

J Lecomte, CNRS OOB 2000



© A. Stéphan 1990

© T Boulinier, 2006



© G Boeuf, 2001



©M Taquet, 2005



# Biodiversité

## érosion et vie dans l'océan

Gilles Boeuf, Université Pierre & Marie Curie/CNRS, Banyuls-sur-mer  
Muséum national d'Histoire naturelle et Collège de France, Paris, 13 mai 2014



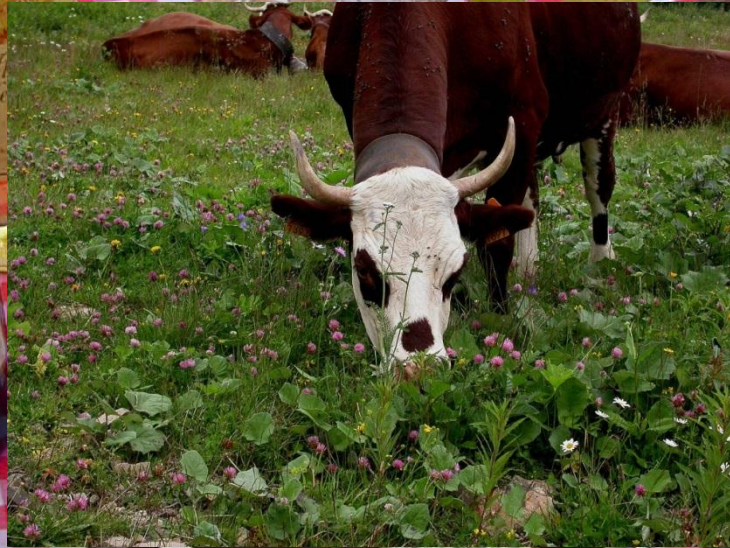
# Biodiversité ?

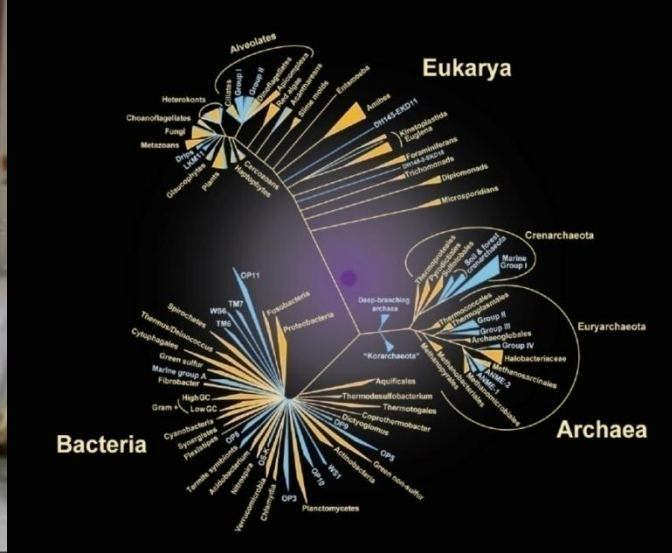
> 1,7 million d'espèces continentales



< 0,3 million d'espèces marines

C'est la **fraction vivante de la Nature**, c'est le vivant dans toute sa diversité et sa complexité

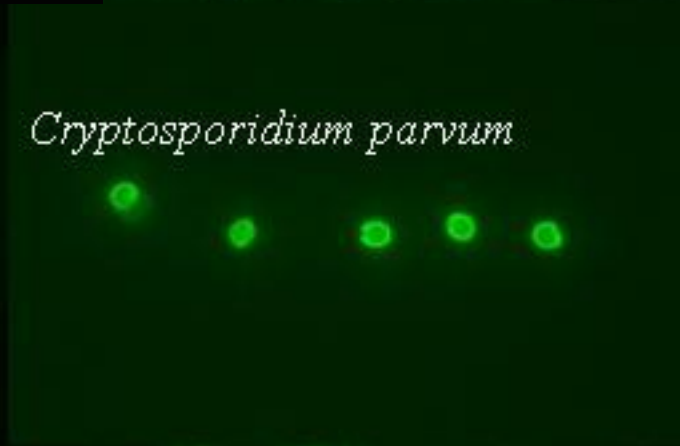




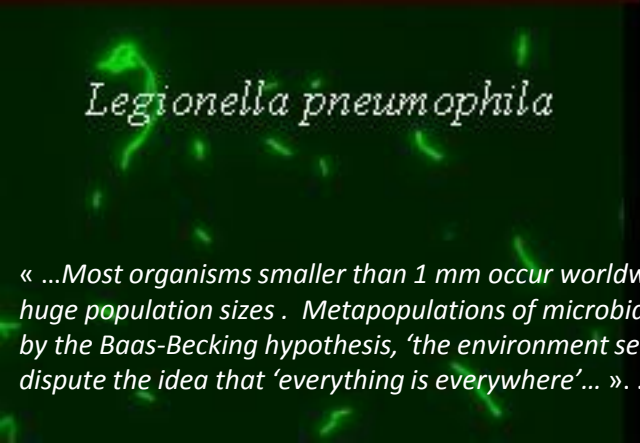
*Naegleria fowleri*



*Giardia spp.*



*Cryptosporidium parvum*



*Legionella pneumophila*



*Escherichia coli*

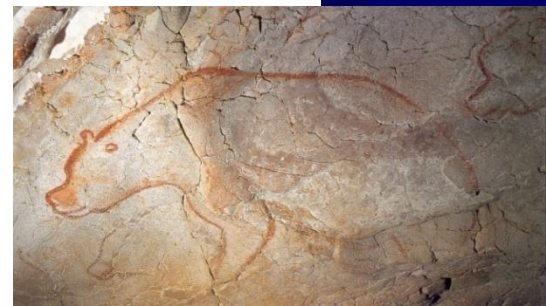
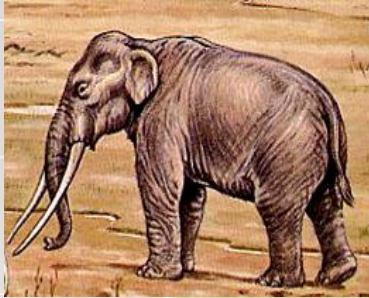
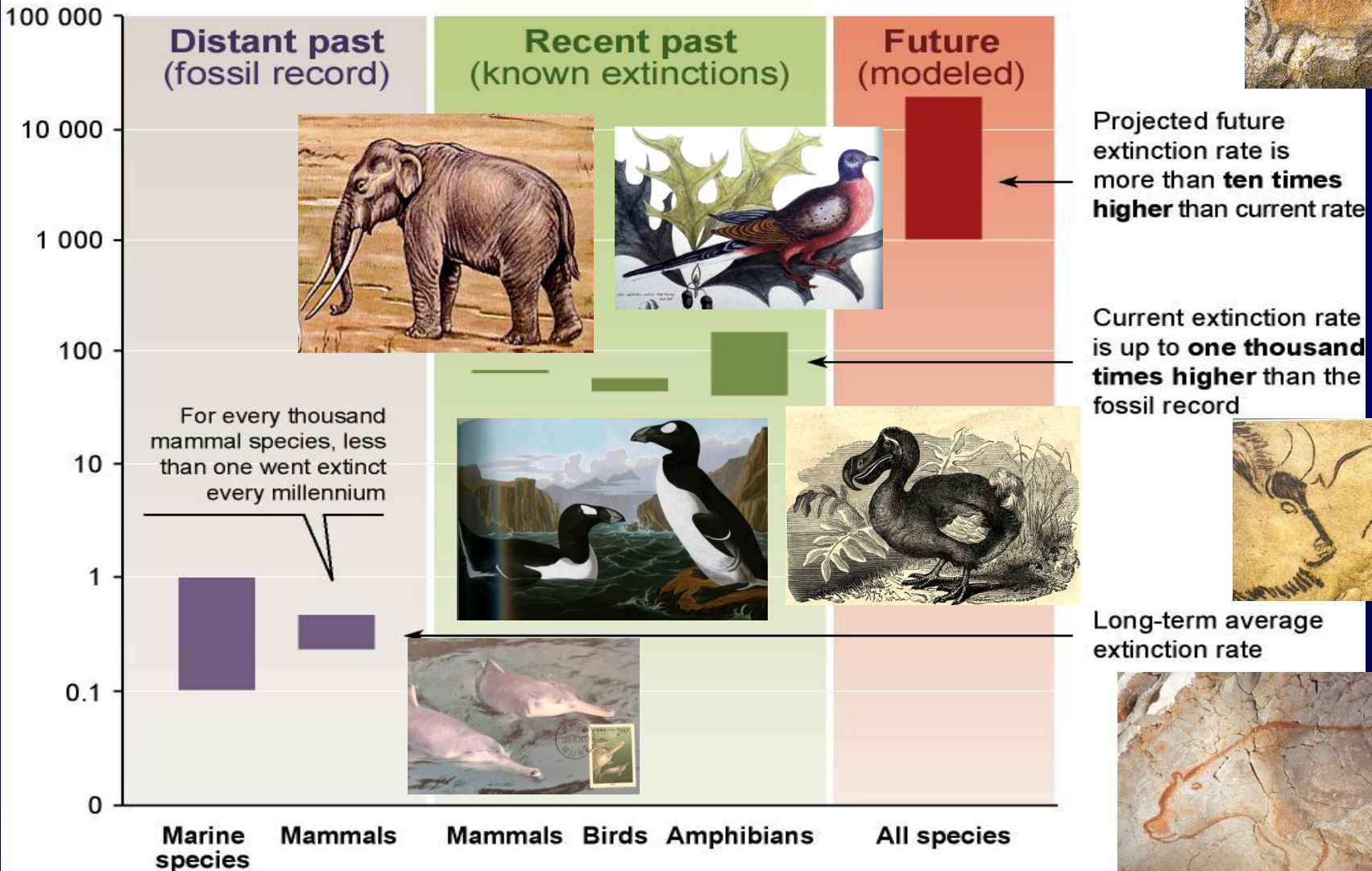


*Virus et bactéries  
Eau de mer naturelle*

« ...Most organisms smaller than 1 mm occur worldwide wherever their required habitats are realised. This is a consequence of ubiquitous dispersal driven by huge population sizes . Metapopulations of microbial eukaryotes are cosmopolitan...” Finlay & Fenchel 2004. “...Current evidence confirms that, as proposed by the Baas-Becking hypothesis, ‘the environment selects’ and is, in part, responsible for spatial variation in microbial diversity. However, recent studies also dispute the idea that ‘everything is everywhere’... ». .Martiny et al., 2006.

# Les extinctions à travers l'histoire

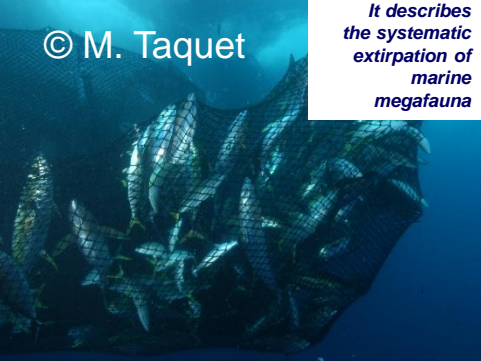
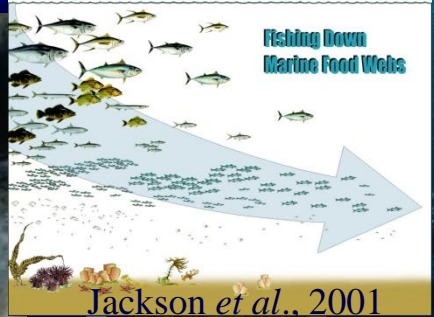
Extinctions per thousand species per millennium



# La biodiversité en danger

The 'fishing down' effect is ubiquitous. It describes the systematic extirpation of marine megafauna

© M. Taquet



1 Destruction et pollution

2 Surexploitation



Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?

Barnosky et al., 2011

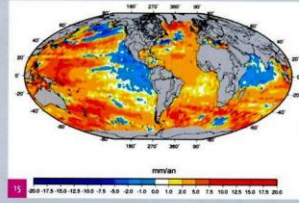
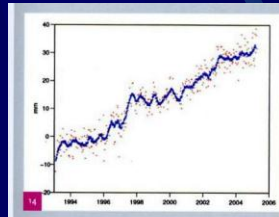
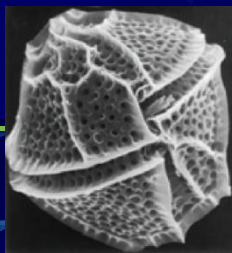
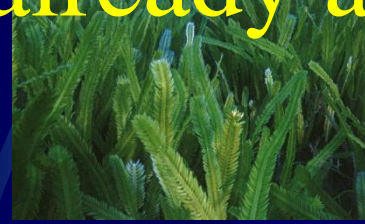
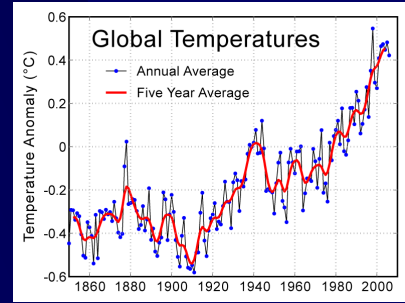


Figure 14 Variations du niveau global de l'océan entre 65°S et 65°N de janvier 1993 à mars 2006. Les points rouges sont les estimations des satellites altimétriques (TOPEX-POSEIDON puis JASON) à 10 jours (temps de parcours d'une orbite complète) et la courbe bleue représente le même signal moyenné. © CNRS, LEGOS

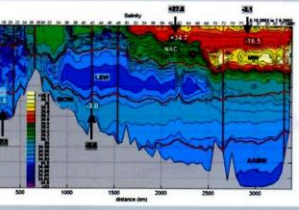


Figure 15 Distribution géographique de la vitesse d'évolution du niveau de l'océan, moyennée entre janvier 1993 et octobre 2005, issu du satellite TOPEX-POSEIDON. © CNRS, LEGOS

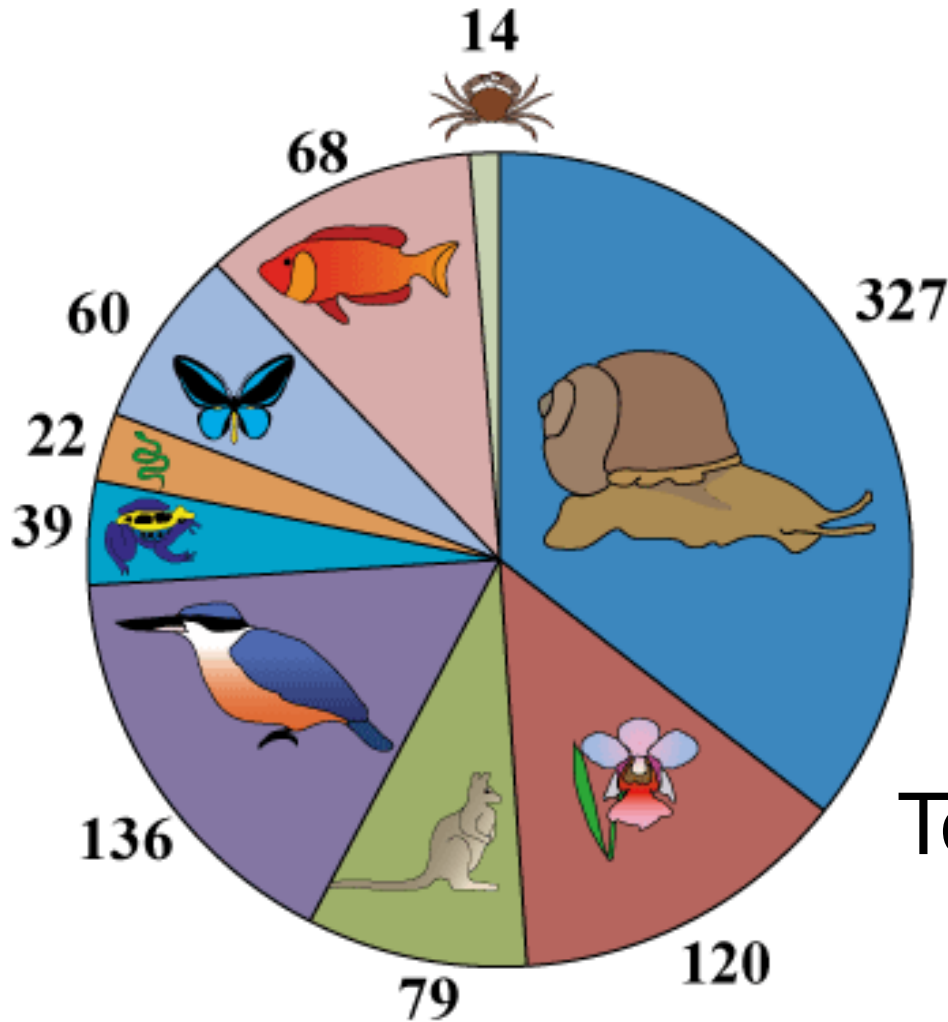
Figure 16 Coupe hydrographique obtenue dans le secteur Atlantique Nord entre le Groenland et le Portugal pendant la campagne OVIDE en 2002 et représentant la salinité, marquant des différents masses d'eau ; sont aussi indiquées les valeurs des flux de masses d'eau significativement différentes entre 1997 (en noir) et 2002 (en blanc). © IFREMER, INSU, LPO

3 espèces invasives

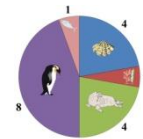
4 Changement climatique

# Liste Rouge UICN 2012

## Espèces éteintes



Dont espèces marines



Total 18

Total 865

# La planète bleue

- La terre est recouverte à plus de 70 % par les mers et océans : la planète bleue
- La vie est apparue dans « l'océan primitif »
- Les caractéristiques de l'eau (salée) sont bien spécifiques
- 12 phyla (sur 31) marins, 13 % des sp connues, mais 10 % de la biomasse carbonée pour les bactéries de la mer, > 50 % pour le plancton en productivité !



CSMer Monaco, 2006



235 000 espèces décrites dont 93 000 pour les seuls récifs coralliens





© J Perrin et J Cluzaud, 2010

OCEANS

UN FILM DE JACQUES PERRIN ET JACQUES CLUZAUD

LE 27 JANVIER 2010

OCEANS

UN FILM DE JACQUES PERRIN & JACQUES CLUZAUD

# La vie en milieu aquatique



- Milieu beaucoup plus stable, très homogène au large, composition fixe,
- Troisième dimension fondamentale, de la surface au fond, pélagos et benthos,
- Milieu visqueux et très dense,
- Milieu continu, questions de dispersion,
- Milieu « protecteur » (rayonnements),
- Milieu beaucoup moins propice à l'endémisme...



# L'Océan lointain...

© A Stéphan, 1990

Anions	g.kg <sup>-1</sup> SW	Cations	
Cl <sup>-</sup>	18.98	Na <sup>+</sup>	10.56
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.65	Mg <sup>2+</sup>	1.27
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.14	Ca <sup>2+</sup>	0.40
Br <sup>-</sup>	0.06	K <sup>+</sup>	0.38
F <sup>-</sup>	0.001	Sr <sup>2+</sup>	0.01
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.03		Tchernia, 1969





© G Boeuf, 2009

- Milieu intérieur humain
- osmolarité, 302 mOsm.l<sup>-1</sup>
- 100-105 mM de Cl<sup>-</sup>
- 138-142 mM de Na<sup>+</sup>
- 3-5 mM de K<sup>+</sup>
- cellule rénale et fluide 3000 mOsm.l<sup>-1</sup>



© G Boeuf, 2009



© G Boeuf, 2005

© G Boeuf, 2011

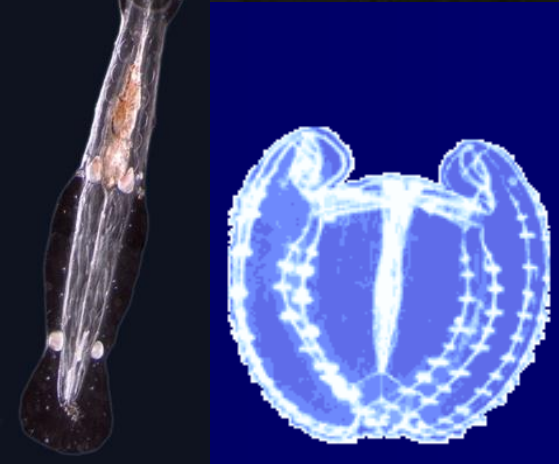
55 % des humains vivent au bord de la mer...

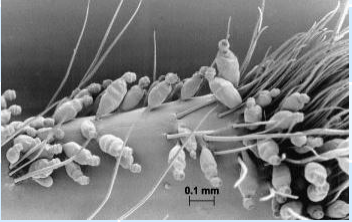



©P. Bouchet, MNHN

# Exclusively Marine Groups

Boeuf, 2011



phylum	Number of sp	pelagic	benthic
<i>Placozoa</i>	3		X
<i>Ctenophora</i>	190	X	
<i>Xenoturbellida</i>	2		X
<i>Cycliophora</i>	2		
<i>Mesozoa</i>	165		
<i>Sipuncula</i>	1284		X
Echiurians	234		X
Phoronidians	31		X
<i>Brachiopoda</i>	441 (> 12000)		X
<i>Echinodermata</i>	> 14000	X	X
<i>Chaetognatha</i>	280	X	X
<i>Hemichordata</i>	143		X
<i>Cephalochordata</i>	25	Sub-phylum	X
<i>Tunicata</i>	3000	Sub-phylum	X

# Pourquoi tant de différences entre océan et continents ?

En terme de nombre d'espèces, 5-7 fois plus sur les continents, C'est assez récent dans l'évolution, 110-120 M d'années, une « histoire d'amour » entre plantes et animaux, pollinisateurs, *fungi*, herbivores et carnivores ? (Grosberg and R. Vermeij, 2010 ; Pennisi, 2010),

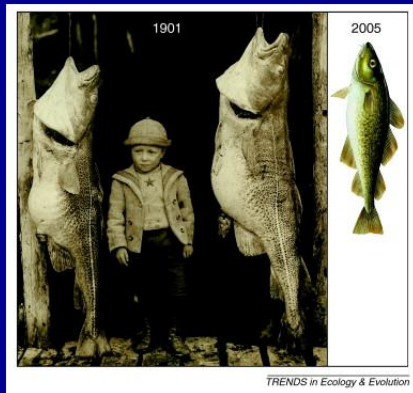
- Faibles densités de population, densités d'individus sur les continents, question des espèces « rares »,
- Questions d'endémisme et de dispersion (Benton, 2001, Kamel *et al.*, 2010, Boeuf, 2011).



« La pêche en mer est libre -, car il est impossible d'en épuiser les richesses ! »

Grotius, Mare Liberum 1609

« Rien de ce que nous faisons ne peut affecter le nombre des poissons ! »



Thomas Huxley

Grande exposition internationale de Londres 1883

« On a calculé que si aucun accident ne perturbait la ponte des œufs, et si chaque œuf atteignait sa maturité, cela ne prendrait que trois ans pour remplir la mer à tel point qu'on pourrait traverser l'Atlantique à pied sec sur le dos des morues ! »

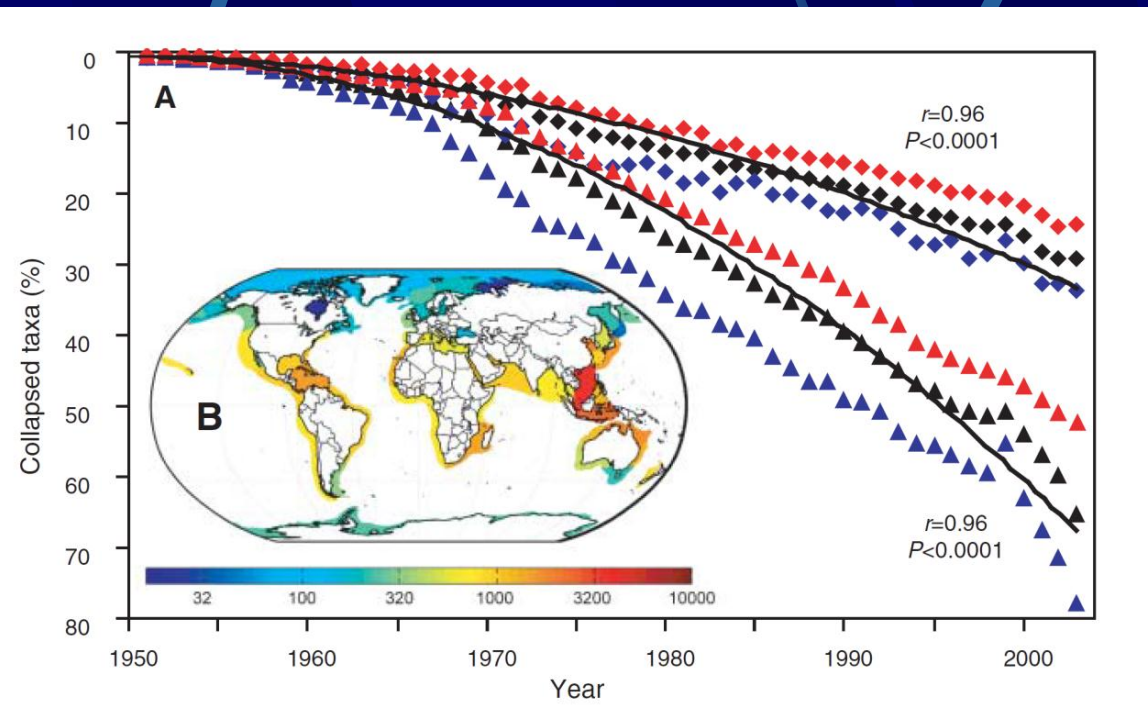
Alexandre Dumas, père, 1873



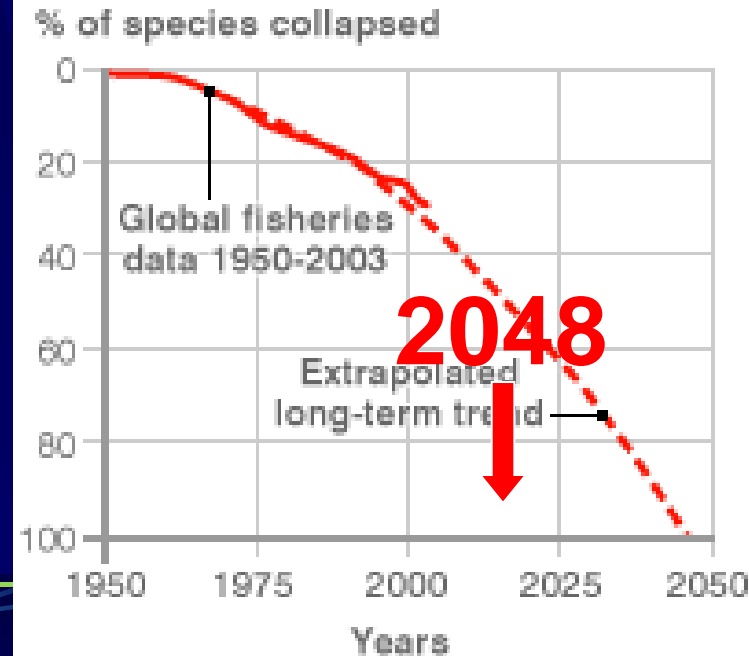


# Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services

Boris Worm,<sup>1\*</sup> Edward B. Barbier,<sup>2</sup> Nicola Beaumont,<sup>3</sup> J. Emmett Duffy,<sup>4</sup> Carl Folke,<sup>5,6</sup> Benjamin S. Halpern,<sup>7</sup> Jeremy B. C. Jackson,<sup>8,9</sup> Heike K. Lotze,<sup>1</sup> Fiorenza Micheli,<sup>10</sup> Stephen R. Palumbi,<sup>10</sup> Enric Sala,<sup>8</sup> Kimberley A. Selkoe,<sup>7</sup> John J. Stachowicz,<sup>11</sup> Reg Watson<sup>12</sup>



## GLOBAL LOSS OF SEAFOOD SPECIES



# « Shifting baseline » © P Bouchet, 2012

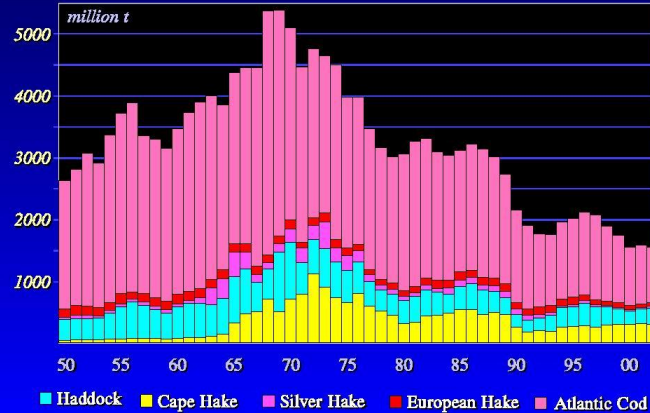
1926 – Thon rouge en mer du Nord



1957 - Trophées de Key West (USA)



Catch of major demersal fish



(EAO, 2004)

Début des années 80 – Key West

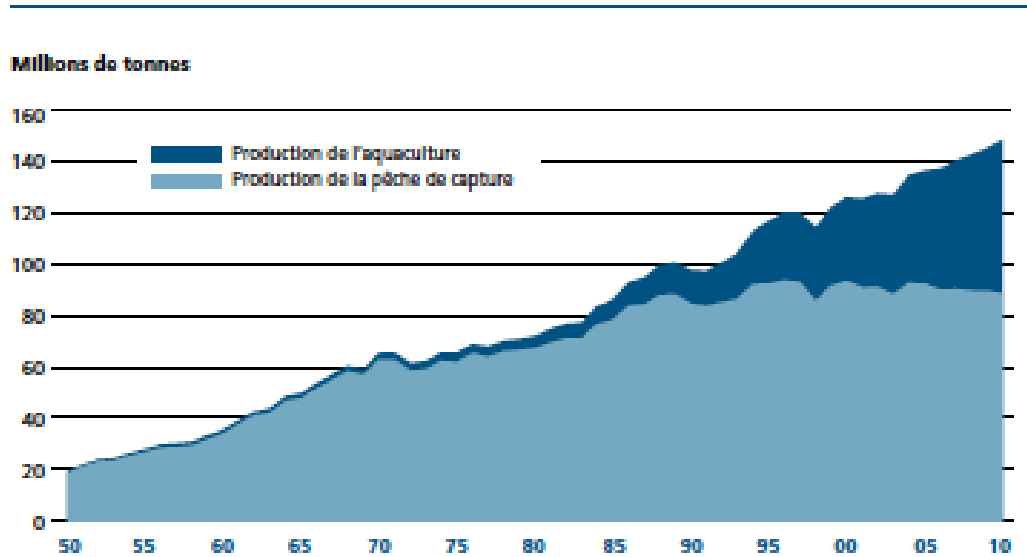


2007 – Key West



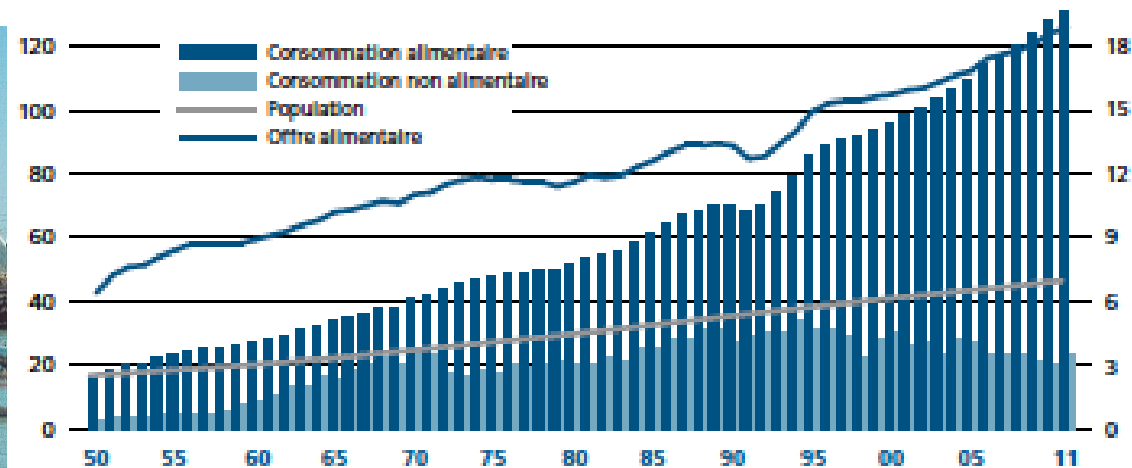
# Une demande mondiale toujours croissante en poisson ...(Fao Sofia 2012)

Production mondiale de la pêche de capture et de l'aquaculture



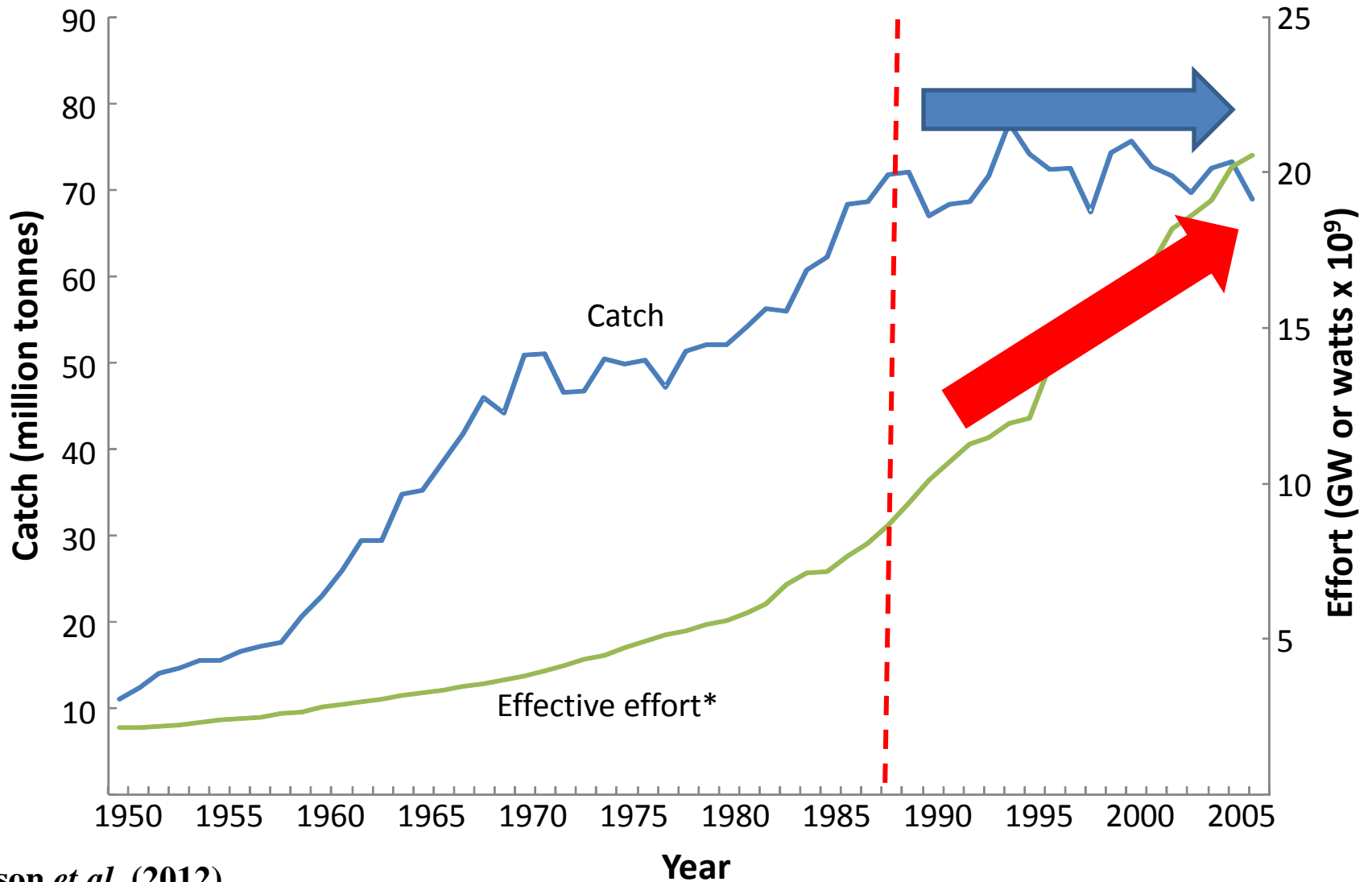
© G Boeuf, 2007

Population (en milliards) et offre alimentaire (kg/personne)



© G Boeuf, 2007

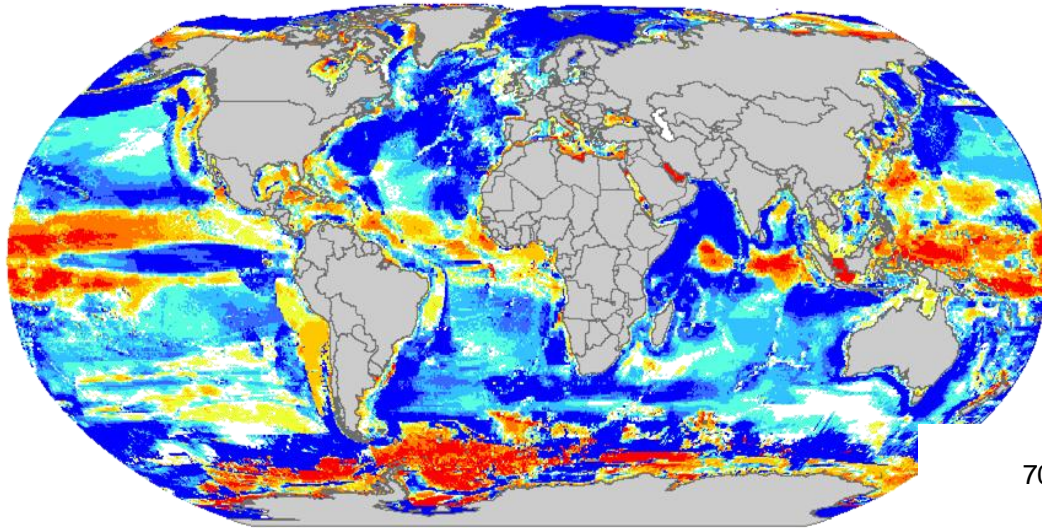
# Capture stable mais un effort de pêche qui s'accroît considérablement



Watson *et al.* (2012)

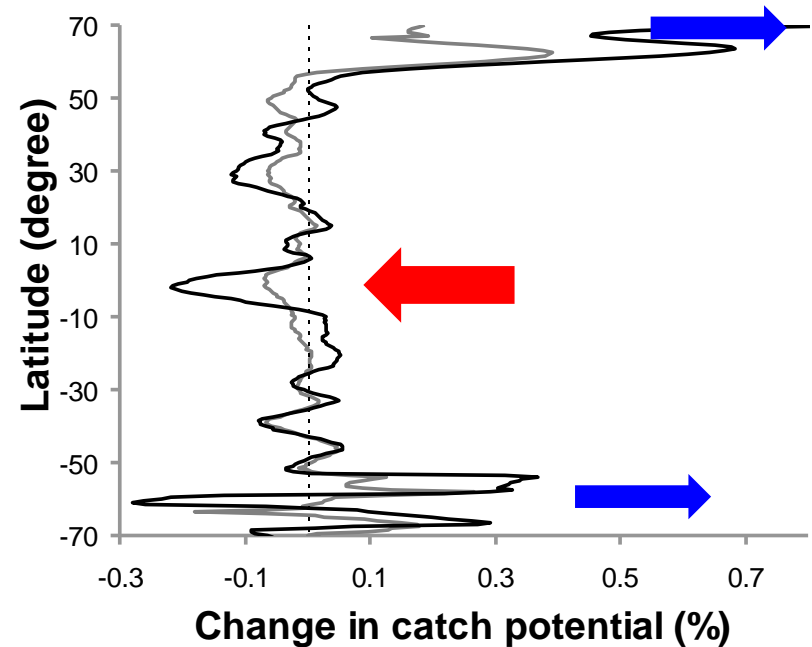
\*Effective effort indexed on 2000 based on average 2.42% increase annually

# Capture globale et changement climatique: diminution drastique pour la zone tropicale prévue en 2055

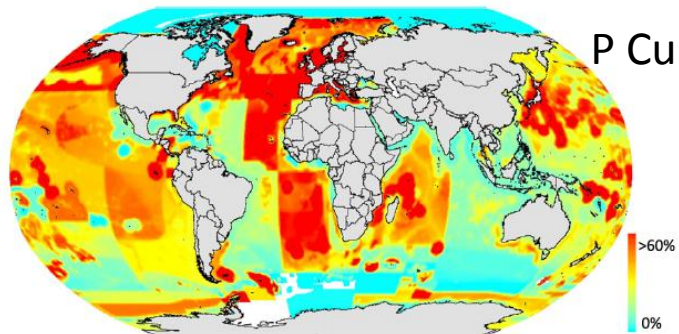
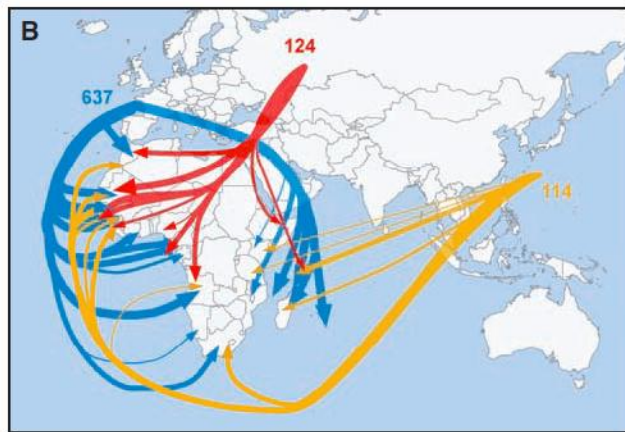
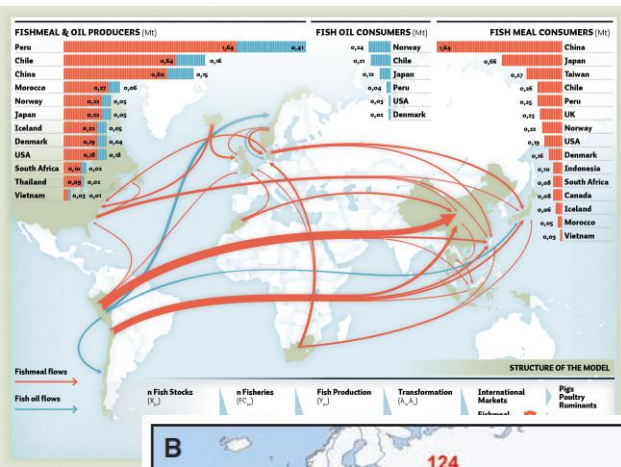


Change in catch potential  
(% relative to 2005)

(Cheung, Sumaila 2013)

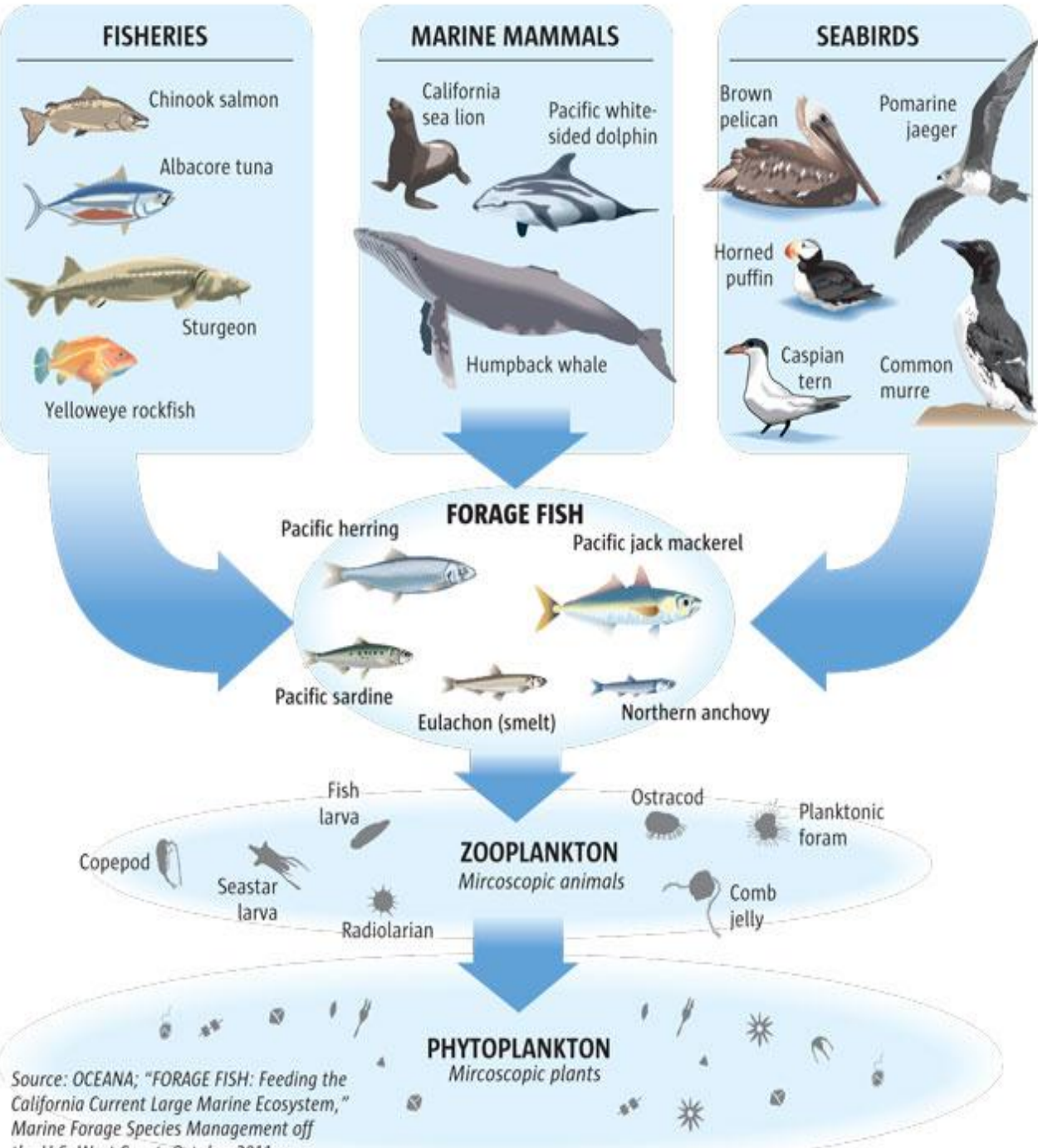


# Pays en développement sous pression de pêche....



P Cury, 2014

- Poisson une des matières premières les plus échangée (40%) comparée au blé (20%) ou au riz (5%)
- 37% des captures sont transformées en farine de poissons et en huiles pour l'aquaculture et l'élevage
- 3 millions de tonnes de poissons sont capturées en Afrique en dehors des statistiques officielles
- Bien que les accords de pêches européens soient transparents, UE a subventionné ces accords à 75% de leur coût tandis que les compagnies de pêches privées ont payé l'équivalent de 1.5% de la valeur des débarquements (Le Manach et al. 2013)
- USA+UE+Japon: 28mt poissons marins, 35% des captures mondiales, plus des 2/3 des poissons capturés dans les zones de pêches au sud



# Rôle clé des poissons fourrage dans les écosystèmes marins

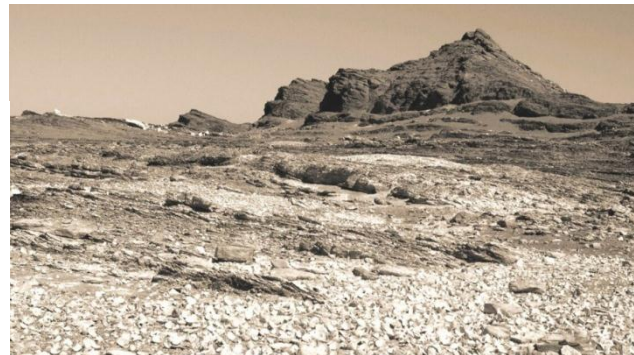
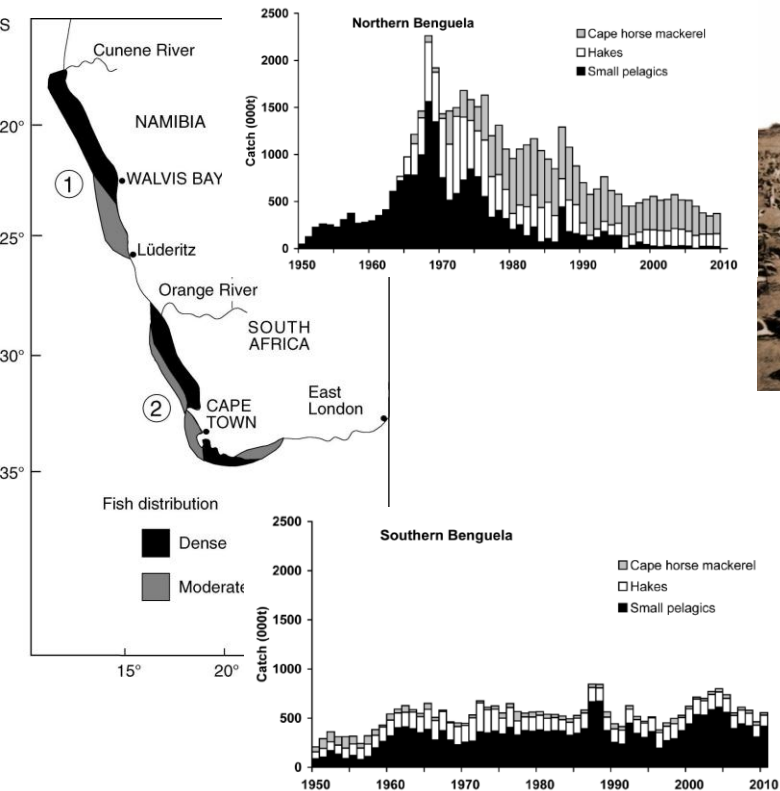
(Cury et al., 2000)

Source: OCEANA; "FORAGE FISH: Feeding the California Current Large Marine Ecosystem," Marine Forage Species Management off the U.S. West Coast, October 2011

# Changement de régime dans le Benguela

La surexploitation des sardines et anchois a provoqué un effondrement des populations d'oiseaux (77 à 94%) , des merlus et une installation des méduses de façon durable en Namibie depuis 30 ans (entre 10 et 40 MT), l'écosystème est resté productif en Afrique du Sud où existe une gestion écosystémique

(Cury and Shannon, 2004 ; Roux *et al* 2013)





Valeur induite par une gestion écosystémique des poissons fourrage demeure plus grande qu'une gestion stock par stock

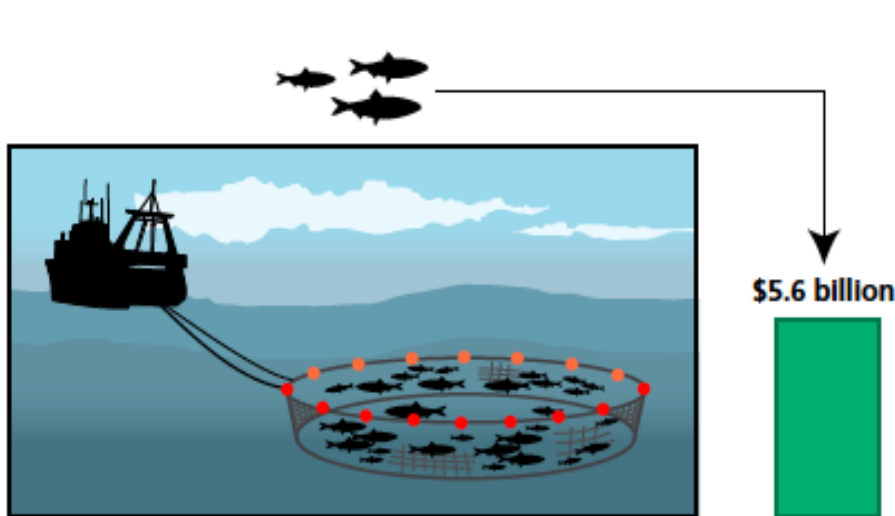
Valeur directe = 5.6 b\$

Valeur écosystémique (laisser une partie des poissons fourrage pour les prédateurs) = 11.3 b\$

P Cury, 2014

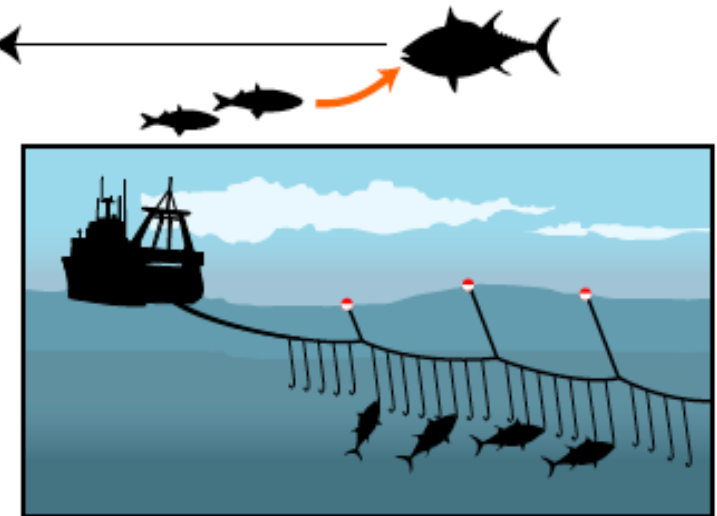
**FORAGE FISH DIRECT VALUE**

The commercial catch of forage fish was \$5.6 billion.



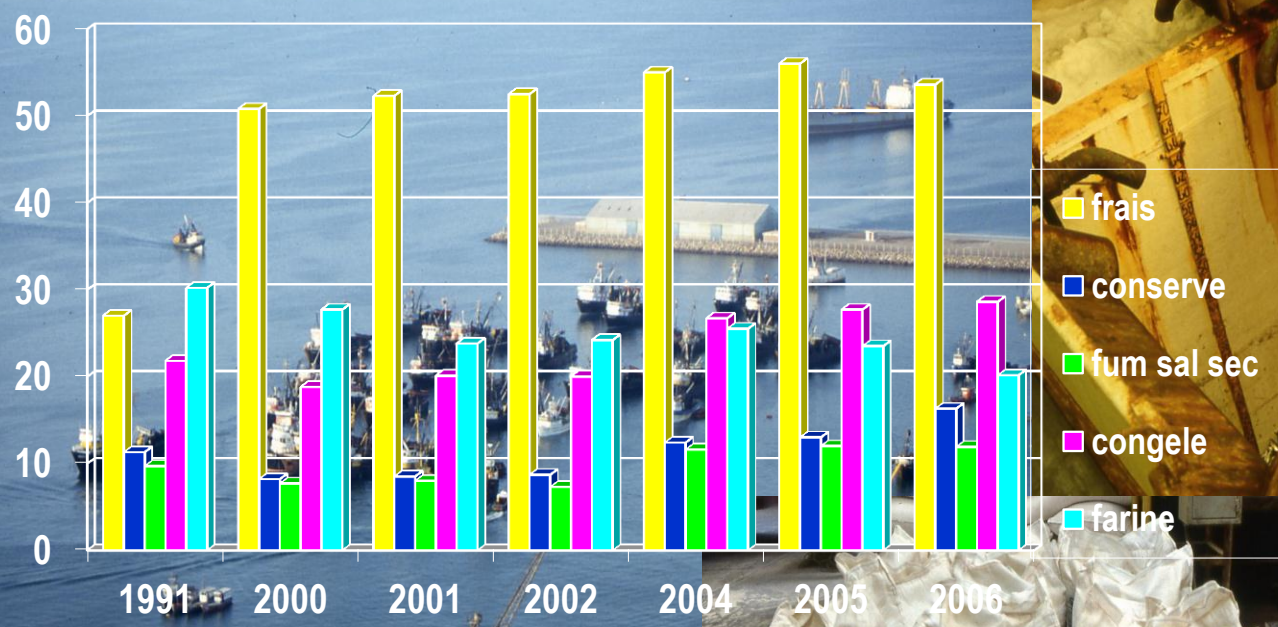
**FORAGE FISH SUPPORTIVE VALUE**

Forage fish added \$11.3 billion in value to commercial catch of predators.



Objectifs de l'approche écosystémique des pêches : Des pêcheries viables dans des écosystèmes marins productifs  
(Pikitch *et al.* Science 2004)

- **Eviter la dégradation des écosystèmes**, telle que mesurée par les indicateurs environnementaux et de bon état écologique
- **Minimiser le risque de changement irréversible** des assemblages naturels et des processus écosystémiques
- **Obtenir et maintenir les bénéfices écosystémiques à long terme** sans compromettre les écosystèmes
- **Produire les connaissances suffisantes** sur les processus écosystémiques pour considérer les conséquences prévisibles des actions humaines
- Si les connaissances sont insuffisantes, des **mesures de gestion robuste et précautionneuse** pour les écosystèmes doivent être mises en œuvre



- frais
- conserve
- fum sal sec
- congele
- farine



176 MT en 2012



# World Aquaculture

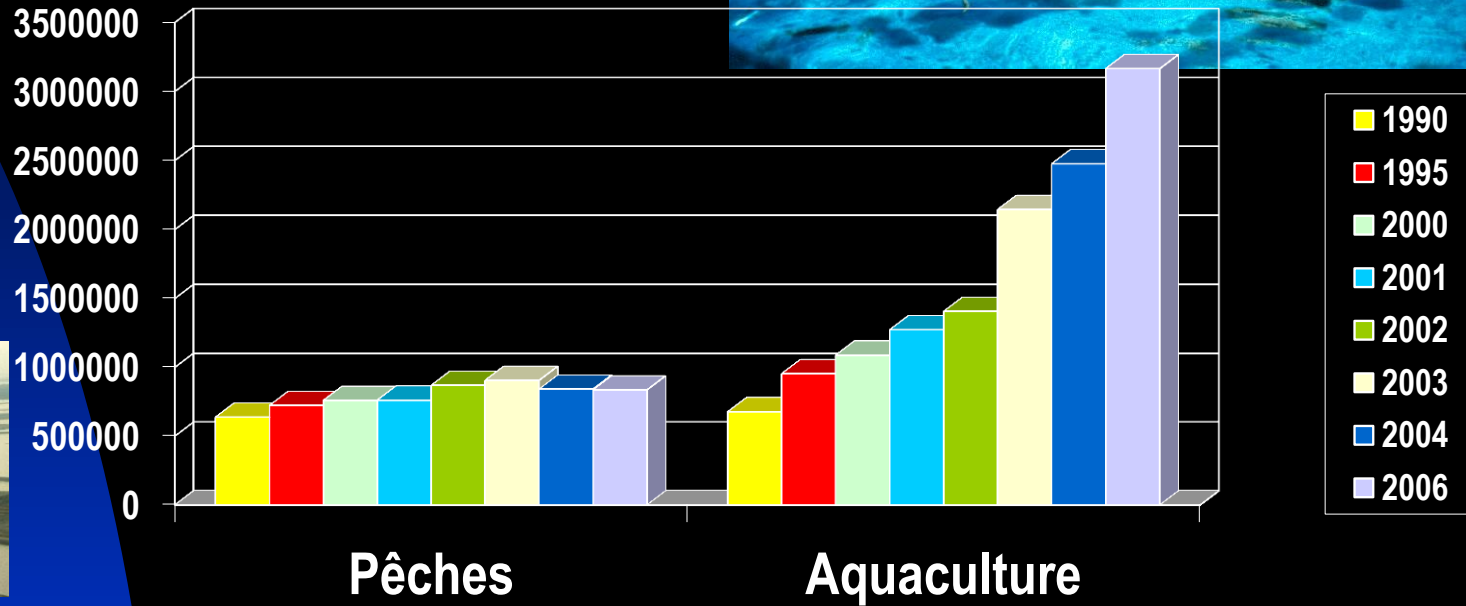


X 1 000 t

82,0 Md \$

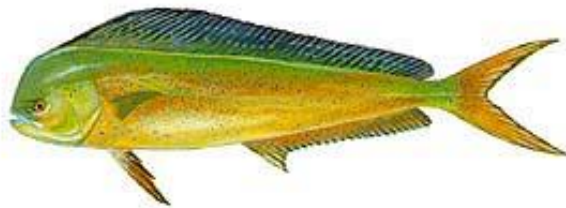


FAO, 2011

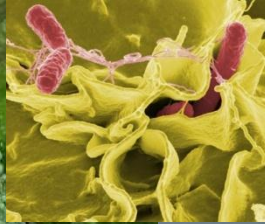


# Le sea ranching





*Caulerpa racemosa*



*Mnemiopsis leidyi* in the Black sea



12 billion t a year



3 000 sp transported a day!

*Pinctada radiata*



*Asterina burtoni*



*Perna japonicus*



*Brachydontes phaeonitis*



*Cellana rota*



*Cerithium scabridum*  
Cyprus, Ayia Napa  
NMR 31629. Common size 15 mm

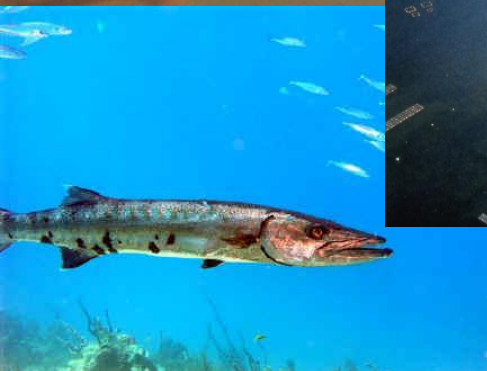


*Ditropa arietina*



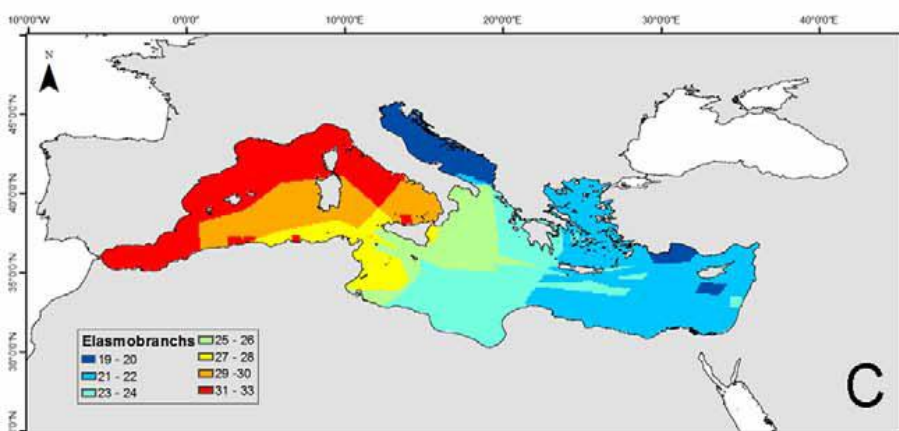
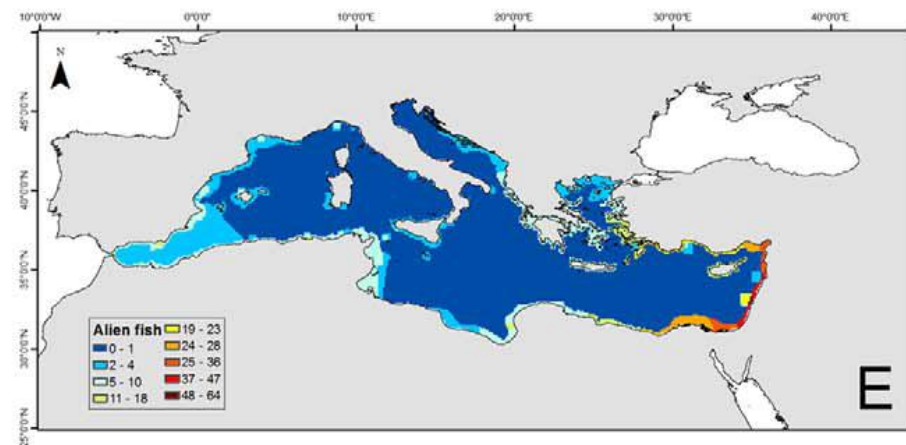
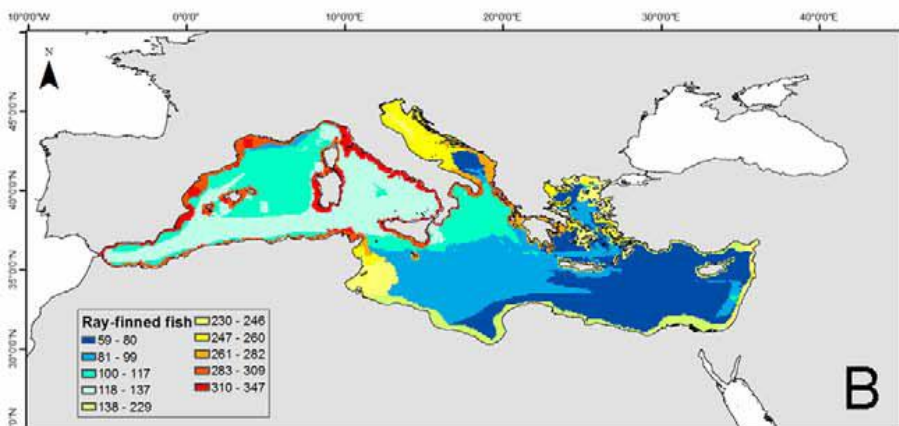
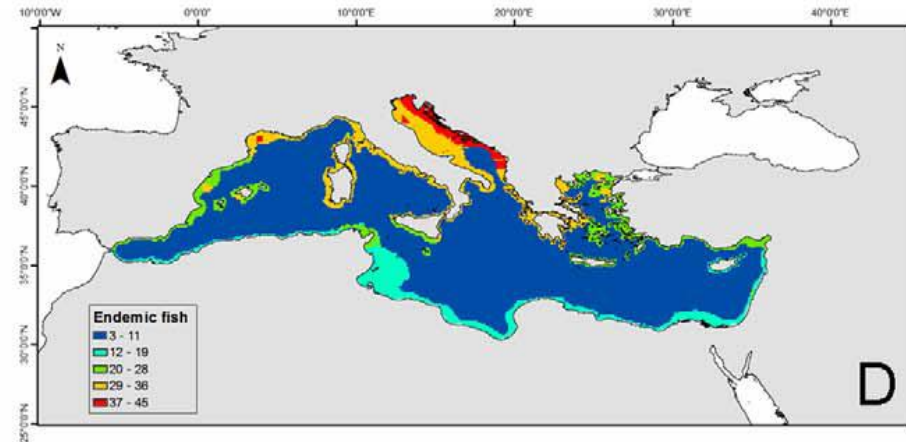
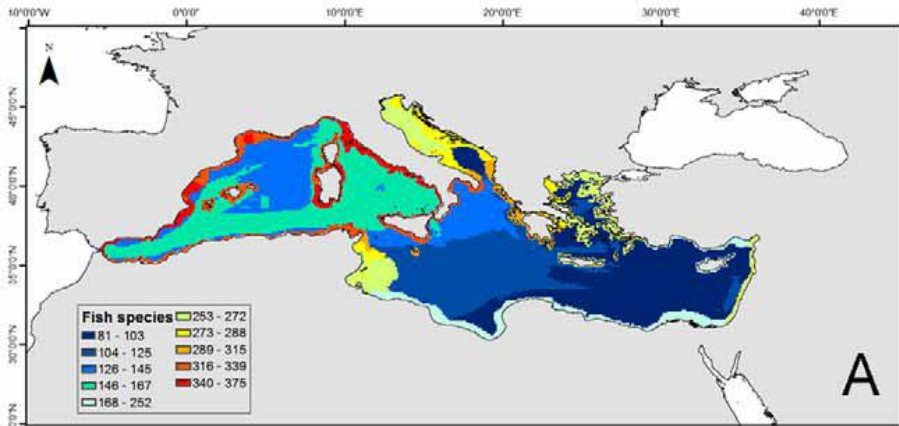
# Toxic efflorescences

*Upeneus mollucensis*

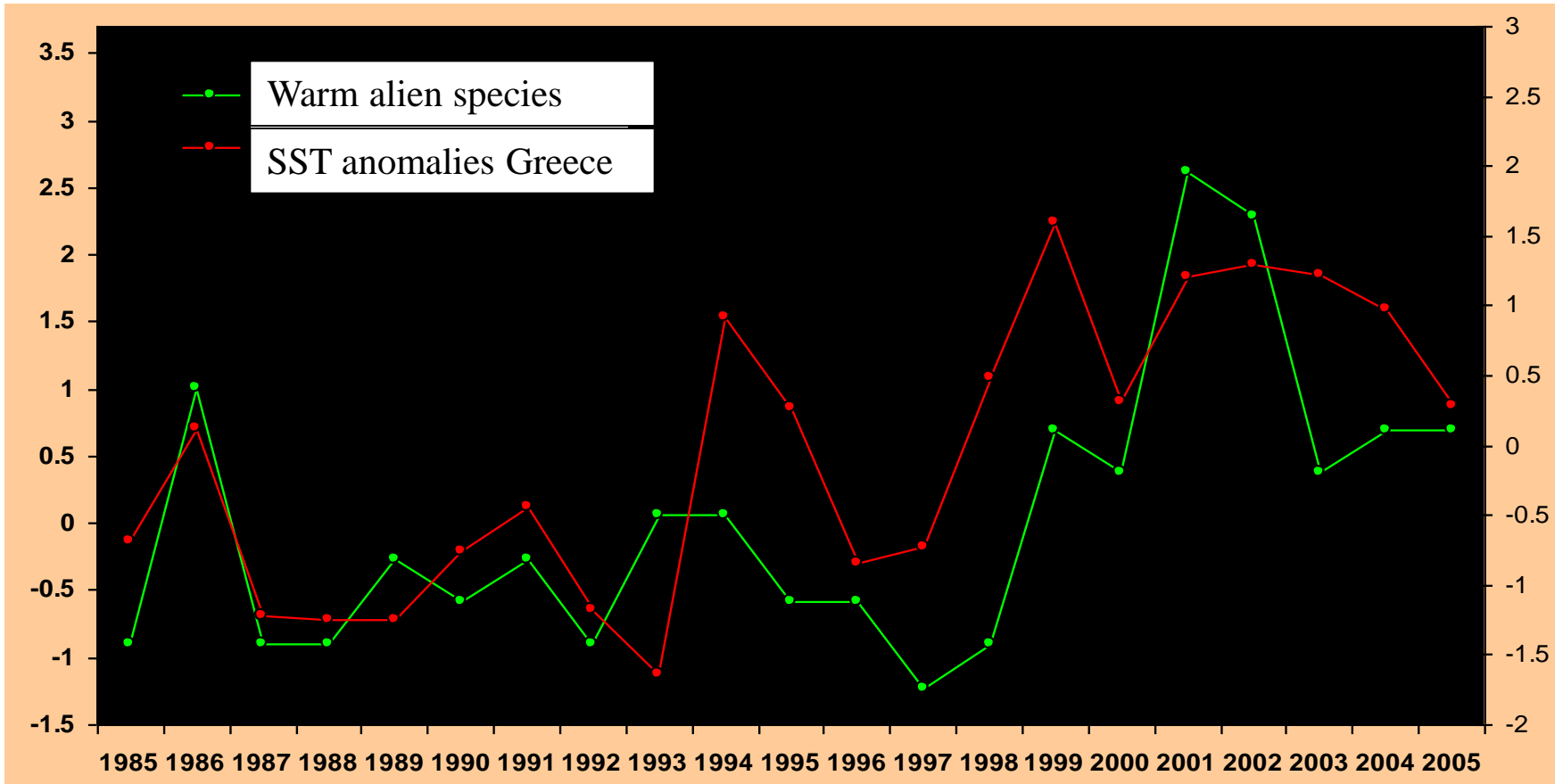


*Siganus rivulatus*





Fish species richness (Coll *et al.*, 2010)



Statistically significant correlation

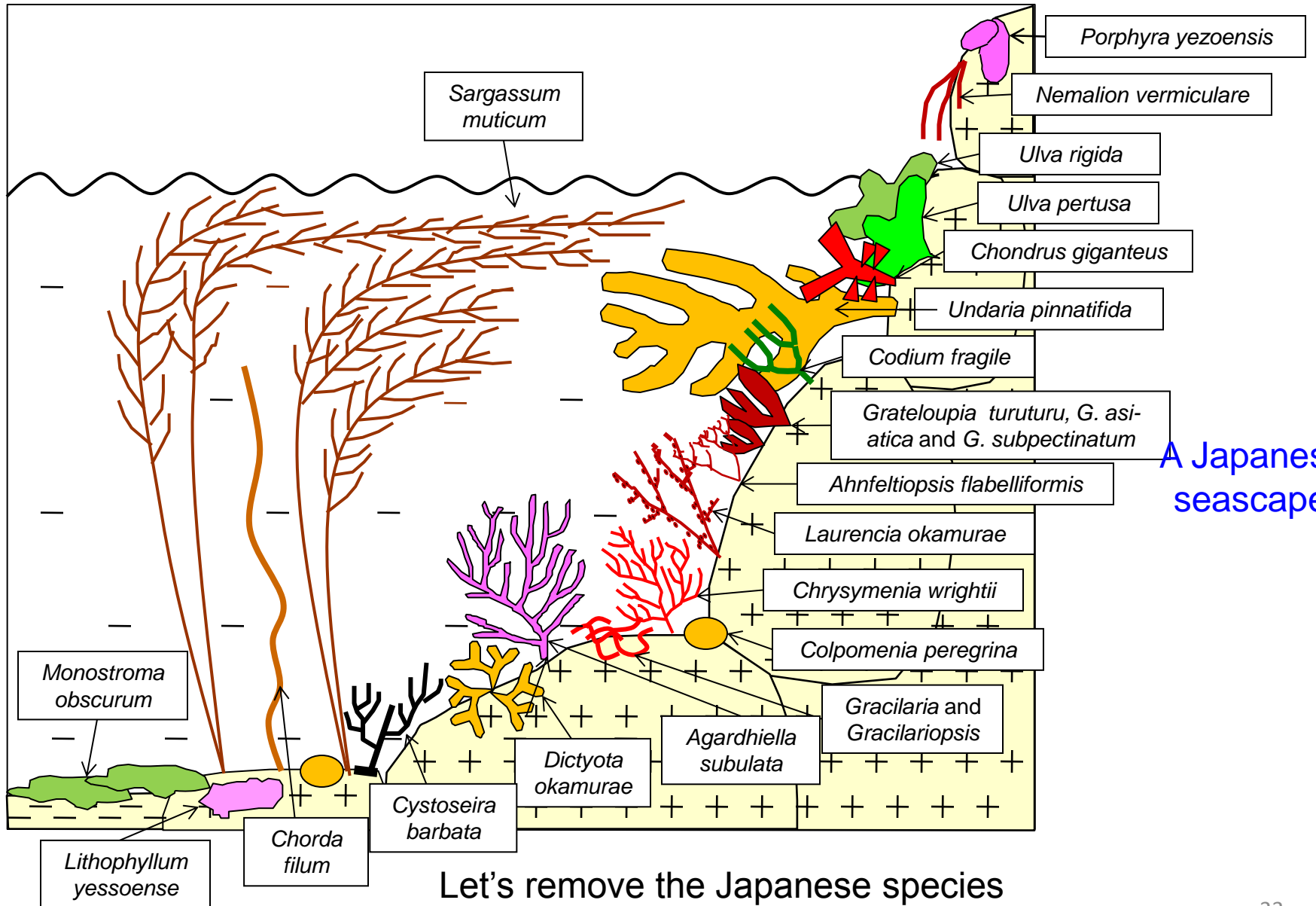
$r^2=0.68, P= 0.0099$

From A Zenetos, 2010

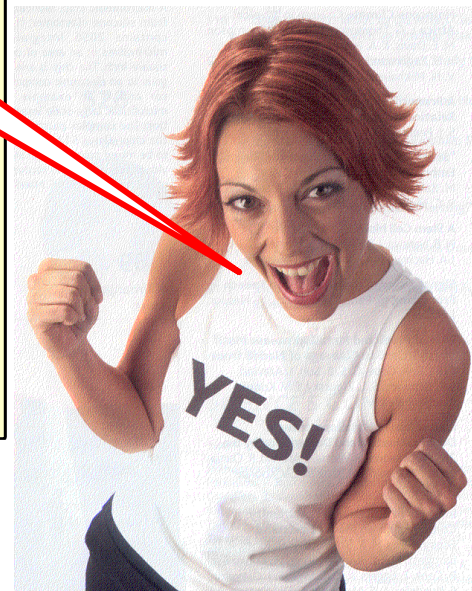
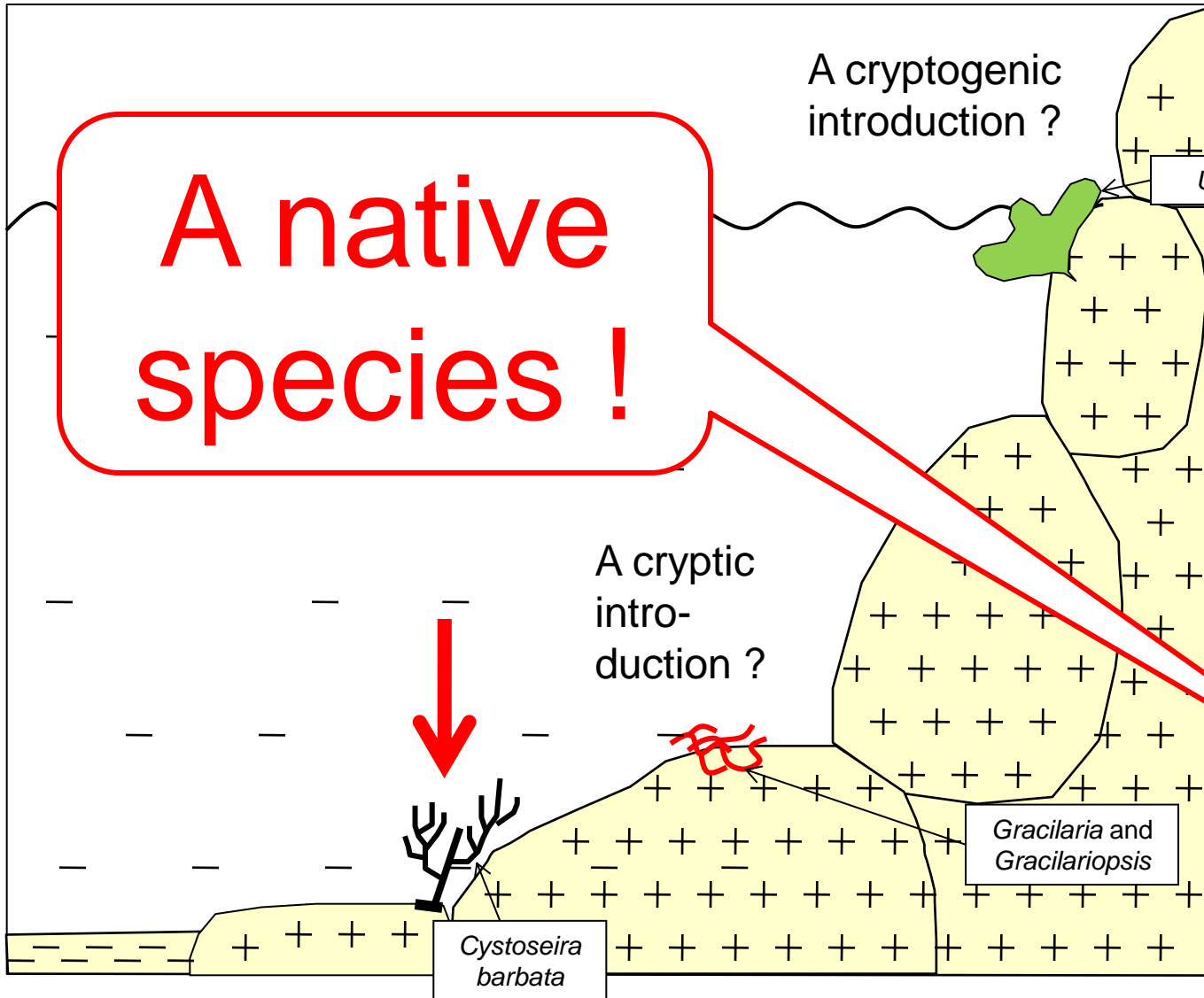


# Thau Lagoon: Macrophytes on shallow hard substrates

C H Boudouresque, 2011



Thau Lagoon: Macrophytes on shallow hard substrates

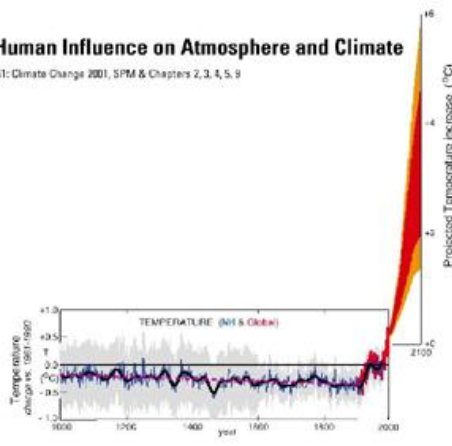


# Temperature

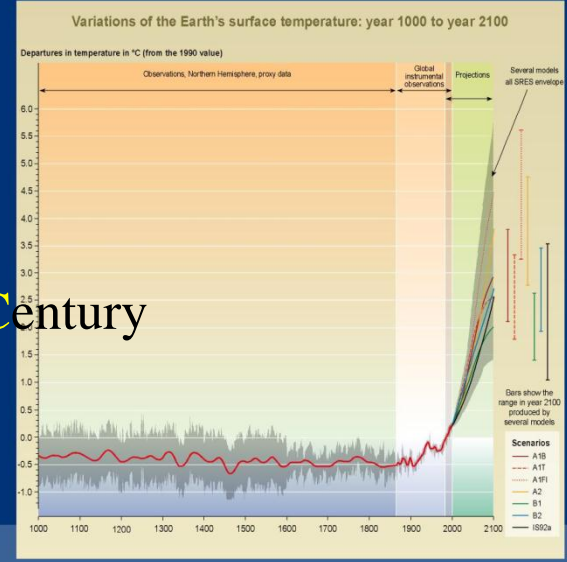
## • Previsions of the IPPC,

### The Human Influence on Atmosphere and Climate

IPCC/WGI: Climate Change 2001, SPM & Chapters 2, 3, 4, 5, 9



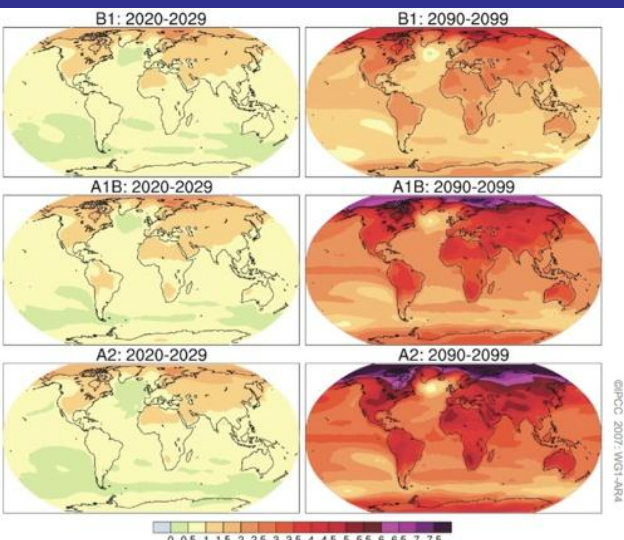
+ 0.74 °C during the last Century  
 + 1.8 – 4°C for 2100?  
 maxi + 6.4?  
 + 0.12 in 30 years for the deep sea in Med.



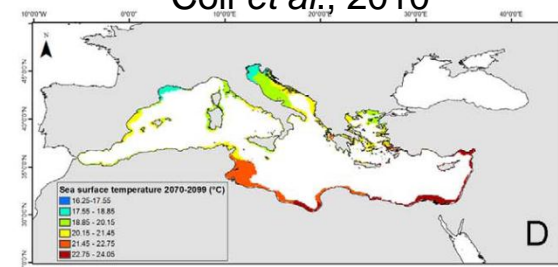
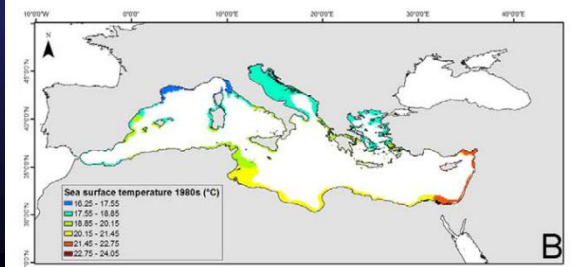
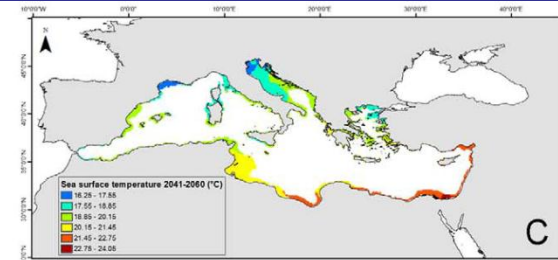
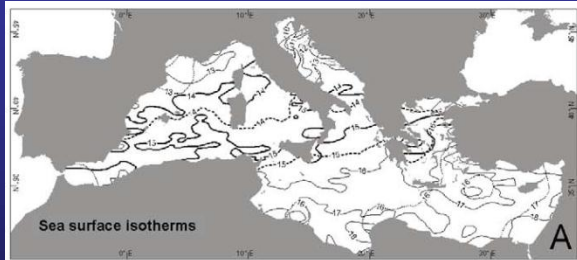
IPCC INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

SYR - FIGURE 9-1b  
 WMO UNEP

Metabolism, development, growth, reproduction...  
 T° preferendum, Sex change, Migrations, Invasive species,  
 Metabolic theory on dispersion, Diseases, Precipitations,  
 drought, storms...



©IPCC 2007-WGI-ARR4



Coll et al., 2010

# Climate change stressors: ocean acidification

- 0.1 since the pre-industrial period

-0.3 to 0.4 for the end of the 21<sup>st</sup> Century?

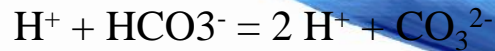
## pH decrease:

Much lower biocalcification,  
Shells and skeletons, fragilisation and growth,  
Internal ionic imbalance,  
Zooxanthellae photosynthesis decrease,  
Increase sensitivity to T° increase,  
Alien invasive algae proliferation,  
Altered oceanic trophic chain,  
Jellyfication?

Acclimation, adaption or extinction?

8.18

8.08

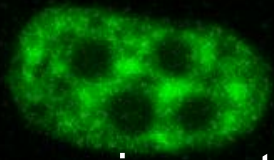


Sabine, 2010

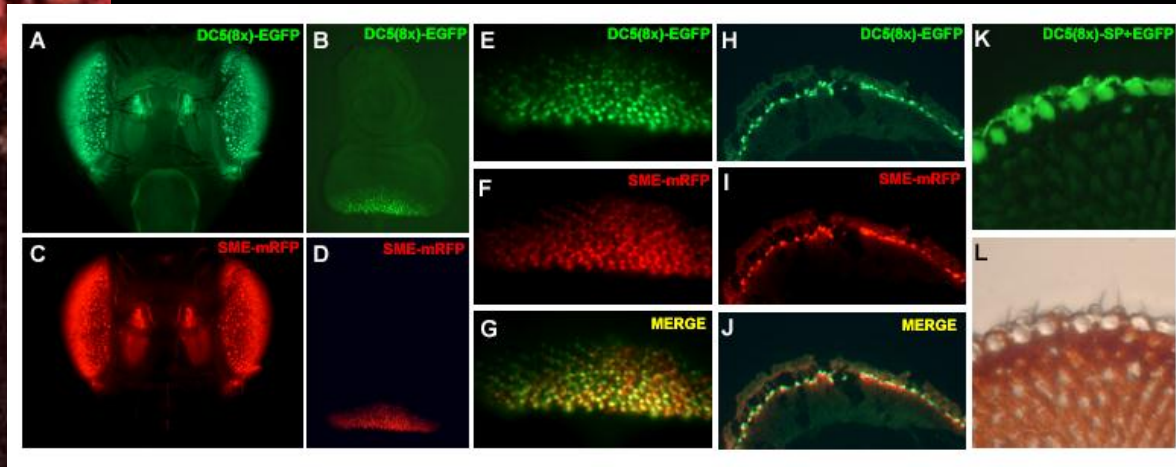
Contributed by John Guinotte



# Molécules d'intérêt pharmacologique



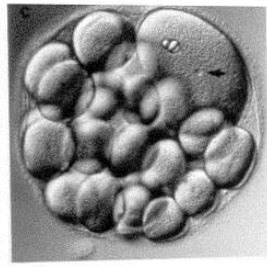
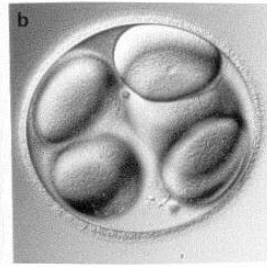
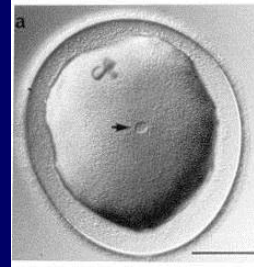
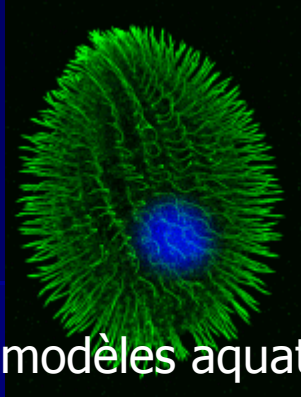
- Environ 50 % des molécules actives aujourd'hui utilisées en pharmacie sont extraites ou synthétisées à partir de **produits naturels**
- Plus de 25 000 produits ont été isolés d'organismes marins et certains sont passés en utilisation courante : **anticancer** Ara-C (leucémie myélocytique aigüe et lymphome non-Hodgkin), **anti-viral** Ara-A (herpès), nucléosides isolés d'éponges, **bryostatine** (de bryozoaire), **antiviraux bactériens** (anti-HIV)... Sondes moléculaires, 30 % des substances ont été trouvées chez les **spongiaires**,
- Anti-cancereux, antibiotiques, antiviraux, anti-fungi, immunostimulants, immunosuppresseurs, facteurs, de croissance, régénérateurs osseux,.... outils moléculaires (polymérases, protéines de fluorescence... *etc...*) .



# Régulation du cycle cellulaire et cancer



FROM: "GFP IN MOTION" TRENDS IN CELL BIOLOGY, ELSEVIER



Vée et al., J. Cell Science, 2001

Onze Prix Nobel obtenus à partir de modèles aquatiques

E Metchnikoff  
1908



O von Warburg 1931



J W Szostak

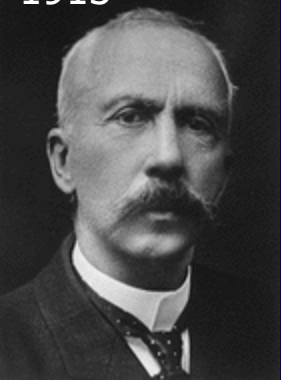


EH Blackburn 2009



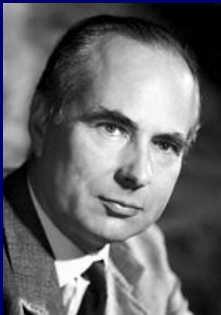
C W Greider

C Richet  
1913



La phagocytose, les vagues calciques intra-cellulaires, le choc anaphylactique, les modalités de la transmission de l'influx nerveux, les bases moléculaires de la mémoire, les molécules-clé du cancer, le premier récepteur membranaire à un neurotransmetteur, la protéine de fluorescence verte de méduse, l'enzyme télomérase...

A Hodgkin 1963



A Huxley



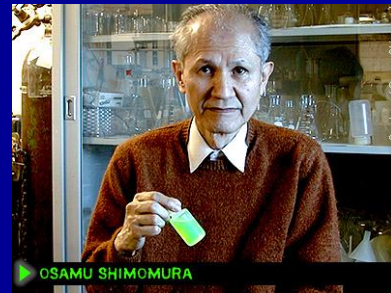
E Kandel 2000



T Hunt 2001



O Shimomura  
2008



OSAMU SHIMOMURA

Courtesy of Osamu Shimomura

# Le milieu marin regorge de ressources minérales potentielles et avérées

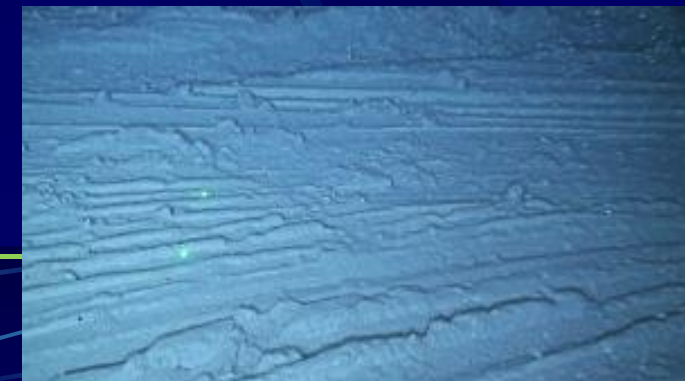
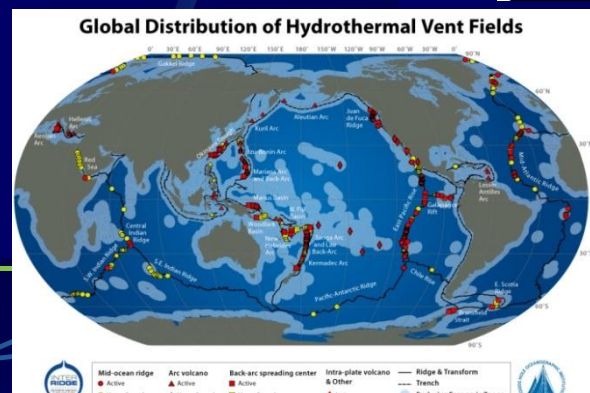
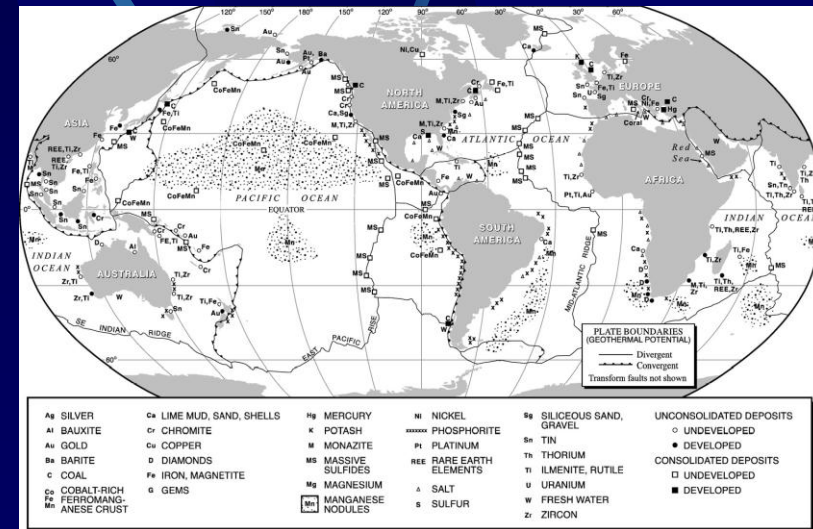
## A) De faible profondeur :

- schistes noirs,
- sapropels,
- granulats,
- placers (accumulation de minéraux lourds (étain, or, platine, titane...) dans les sédiments),
- phosphorites,
- gisements de diamants transportés depuis les continents adjacents par érosion (par exemple au large de la Namibie et de la côte sud-africaine voisine),
- solutions marines (eau, sel, magnésium).

## B) De grande profondeur :

- nodules polymétalliques,
- encroûtements de manganèse,
- sulfures polymétalliques hydrothermaux,
- saumures métallifères (dans la Mer Rouge),
- boues métallifères (au large de l'Alaska, de la Thaïlande, du Myanmar et de l'Indonésie, mais également dans le Pacifique),
- sédiments métallifères (Méditerranée),
- oxydes de fer et de manganèse,
- fluides enrichis en hydrogène...

Rona, 2008



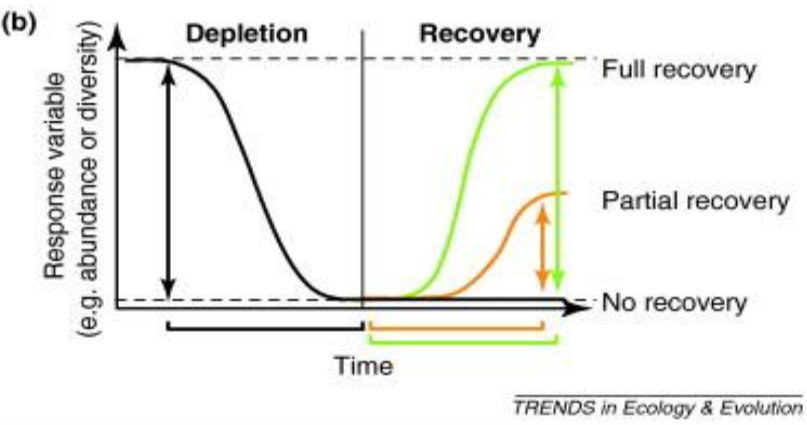
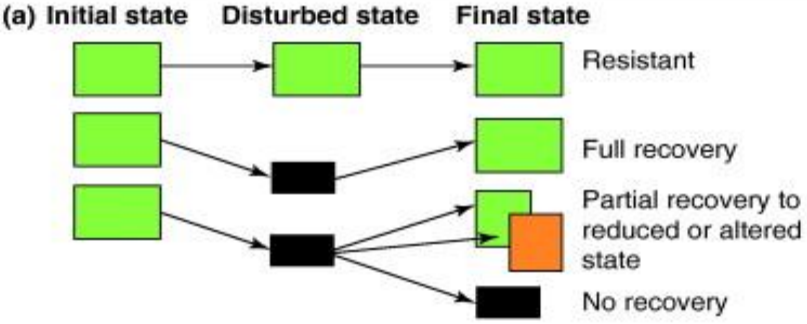
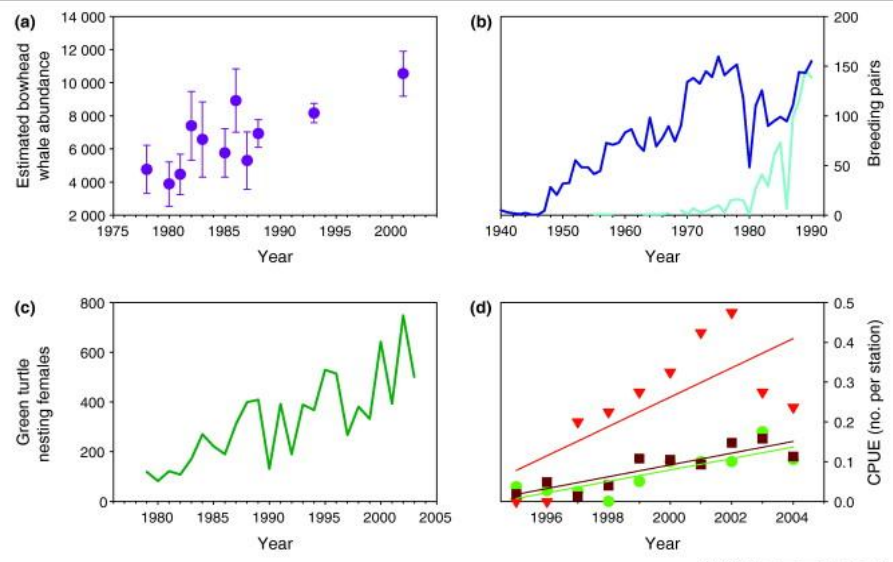


Illustration of theoretical and practical aspects of recovery. **(a)** In the face of external disturbances, populations or ecosystems can be resistant and **remain fundamentally unchanged** (green boxes) or they can be disturbed (depleted or degraded; dark-gray boxes) and, afterwards, either fully recover to their initial state, partially recover to a reduced or altered state (orange box), or irreversibly remain in the disturbed state. **(b)** **Recovery can be measured** as the magnitude (arrows), rate (slope) and time of increase (or sometimes decrease) in a response variable, and compared to the magnitude, rate or time of previous depletion or degradation. Note that ‘no recovery’ could also consist of further decline or degradation.

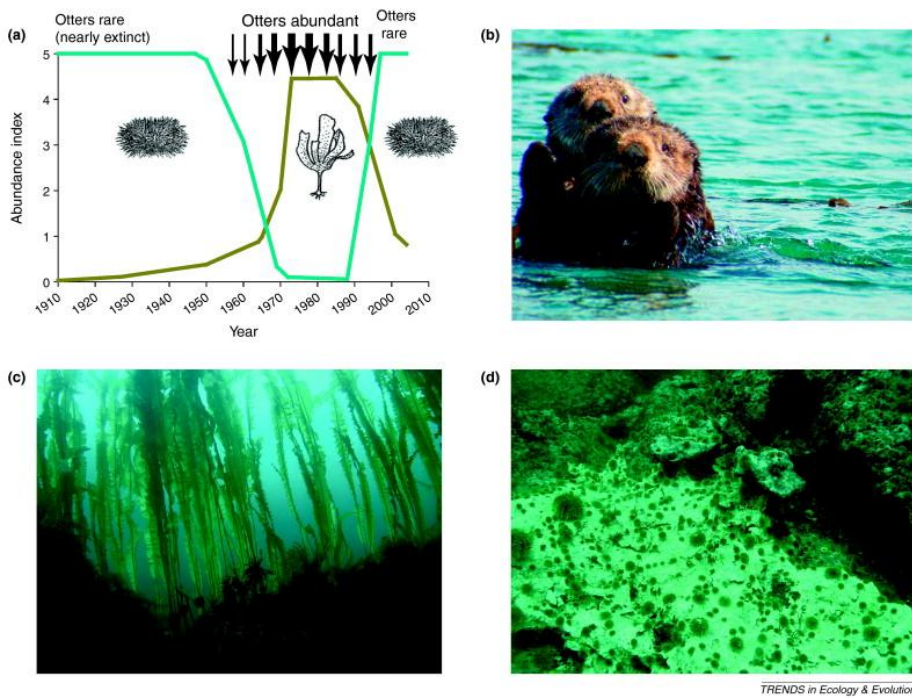
# Recovery of marine animal populations and ecosystems

Lotze *et al.*, TrEE, Nov 2011



Selected examples of population recovery: **(a)** Estimated abundance and standard deviation for the **western Arctic bowhead whale** stock. **(b)** Breeding pairs of recovering **shelducks *Tadorna tadorna*** (dark-blue line) and recolonized **common eiders *Somateria mollissima*** (light-blue line) in Niedersachsen, German Wadden Sea. **(c)** Abundance of **green turtle nesting females** since 1979 at the Ogasawara rookery on Chichi-jima, Japan. **(d)** Catch per unit effort (CPUE; and linear regression lines) of giant **sea bass *Stereolepis gigas*** (green circles), **soupfin shark *Galeorhinus galeus*** (red triangles) and **leopard shark *Triakis semifasciata*** ( $\times 10$ ; brown squares) from a monitoring program after the ban of gill nets in 1994 in the Southern California

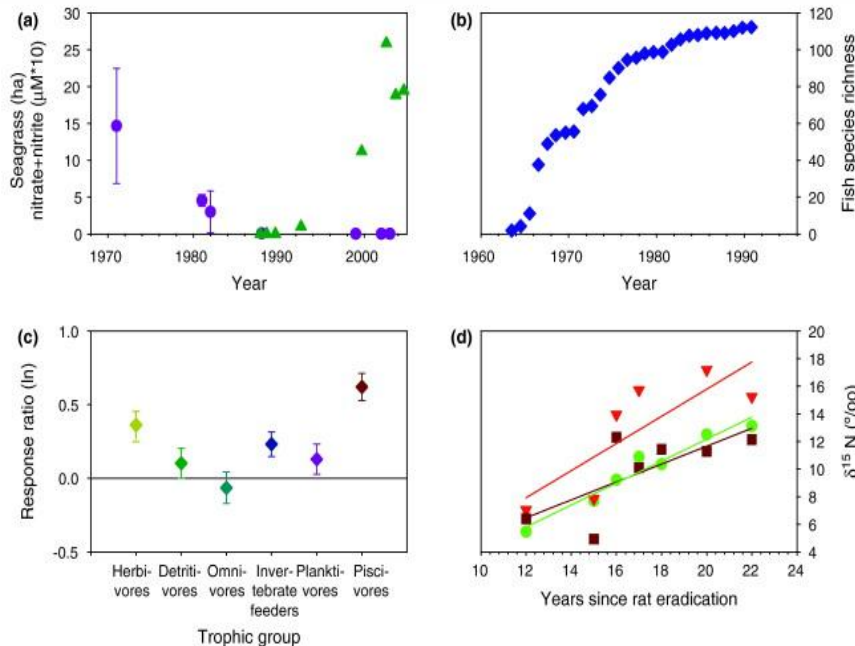




**Sea otter recovery.** (a) Illustration of changes in the abundance of sea otters (arrows indicate the timing and magnitude of their role in changing the community), kelps (dark-yellow line) and sea urchins (blue line) in Amchitka, Alaska.

# Recovery of marine animal populations and ecosystems

Lotze *et al.*, TrEE, Nov 2011



Selected examples of ecosystem recovery: (a) Recovery of seagrass habitat (green triangles) after reduction of nutrient loading (nitrate and nitrite; purple circles) in Mumford Cove, Connecticut. (b) Cumulative increase in fish species richness after restoration of water quality in the Thames Estuary, UK. (c) Average increase (response ratio and 95% CI from a meta-analysis) in six trophic groups inside versus outside 31 marine protected areas. (d) Increase in marine-derived nitrogen ( $\delta^{15}N$ , and linear regression lines) in terrestrial plants (green circles), spiders (red triangles) and soil (brown squares) provided by recovering seabird colonies after the eradication of rats on northeastern New Zealand islands.

# D'un point de vue opérationnel, la biodiversité c'est :

- Une priorité scientifique (comprendre sa genèse, ses fonctions et enrayer son érosion)
- Un enjeu économique (ressources biologiques et génétiques à valoriser et partager)
- Un enjeu éthique (droit à la vie des espèces)
- Un enjeu social (partage des valeurs et des avantages)

**(termes de la CDB)**



*Ce concept associe étroitement les sciences de la nature et celles de l'homme et de la société*