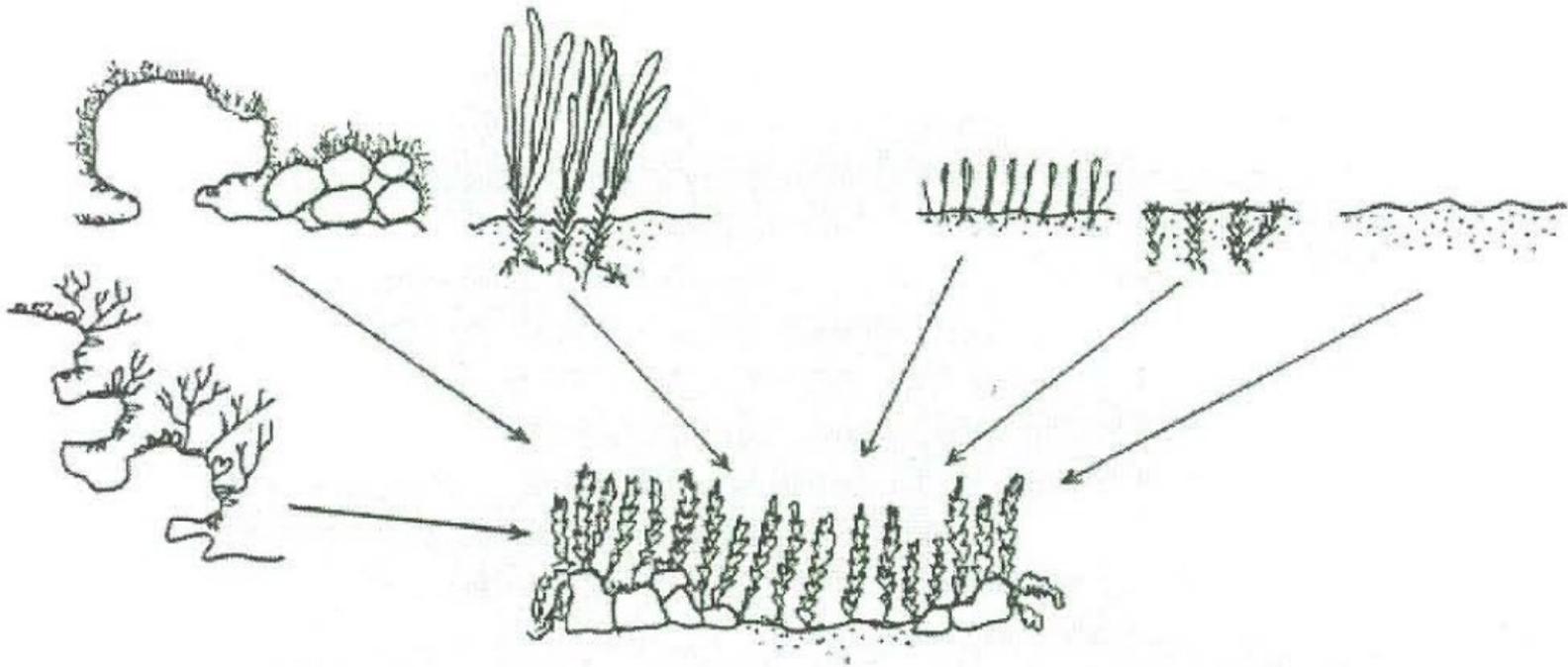
**NW des USA** : le réseau trophique comprend 11 espèces; super-prédateur = étoile de mer *Pisaster*. Par manipulation, l'enlèvement de *Pisaster* a entraîné une diminution, du nombre d'espèces au profit des moules qui tendent à envahir le peuplement.

**Costa Rica** : pas de prédateur de second ordre et le réseau trophique est réduit à 8 espèces seulement.



**HIGH structural complexity**

**LOW structural complexity**



⇒ **Homogenization of macrohabitats**

⇒ **Decrease in microhabitats**

(Harmelin-Vivien M., Francour P., Harmelin J.G. 1999)

Suivi de la densité des juvéniles de *Coris julis* dans une prairie de *Caulerpa taxifolia* : effet de la complexité de l'habitat

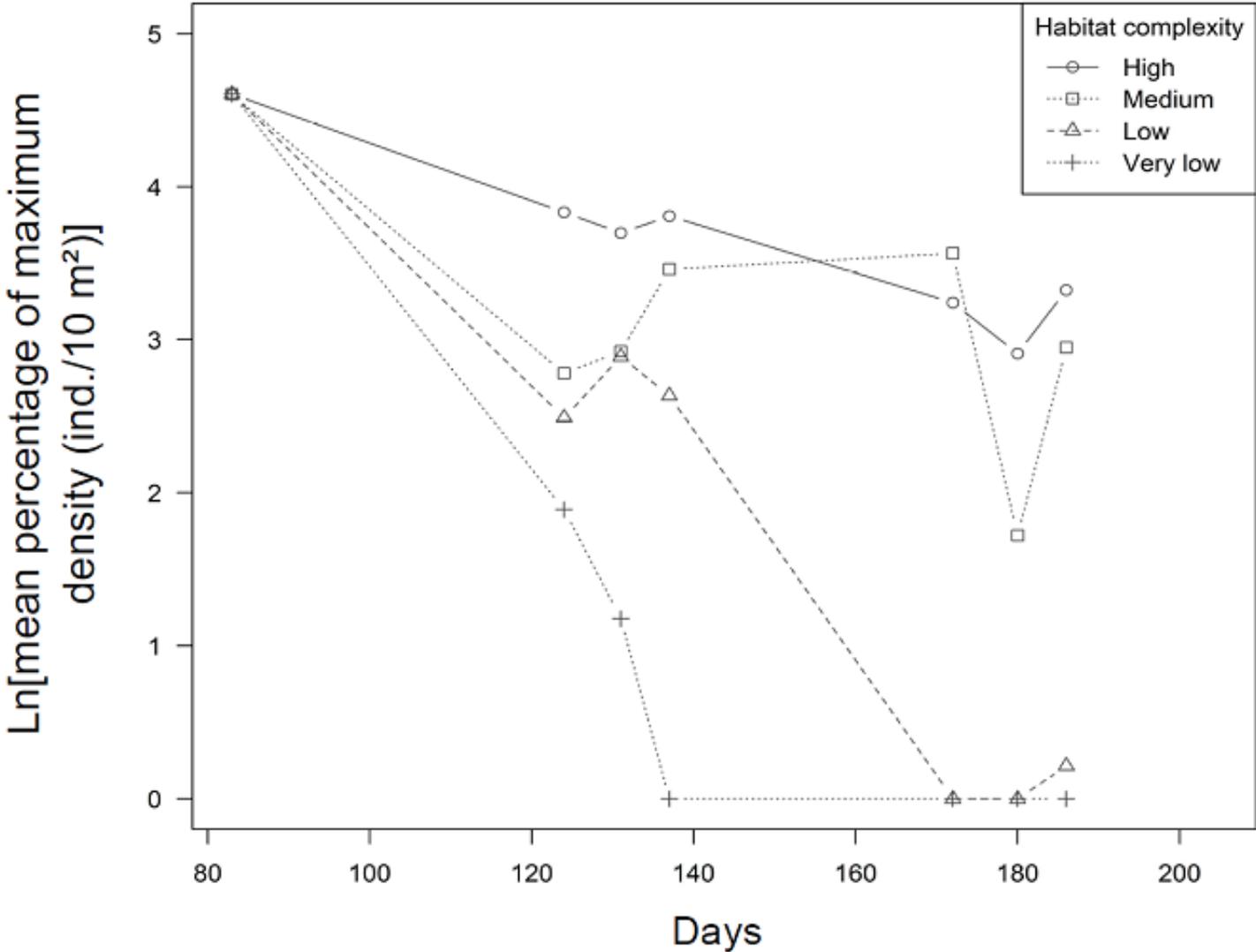
**Observations** : (i) très fort recrutement de juvéniles; (ii) significativement moins d'adultes sur les prairies fortement colonisées.

**Hypothèse** : mortalité liée à l'absence d'habitat convenable



21	0
14	6
6	14
0	21

Design des champs de parpaings



## Pourcentage de poissons ichtyophages (% biomasse du peuplement total) dans et à proximité d'aires marines protégées en Méditerranée

Marine Protected Area (country)	Date of creation	Station (status)	Proportion of predators (% of total fish biomass)	Source; Year of data acquisition
National Park of Port-Cros (France)	1963	Gabinière (NT)	33.4	A; 2004
		La Galère (R)	16.5	B; 2006
		Montrémiant (R)	7.5	B; 2006
Natural Reserve of Banyuls-sur-mer	1974	Rederis (NT)	28.8	C; 2008
		Cap Abeille (R)	24.5	C; 2008
		North (OR)	5.8	C; 2008
		South (OR)	2.3	C; 2008
Natural Reserve of Scandola (Corsica, France)	1975	Palazzu (NT)	44.5	B; 2000
		Punta Nera (R)	5.0	B; 2000
		South (OR)	11.0	B; 1997
		North (OR)	13.0	B; 1997
Natural Reserve of Medes Island	1983	Protected 1 (NT)	14.2	D; 1998
		Protected 2 (NT)	46.8	D; 1998
		Unprotected 1 (OR)	3.4	D; 1998
		Unprotected 2 (OR)	1.5	D; 1998

NT: *no-take area* (réserve intégrale); R: Réserve avec quelques activités de prélèvements, OR: *outside reserve* (hors réserve)

(modifié d'après Francour *et al.*, 2010)