



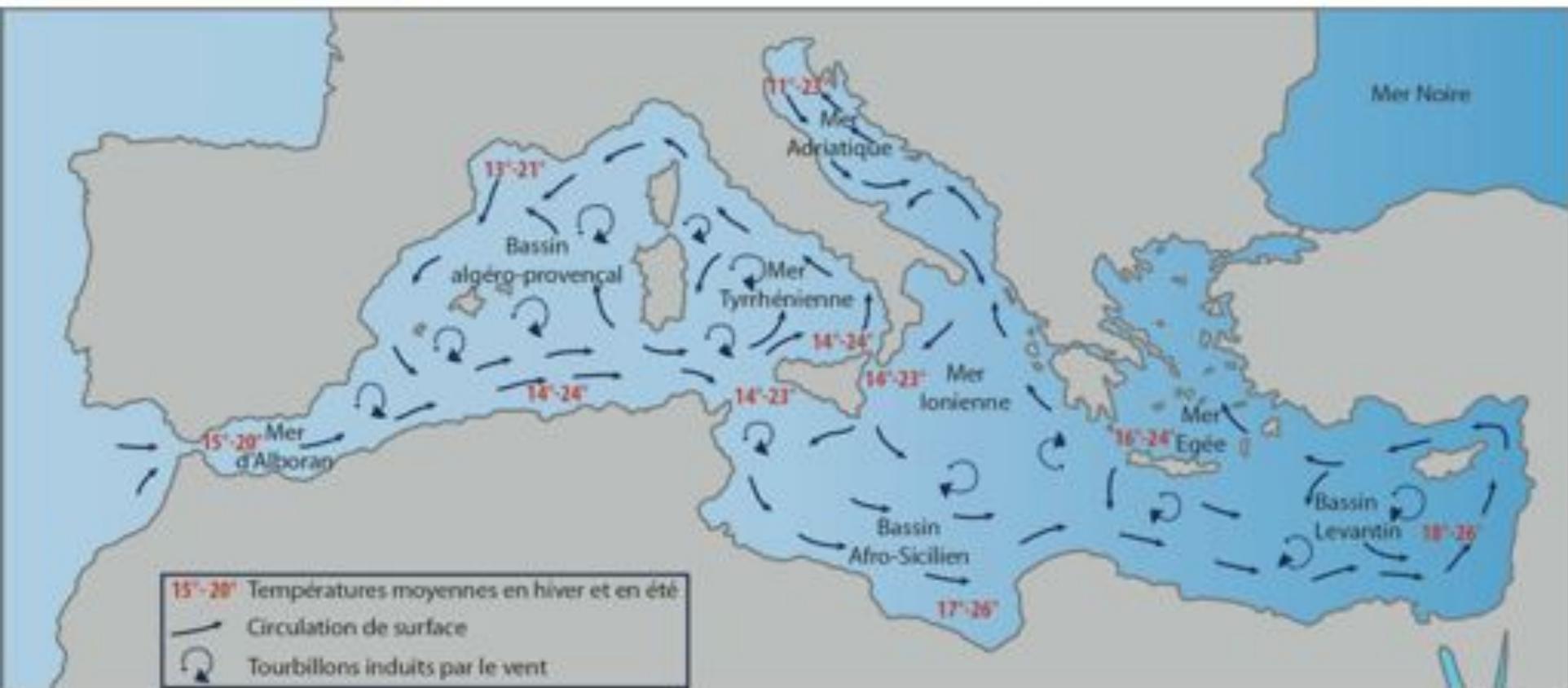
# Impact du changement climatique sur les écosystèmes marins méditerranéens



**Les conséquences du changement climatique  
sur les paramètres physico-chimiques du milieu  
marin Méditerranéen**

# Méditerranée

Zone idéale pour étudier les changements climatiques



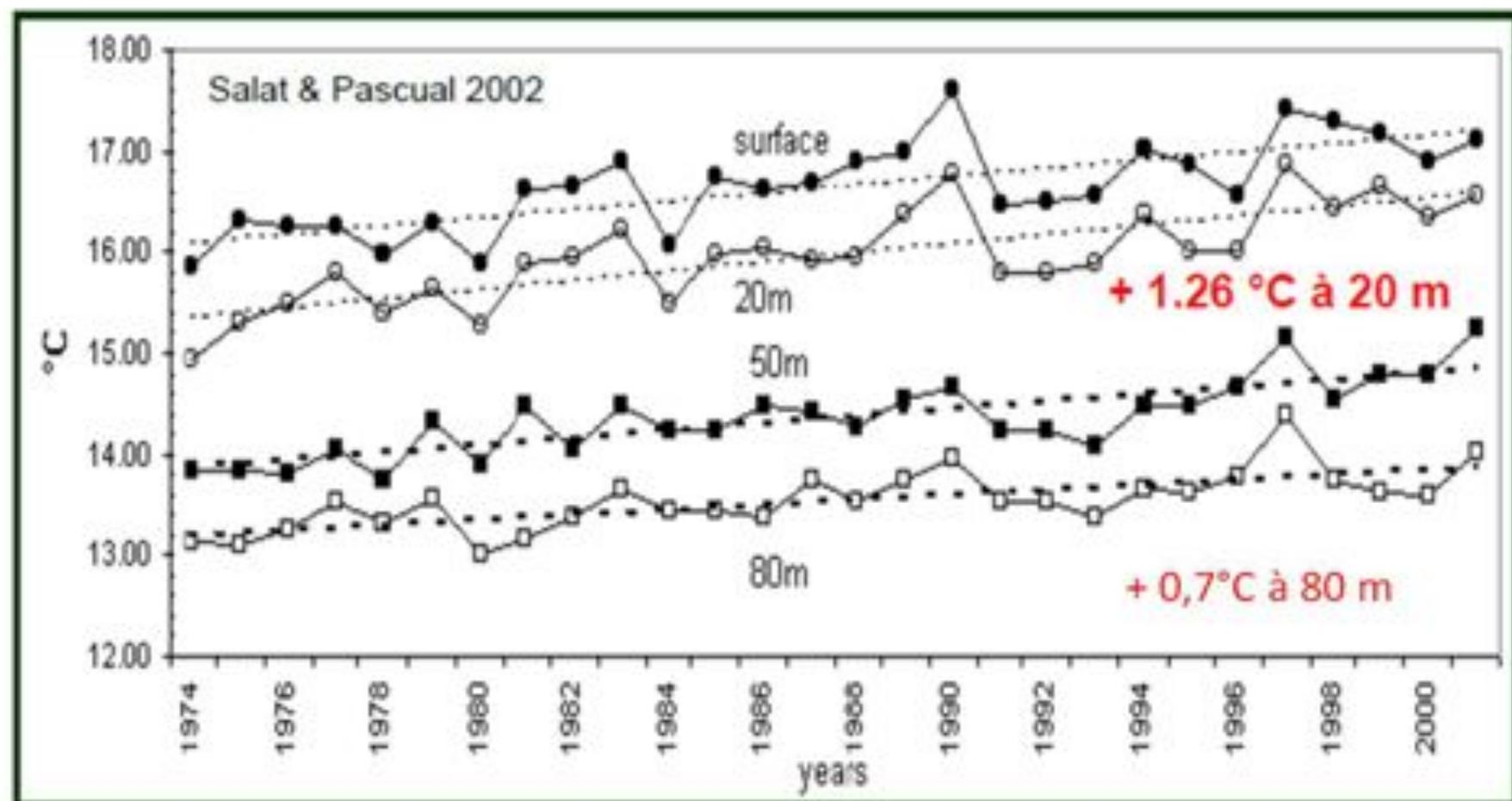
0,75% de la surface totale des océans

- + Situation géographique :
- Sensibilité accrue aux :
- Forçages atmosphériques
- Influences anthropiques

Réservoir majeur de la biodiversité marine

- 28% d'espèces endémiques
- 9 000 à 12 000 espèces recensées
- 7,5% de la faune marine
- 18% de la flore marine
- 650 espèces de poissons

# Réchauffement des eaux

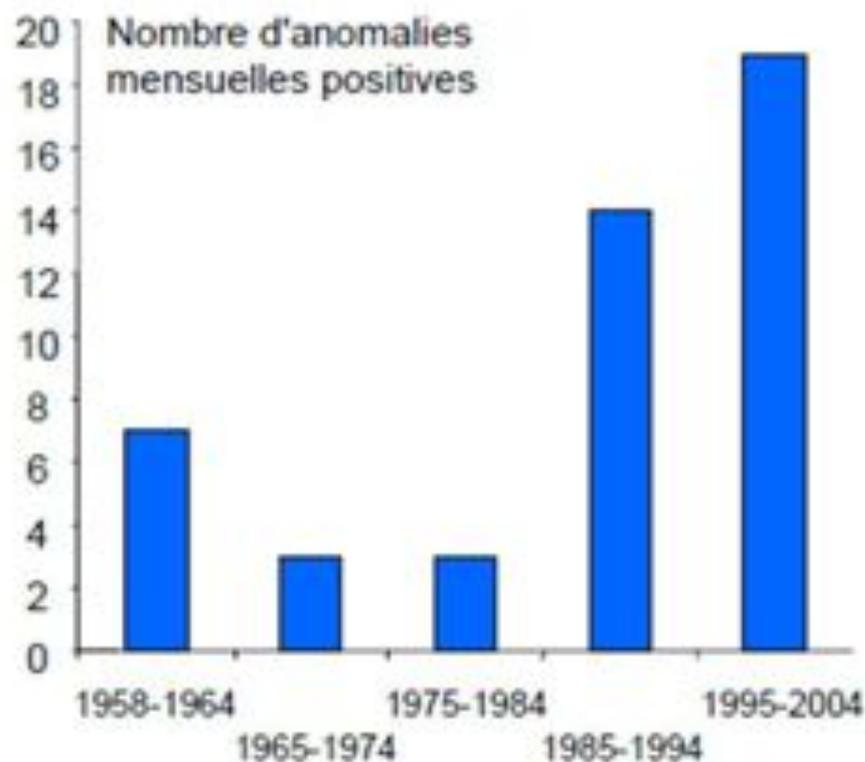


Accroissement de la température à l'Estartit en 28 ans

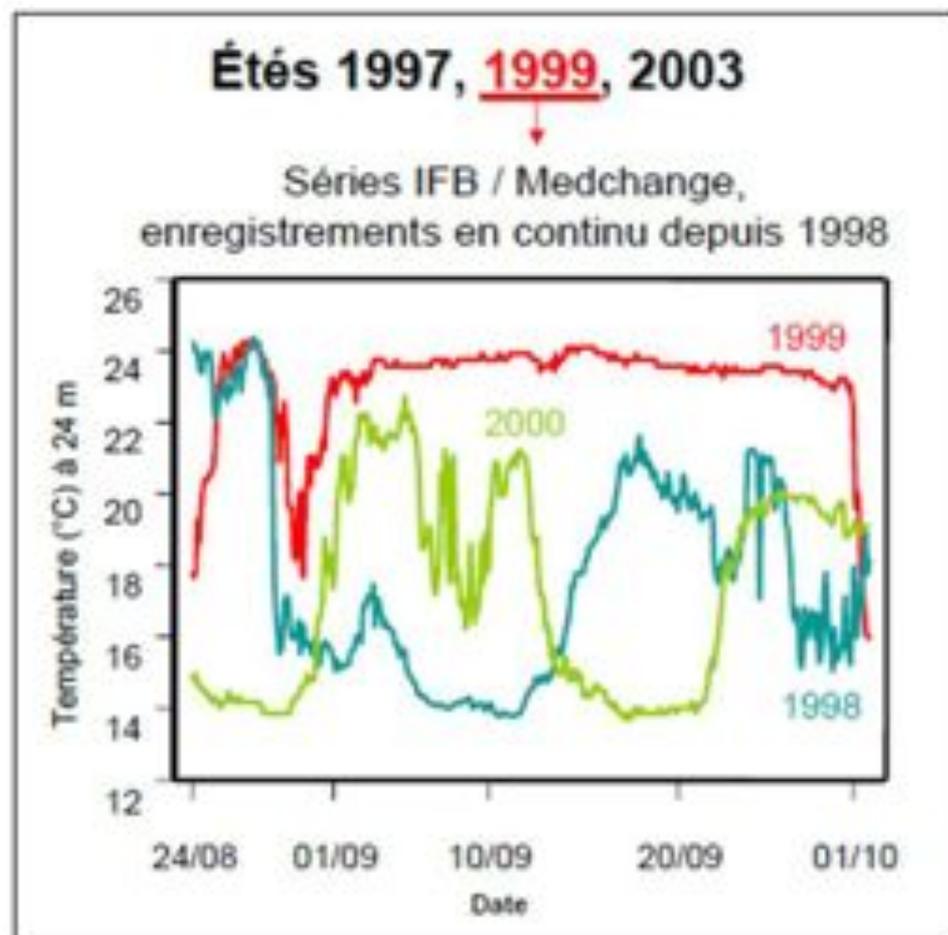
# Réchauffement des eaux

	°C.y <sup>-1</sup> (salinité)	
Côtes Catalanes, 1974 à 2002, surface	+0.04	Salat & Pascual, 2002
Côtes Catalanes, 1974 à 2002, -80 m	+0.025	
Bassin Ligure, 1960 à 1992, -300 à 400 m	+0.0068 (+0.0018)	Béthoux and Gentili, 1996
Bassin Levantin, 1909 à 1955, eaux intermédiaires	+0.002	Rohling and Bryden, 1992
Bassin Levantin, 1955 à 1990, eaux intermédiaires	+0,005	
Mediterranean outflow, 2000 vs. 1980, -300 m	+0.3/20 ans (+0,06/20 ans)	Millot <i>et al.</i> , 2006
Méditerranée W, 1969–1987, eaux profondes	+0.0027 (+0.0019)	Léman and Schott, 1991
Méditerranée W, 1960 à 1995, eaux profondes	+0.0016 (+0.0008)	Krahmann and Schott, 1998
Méditerranée W, 1957 à 1997, eaux profondes	+0.0035 (+0.0011)	Béthoux <i>et al.</i> , 1998
Mer Ionienne, 1960 à 1991, -3000 m	+0.002	Baker, 2000
Bassin Levantin, 1960 à 1991, -3000 m	+0.001	
Mer Tyrrhénienne, 1990s, -3500 m	+0.016 (+0.008)	Fuda <i>et al.</i> , 2002
Méditerranée W, 2004 à 2006, eaux profondes	+0.038 (+0.016)	Schroeder <i>et al.</i> , 2008
Golfe du Lion, 2007 à 2011, -2330 m	+0.002	Courtesy I. Taupier-Letage

# Réchauffement des eaux



D'après la série de Villefranche sur Mer  
Extrait de Boury-Esnault et al. 2006



# Augmentation de la salinité

Accroissement de la salinité : Golfe du Lion  
+0,007/10 ans dans les eaux profondes

(Lacombe *et al.*, 1984; Leaman and Schott, 1991; Rohling & Bryden, 1992)

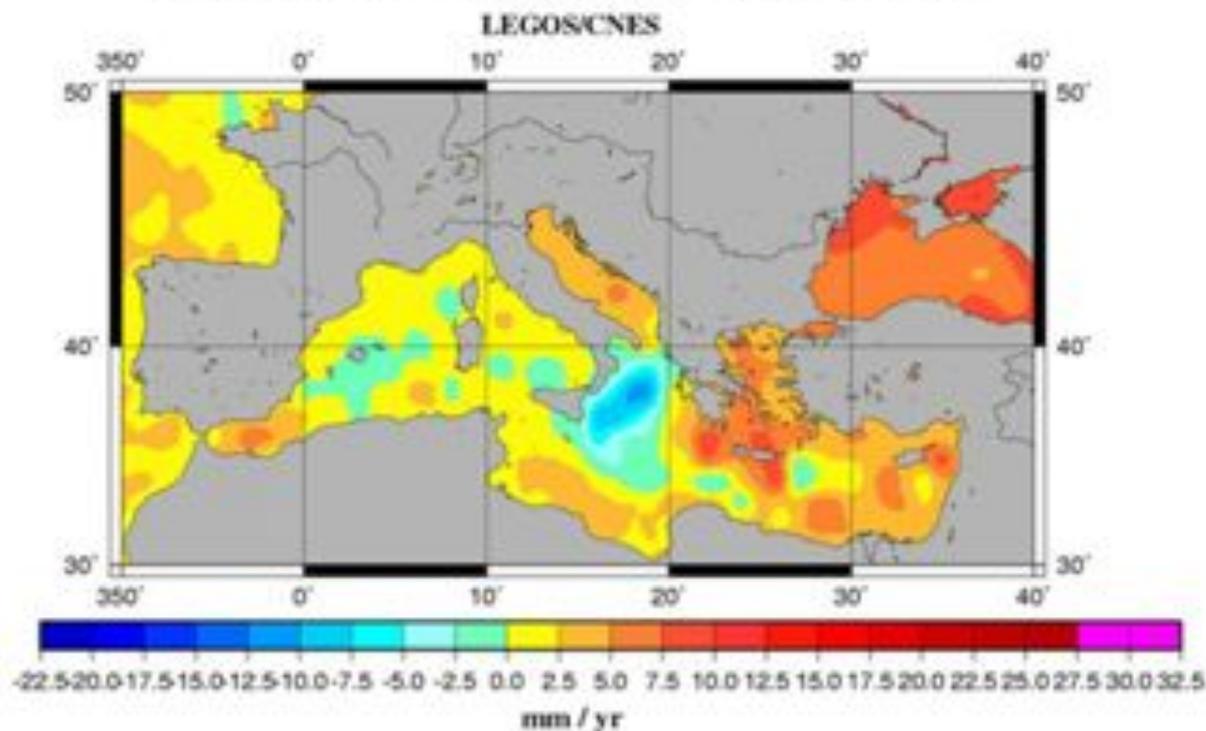


Accroissement de la salinité : mer Egée (eaux intermédiaires) :  
+0,12/12 ans (Roether *et al.*, 1996; Klein *et al.*, 1999)

- Réchauffement + changements des apports en eaux douces en Méditerranée
- Changements de la circulation des courants marins (Theocharis, *CIESM*, 2008)

# Modification du niveau marin

Sea level trends from Topex+Jason1 (Jan.1993-Jun.2006)



En Méditerranée :

- augmentation nette du niveau du bassin oriental, en relation avec une augmentation de la température de ce bassin (observée par les mesures *in-situ*)
- au niveau de l'Italie (mer Ionienne), le niveau a baissé

## Augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique

### Acidification des océans

- + 36% du CO<sub>2</sub> atmosphérique depuis le début du 19<sup>ème</sup> siècle
- baisse du pH moyen des eaux de surface océaniques de 0,1 unité

Actuellement pH moyen = 8,1

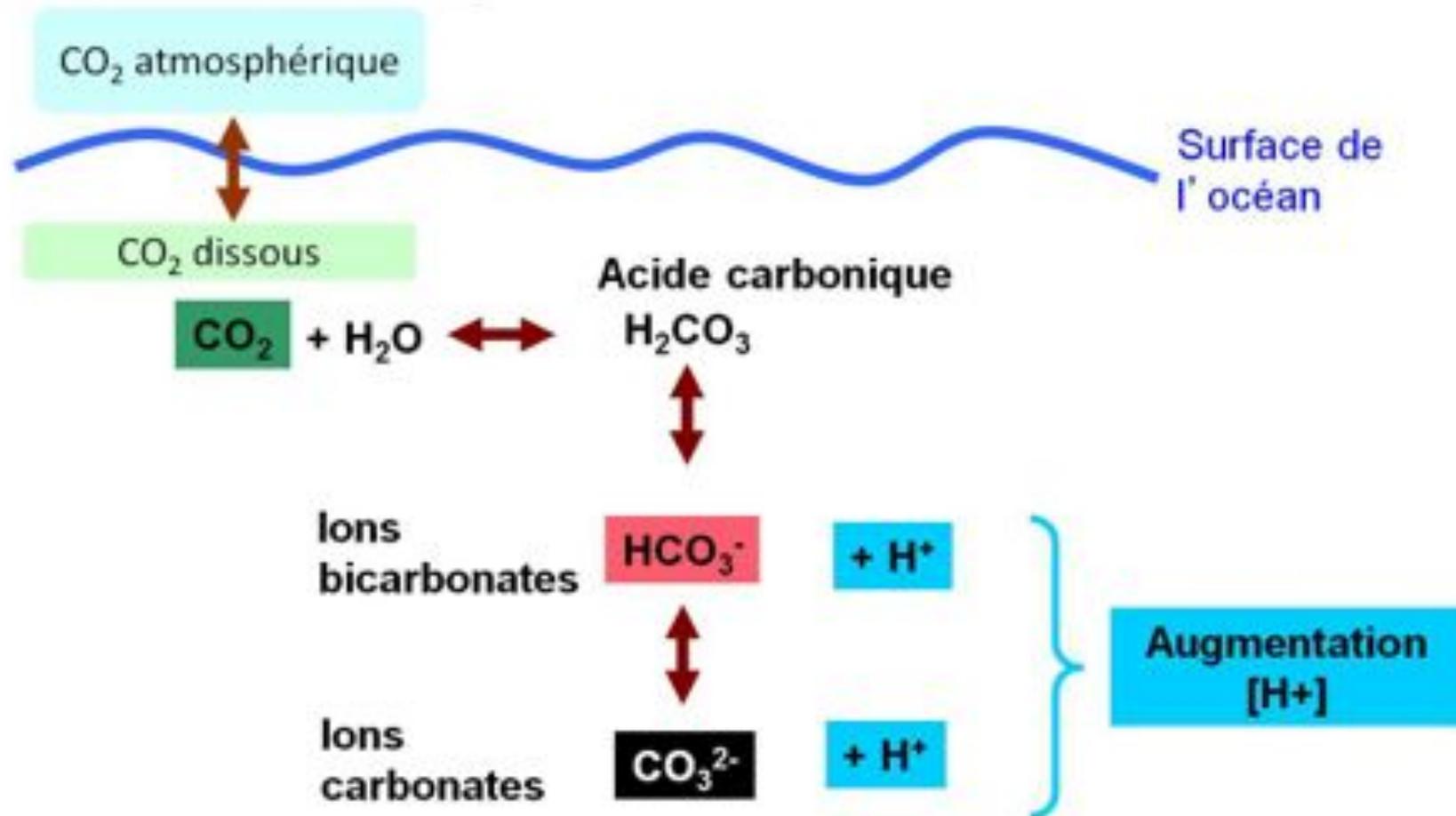
$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]$  → Si [H<sup>+</sup>] augmente le pH diminue

- ✓ Eaux superficielles des océans : pH 8,25 à 8,14 de 1751 à 2004 (Jacobson, 2005)
- ✓ Diminution de 0,5 unité d'ici 2100 (Caldeira & Wickett, *J. Geophys. Res.* 110, 2005)
- ✓ Les organismes calcifiés pourraient ne pas survivre d'ici 100 ans (Doney *et al.*, *Ann. Rev. Mar. Sci.* 1, 2009; Veron *et al.*, *Mar. Poll. Bull.* 58, 2009)

# Acidification des océans

Augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique

## Acidification des océans

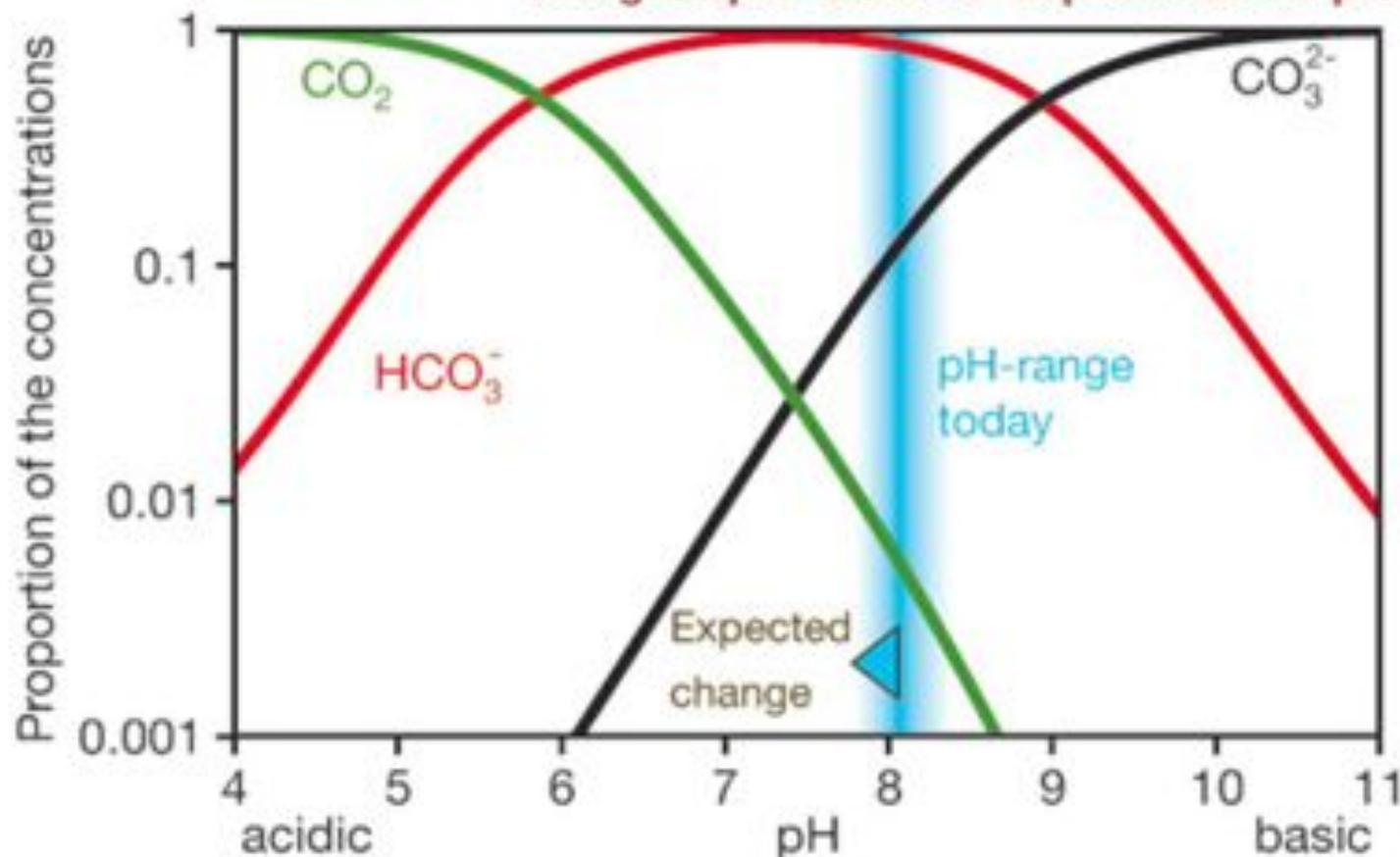


# Acidification des océans

## Augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique

### Acidification des océans

La concentration des trois formes de carbone inorganique dissous dépendent du pH

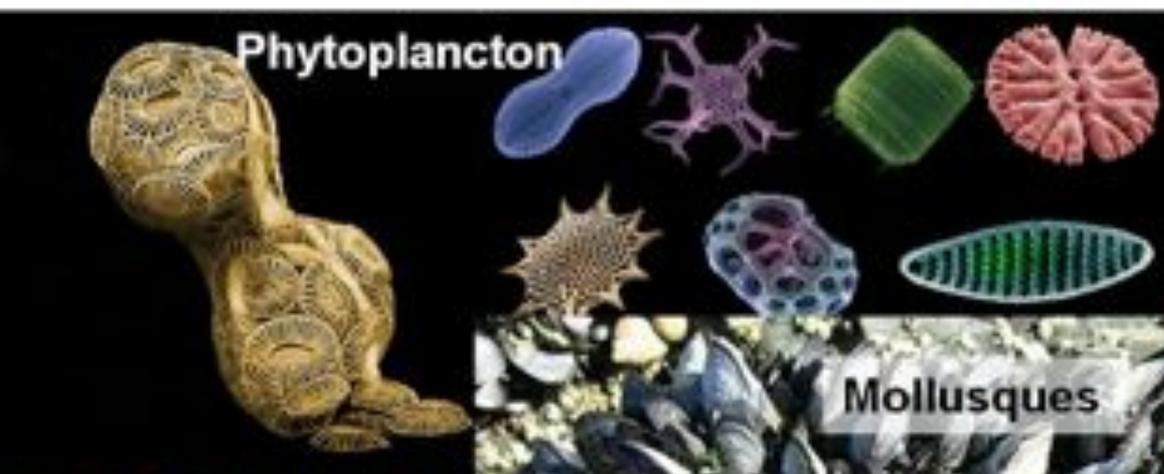


→ La concentration en carbonate CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> diminue

# Acidification des océans

Augmentation du  $\text{CO}_2$  atmosphérique

Rôle du  $\text{CO}_3^{2-}$  dans l'océan : contrôle les processus de précipitation et de dissolution du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ )

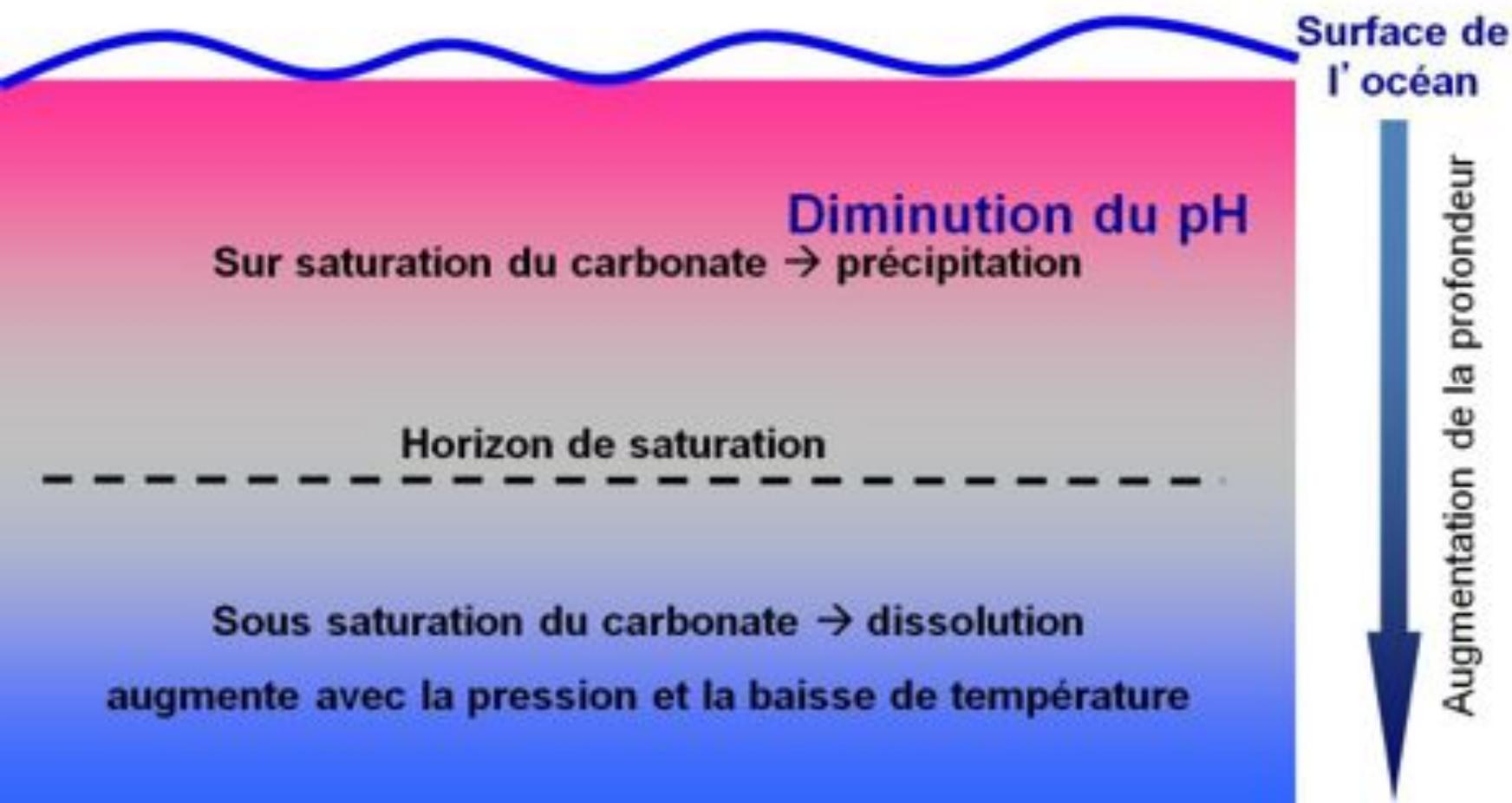


# Acidification des océans

Augmentation du  $\text{CO}_2$  atmosphérique

## Acidification des océans

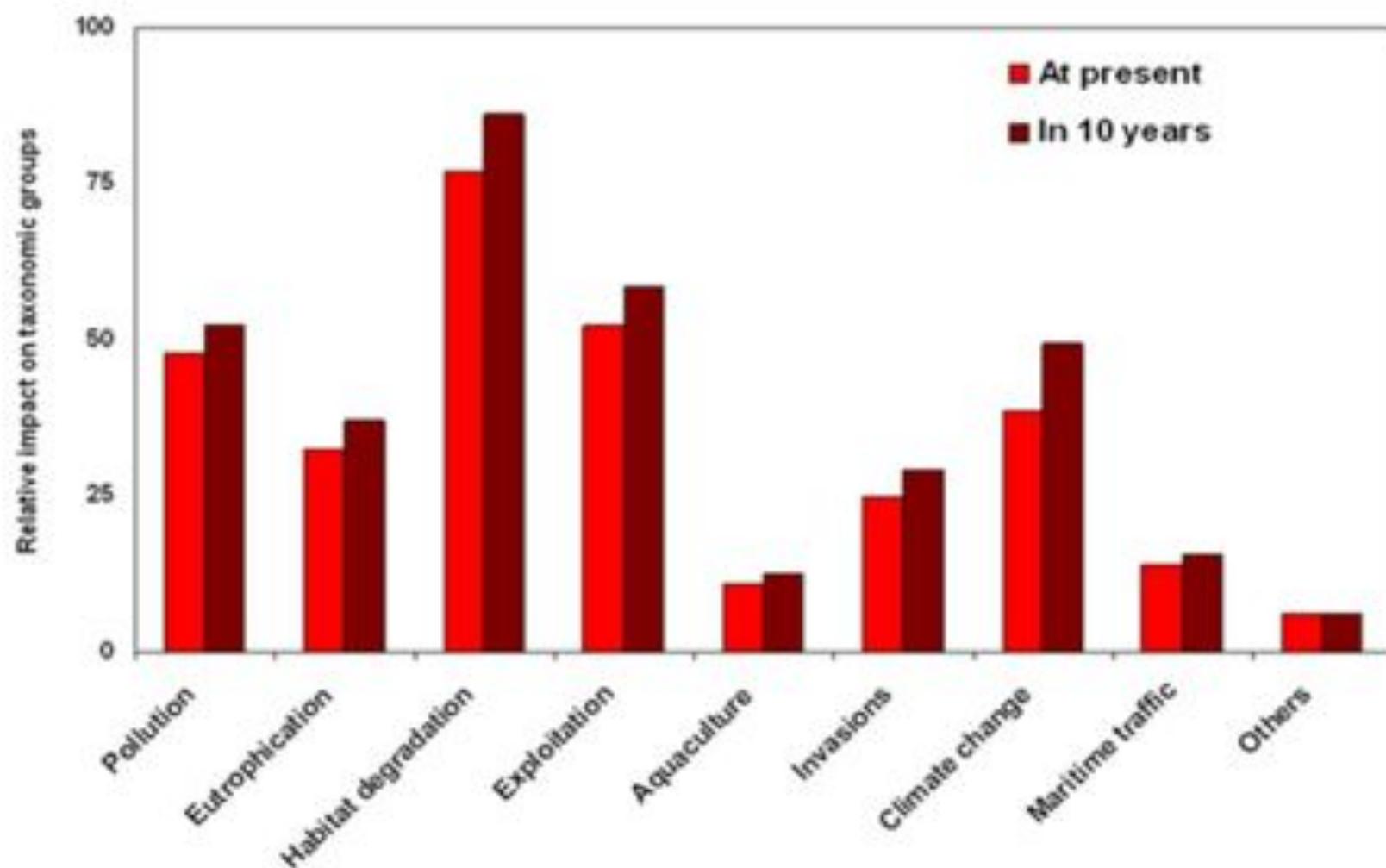
Rôle du  $\text{CO}_3^{2-}$  dans l'océan :



**Impact du changement climatique sur les  
écosystèmes marins méditerranéens**



## Menaces actuelles et futures pour la biodiversité en Méditerranée



Coll M, Piroddi C, Steenbeek J, Kaschner K, et al. (2010) The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. PLoS ONE 5(8): e11842. doi:10.1371/journal.pone.0011842

<http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0011842>

## Conséquences des variations de température

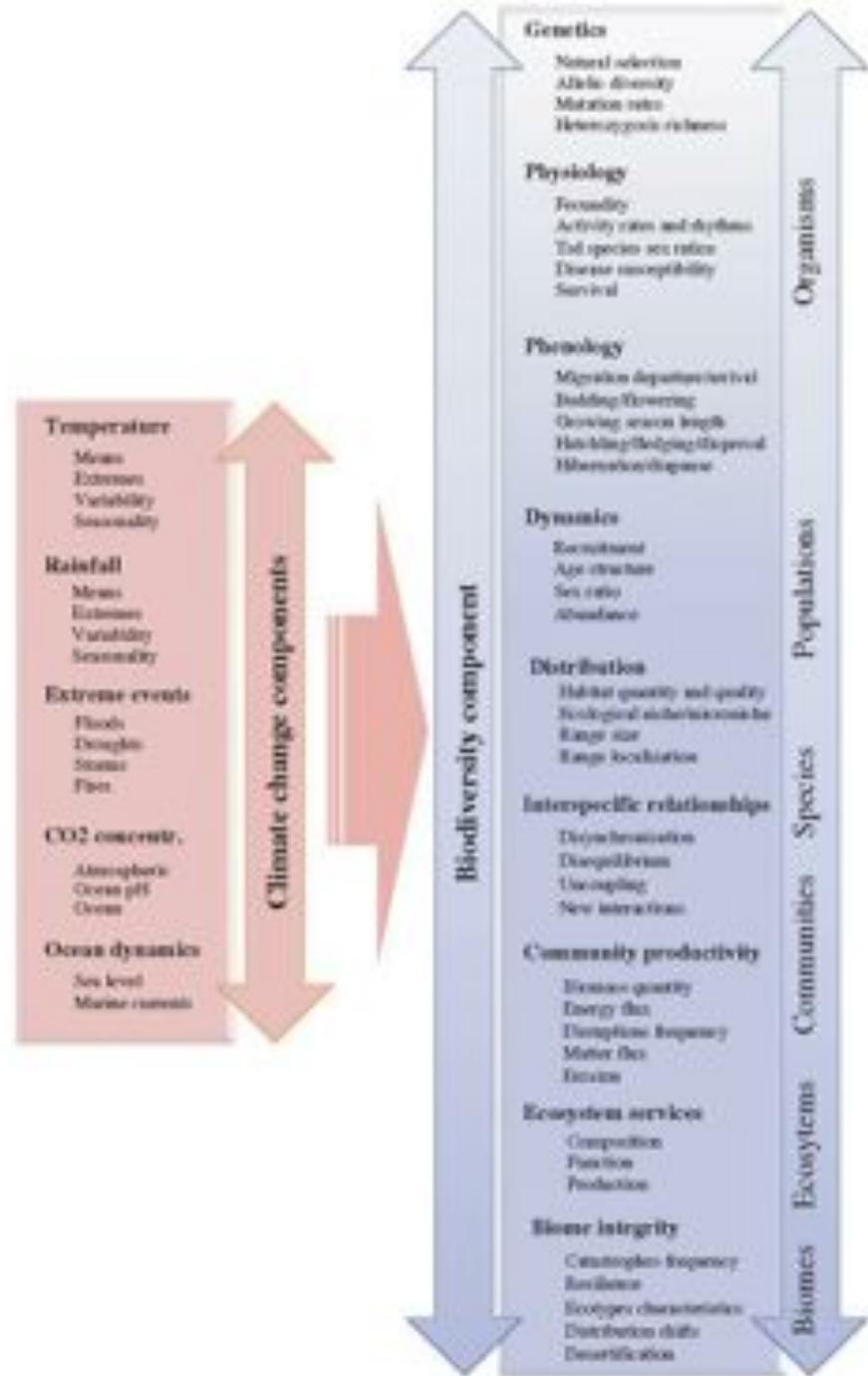
Diminution de la biodiversité : une estimation prévoit que pour une augmentation de +1,8 à 2° C, 15 à 37% de l'ensemble des espèces seront menacées d'extinction (Thomas *et al.*, *Nature* 427, 2004)

### Facteurs d'érosion de la biodiversité :

Leadley *et al.*,  
2010



1. *la destruction ou la dégradation des écosystèmes*
2. *l'exploitation non durable de la biodiversité*
3. *les invasions ou les proliférations d'espèces*
4. ***le réchauffement climatique***

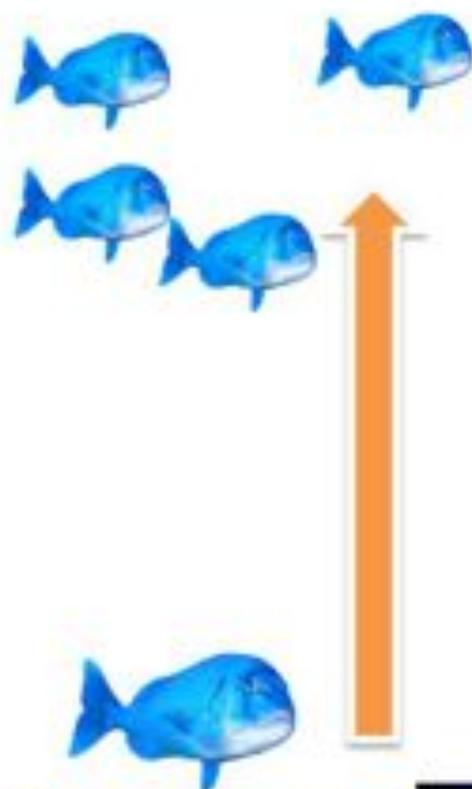


## Résumé des effets possibles du changement climatique sur les différents niveaux de la biodiversité

D'après Bellard *et al.* (*Ecol. Lett.*, 2012)

# Les conséquences sur la biodiversité

Organismes mobiles :  
migration vers le nord,  
modification de la répartition



Organismes fixés et  
organismes mobiles d'affinité  
froide : épisodes de mortalité



**« Tropicalisation » de la Méditerranée**

## Les conséquences sur la biodiversité

Des modifications d'aire de répartition (latitudinales et altitudinales) ont été observées pour plus de 1000 espèces dans le monde (Parmesan, 2006)

Espèces marines : bien documenté pour le phytoplancton, zooplancton et les poissons

En 50 ans : diminution des espèces froides reliques du zooplancton au Nord de l'Adriatique (Fonda Umani & Conversi, CIESM, 2008)

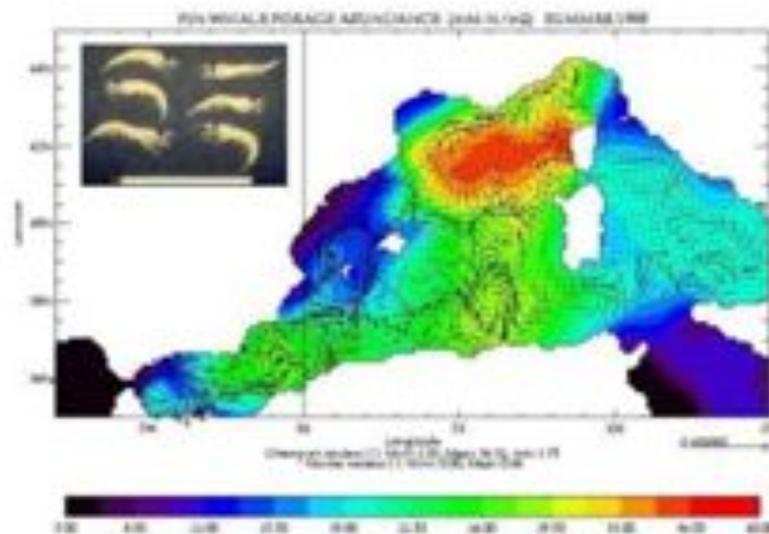
*Pseudocalanus elongatus*  
©Zimnes



# Les conséquences sur la biodiversité

En Méditerranée, l'euphausiacé *Meganyctiphanes norvegica* qui se trouve à la limite nord de sa tolérance écologique pourrait être impactée par le réchauffement  
→ impact sur les cétacés

(Gambaiani *et al.*, *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 89, 2009)



Distribution de *M. norvegica*, principale source alimentaire du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) en Méditerranée

# Les conséquences sur la biodiversité

Changements de distribution de certaines espèces  
→ progression vers le Nord



*Parablennius pilicornis*



*Sphiraena viridensis*

# Les conséquences sur la biodiversité

Changements de distribution de certaines espèces  
→ progression vers le Nord



Bianchi & Morri, *Porcupine Newsletter* 5, 1993

Francour *et al.*, *Mar. Poll. Bul.* 28, 1994

Astraldi *et al.*, *Oceanologica Acta* 18, 1995

Azzuro, *CIESM*, 2008 : 51 espèces de poissons concernées

# Les conséquences sur la biodiversité

Changements de distribution de certaines espèces

→ progression vers le Nord



*Stramonita haemastoma*

## Changements de distribution de certaines espèces

→ diminution et extinction?

Le crustacé endémique *Hemimysis speluncola*, abondant dans les années 1990s dans les grottes sous-marines obscures a quasiment disparu de Méditerranée (peut-être encore dans le Nord de l'Adriatique) et a été remplacé par *Hemimysis margalefi* (Chevaldonné & Lejeusne, *Ecol. Lett.* 6, 2003)



*Hemimysis margalefi* ©J.G. Harmelin

## Mortalités massives d'espèces thermosensibles



Perez *et al.*, C.R. Acad. Sci. Paris, 2000  
Mortalité massive d'invertébrés sessiles à  
la fin de l'été 1999  
UNEP-MAP-RAC/SPA, 2008



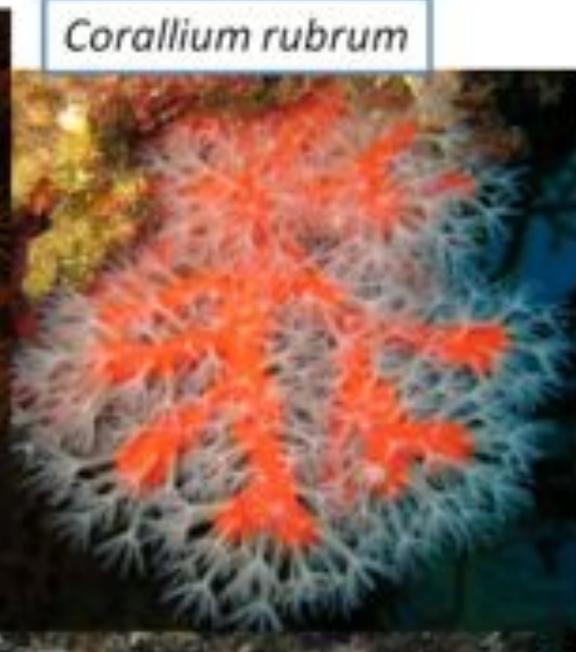
- Perturbations physiologiques
- Changements des communautés

# Les conséquences sur la biodiversité

## Mortalité des espèces thermosensibles



*Parazoanthus axinellae*



*Corallium rubrum*



Gorgones : *Paramuricea*  
et *Eunicella*



Bryozoaire  
*Pentapora fascialis*



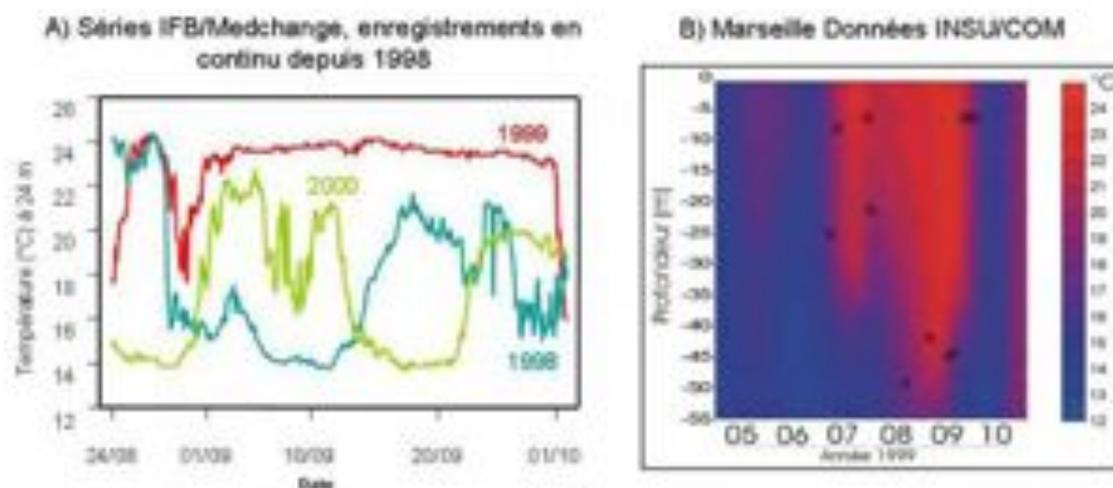
Spongiaires

## Mortalités massives d'espèces thermosensibles

Anomalie thermique (Perez *et al.*, *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 2000)

Pour certains suspensivores, l'été est une saison de pénurie alimentaire (Coma & Ribes, *Oikos* 101, 2003)

*Vibrio* pathogènes (Bally & Garrabou, *Glob. Change Biol.* 13, 2007)



- Des conditions exceptionnellement stables en septembre
- Plongée de la thermocline jusqu'à 40 m
- Réchauffement des couches d'eau suprathermoclineales de 2°C

Perez *et al.*, CAR/ASP, 2008

## Les conséquences sur la biodiversité

Changements de distribution de certaines espèces  
→ effets positifs sur la biologie de certaines espèces

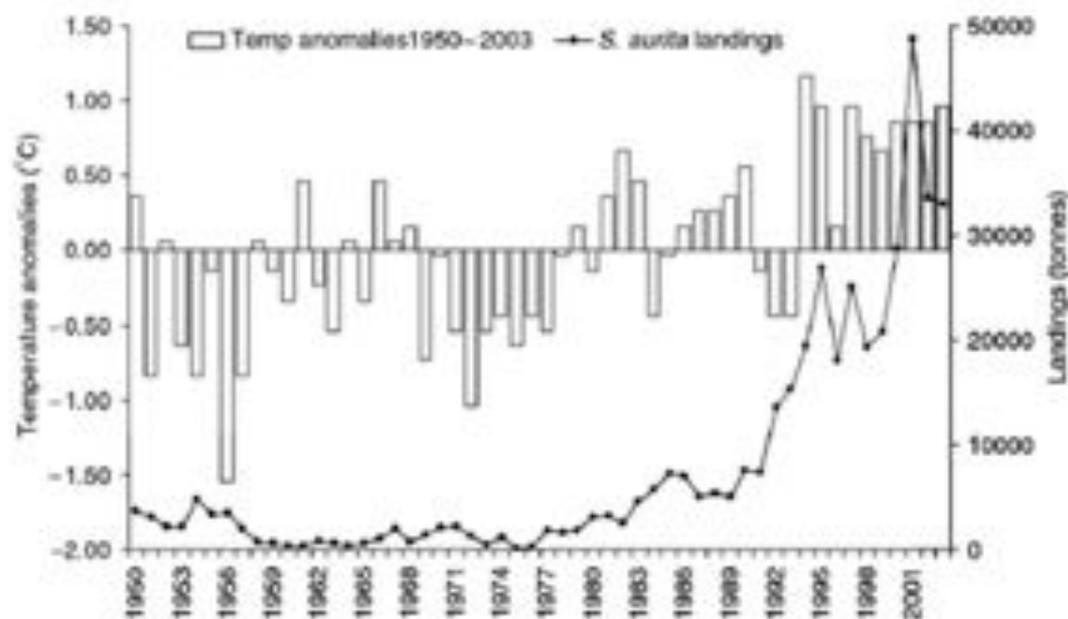


*Epinephelus marginatus*

# Les conséquences sur la biodiversité

## Effet sur certaines pêcheries en Méditerranée

### Pêche de la Sardinelle en relation avec le réchauffement



Sabatés et al., *Glob. Changes Ecol.* 12, 2006)

Effets négatifs sur les  
« espèces d'eaux froides »

Exemples :

- Sprat en Adriatique et dans le golfe du Lion
  - Anchois en Adriatique
- Francour et al. 1994 ; Bombace 2001

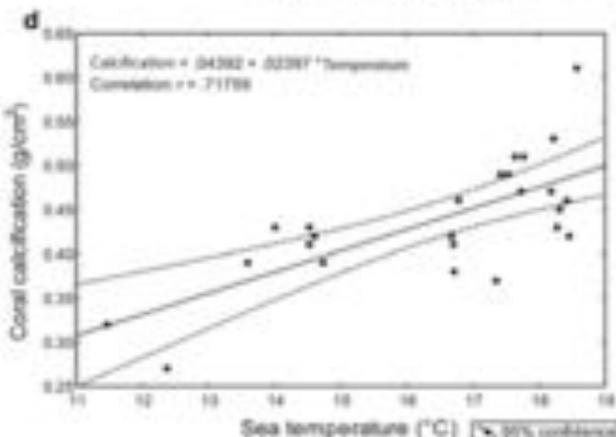
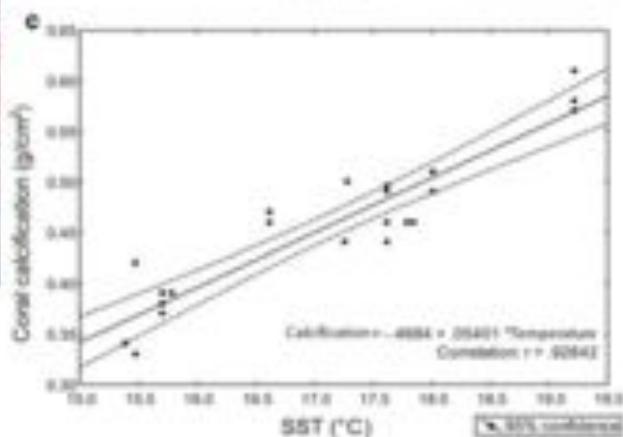
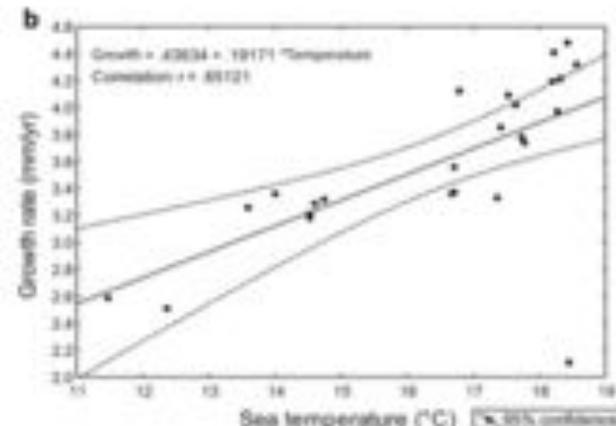
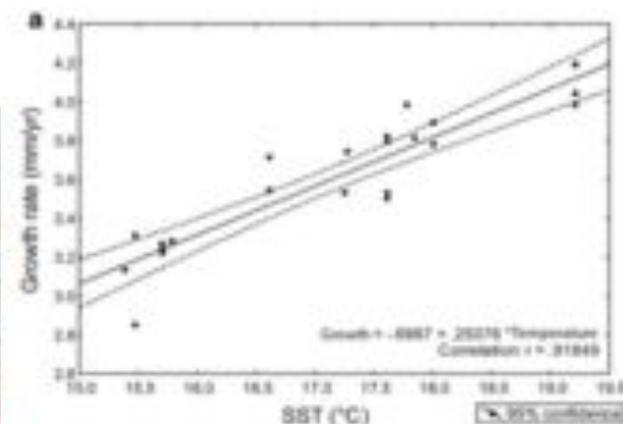


# Les conséquences sur la biodiversité

## Effets sur la physiologie des espèces

### Impact sur la croissance du Scléractiniaire *Cladocora caespitosa*

Augmentation de la croissance avec la température (Adriatique, Kružić *et al.*, *Facies* 58, 2012)



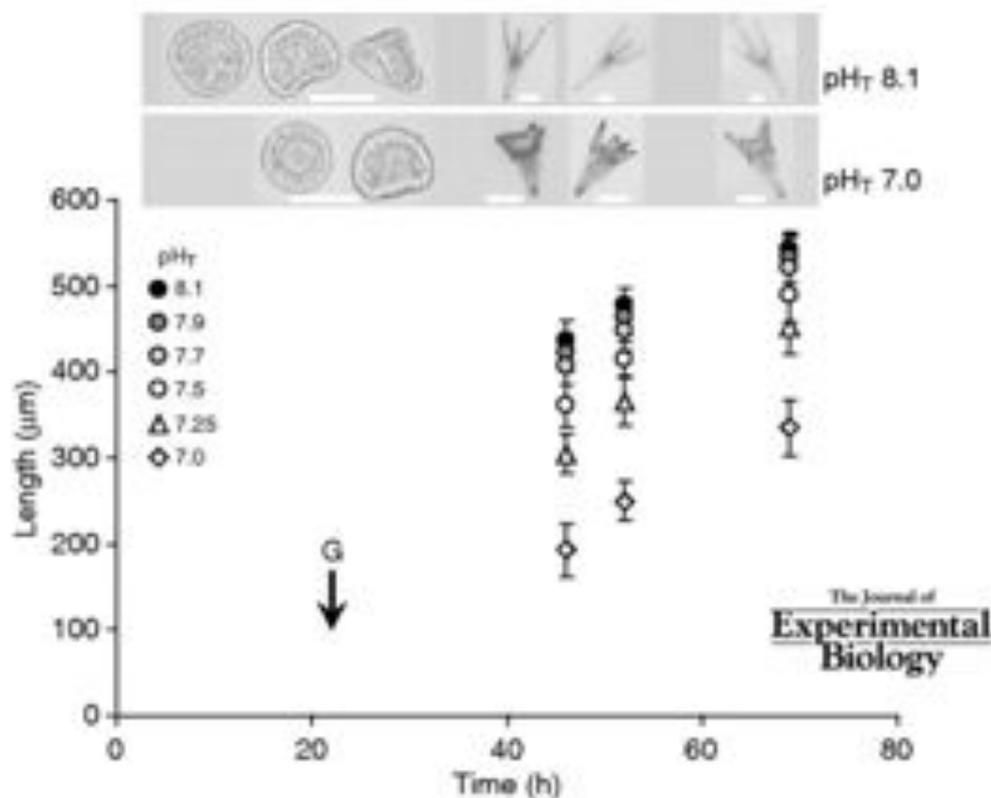
## Effet de l'acidification sur la calcification des invertébrés

Effets sur le développement des œufs et larves d'oursin *Paracentrotus lividus* (Martin *et al.*, *J. Exp. Biol.* 214, 2011)

Expérimentations : pH 8,1 à 7,25

Pas d'effet sur la fertilisation,  
Diminution de la croissance des larves  
mais pas d'effet sur la morphologie ou la  
calcification

Plasticité de l'expression des gènes  
impliqués dans le développement et la  
biominéralisation : X 26 de leur activité

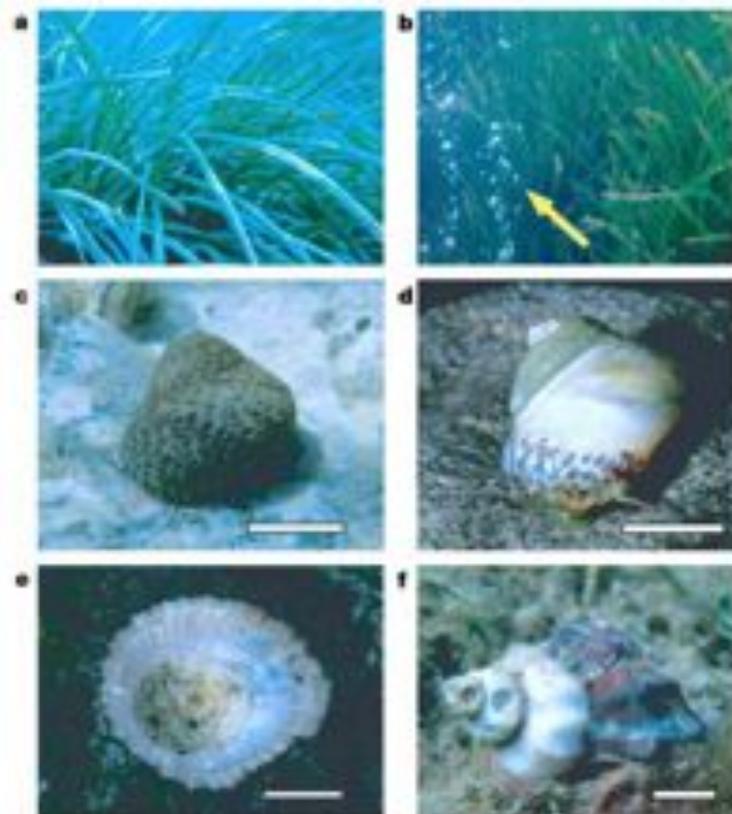


## Effet de l'acidification sur la calcification des invertébrés

Acidification due au CO<sub>2</sub> d'origine volcanique et ses effet sur les écosystèmes (Hall-Spencer *et al.*, Nature 454:96-99)

Ischia, Italie du Sud

*In situ* : diminution du pH 8,14 à ph 6,57  
Diminution des coraux scléractiniaires, des mollusques, des oursins et des algues calcifiées  
Augmentation de la production des Magnoliophytes

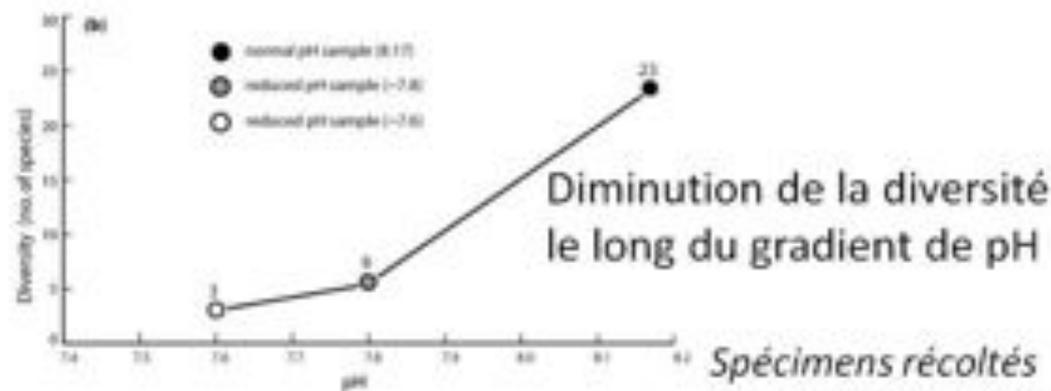
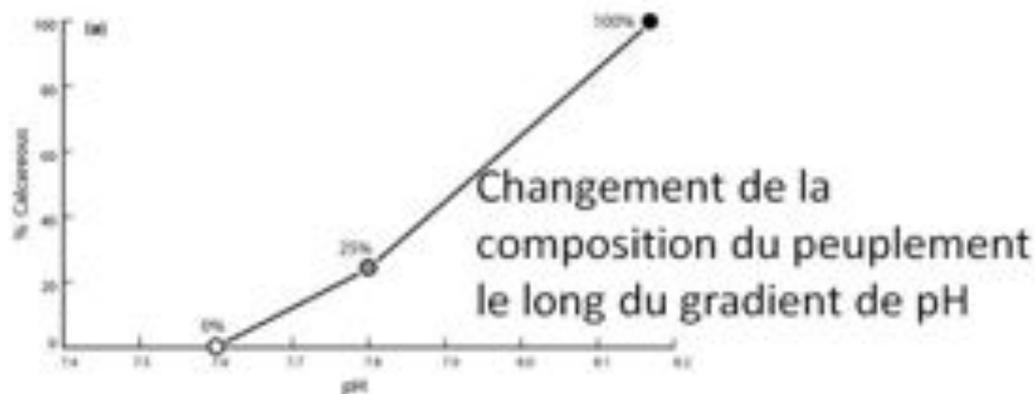


**Figure 4 | Dissolution of calcified organisms due to naturally acidified sea water.** **a, b,** *Posidonia oceanica* with heavy overgrowth of *Corallinaceae* at pH 8.2 (**a**) and lacking *Corallinaceae* at mean pH 7.6 (**b**); arrow indicates bubbles from the CO<sub>2</sub> vent field. **c, d,** Typical examples of *O. turbinata* with the periostracum intact at pH 8.2 (**c**) and with old parts of the periostracum removed at mean pH 7.3 (**d**). **e, f,** Live *P. caerulea* (**e**) and *H. truncular* (**f**) showing severely eroded, pitted shells in areas of minimum pH 7.4. Scale bars represent 1 cm.

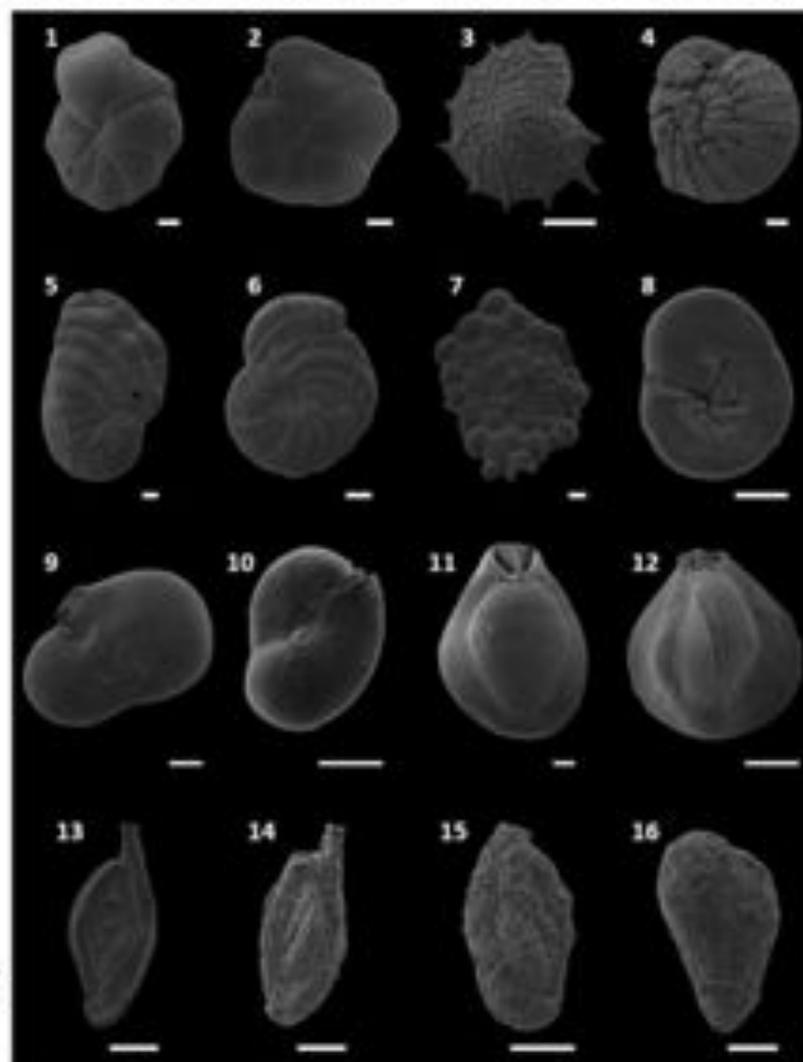
## Effet de l'acidification sur la calcification des invertébrés

Effet de l'acidification sur les foraminifères en Méditerranée (Dias *et al.*, J. Geol. Soc. 167, 2010)

Ischia, Italie du Sud



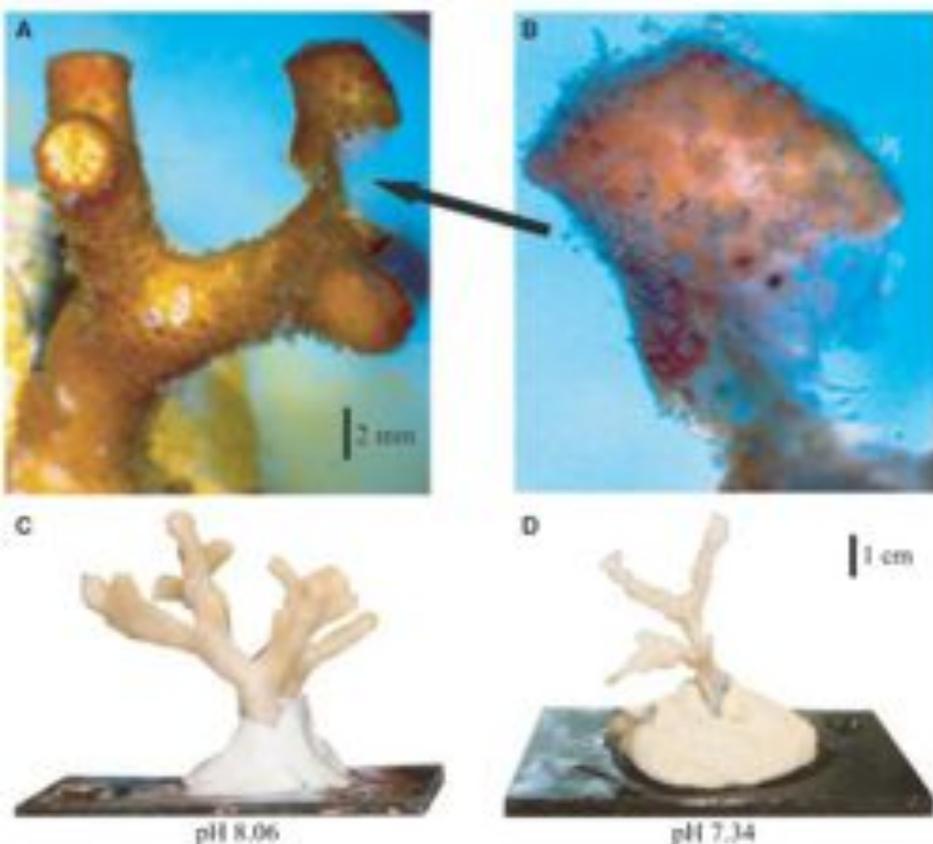
Spécimens récoltés dans des zones de pH normal



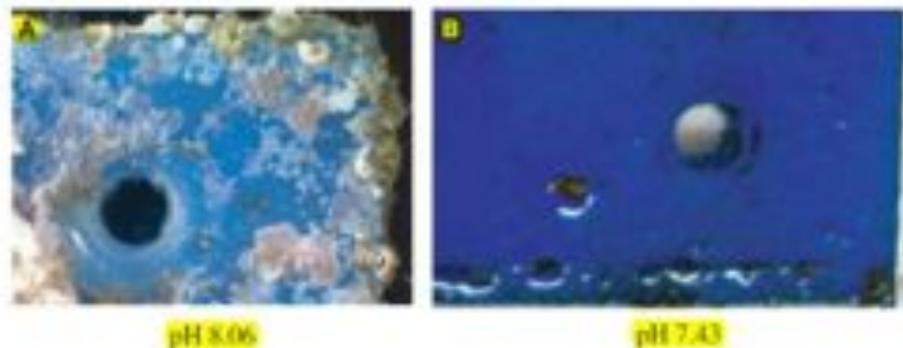
## Effet de l'acidification sur la calcification des invertébrés

Effet de l'acidification sur le bryzoaire *Myriapora truncata* en Méditerranée (Rodolfo-Metalpa et al., *Mar. Ecol.* 31, 2010)

Expérimentations *in situ* Ischia, Italie du Sud



*Myriapora truncata* maintenu 128 jours à pH 7,43 (A et B), squelette après 45 jours à pH 8,06 (C) et pH 7,34 (D)



Colonisation de plaques durant 45 jours à pH 8,06 et 7,43

## Les espèces introduites

Le changement climatique favorise l'arrivée d'espèces tropicales et thermophiles à l'Est de la Méditerranée (Raitsos *et al.*, *Limnol. Oceanogr.* 55, 2010)

Le réchauffement de la Méditerranée favorise la dispersion des espèces lessepsiennes (Occhipinti-Ambrogi, *Mar. Poll. Bull.* 55, 2007)



*Siganus luridus*, poisson lapin

## Modification du niveau marin

Effets de la montée du niveau marin sur les peuplements des substrats rocheux (Vaselli *et al.*, *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 368, 2008)

Modification de la topographie du rivage : + 5 à 50 cm : +58% de substrats raides (> 40 °) donc changement des communautés du médiolittoral et de l'infra-littoral supérieur

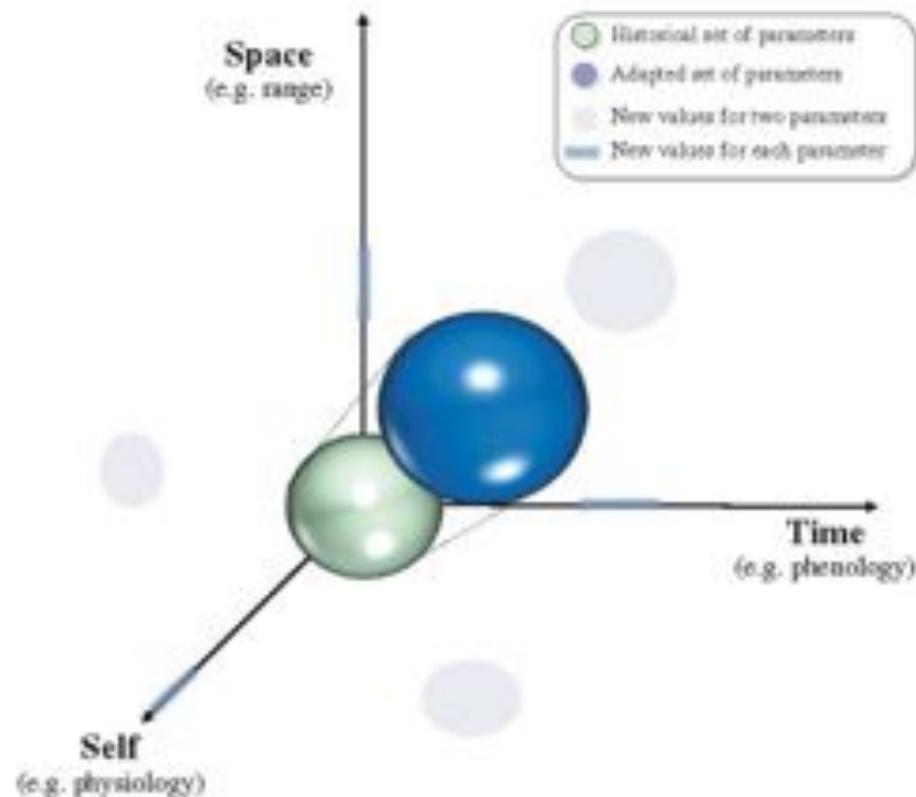
Modification des communautés médiolittorales actuelles : mortalité du trottoir à *Lithophyllum byssoides* (Verlaque, obs. pers.)



Rivages fossiles?, calanques de Marseille, 2014

# Conclusions

## « Niche climatique »



Trois directions pour répondre au changement climatique :

- Bouger, changer d'habitat
- Changer les caractéristiques biologiques de l'espèce dans le temps : cycle, saisonnalité, etc.
- Changer les caractéristiques biologiques de l'espèce dans sa physiologie

D'après Bellard *et al.* (Ecol. Lett.2012)

## Conclusions

- ✓ Une multitude de réponses existent pour faire face au changement climatique
- ✓ Cependant, les réponses de nombreuses espèces sont susceptibles d'être insuffisantes pour contrer la vitesse et l'ampleur du changement climatique en cours
- ✓ Il faut en plus faire face à d'autres menaces qui viennent s'ajouter et qui peuvent agir en synergie avec le changement climatique
- ✓ Le changement climatique concerne de plus en plus d'espèces qui risquent l'extinction avec tous les bouleversements écologiques que cela peut entraîner



**Merci de votre attention**