

Acidification et écosystèmes marins

James Orr

Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)

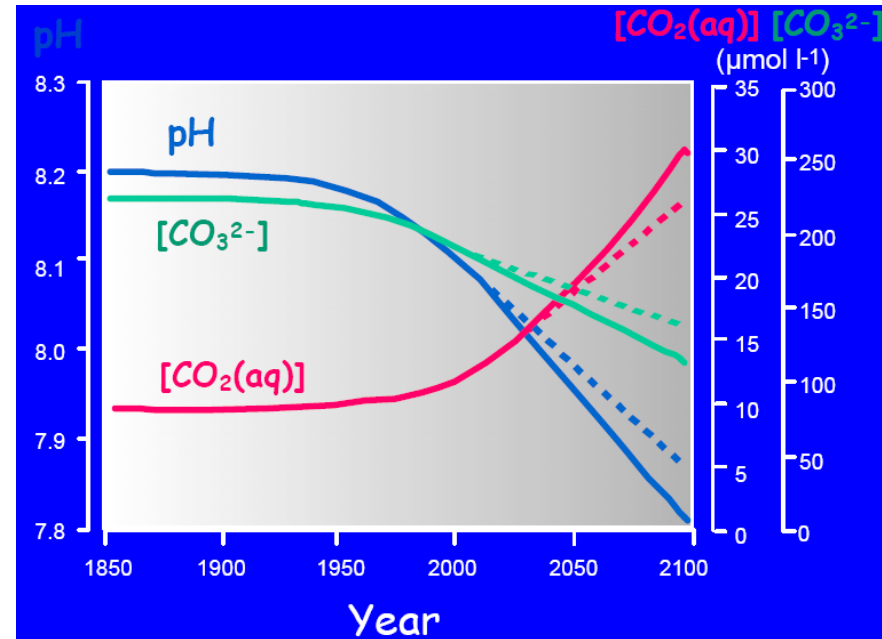
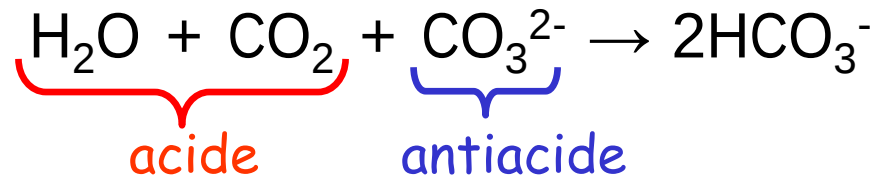
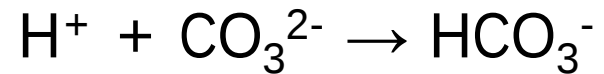
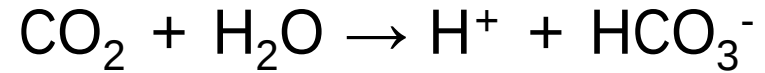
*Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), CEA-CNRS-UVSQ
Gif-sur-Yvette, France*



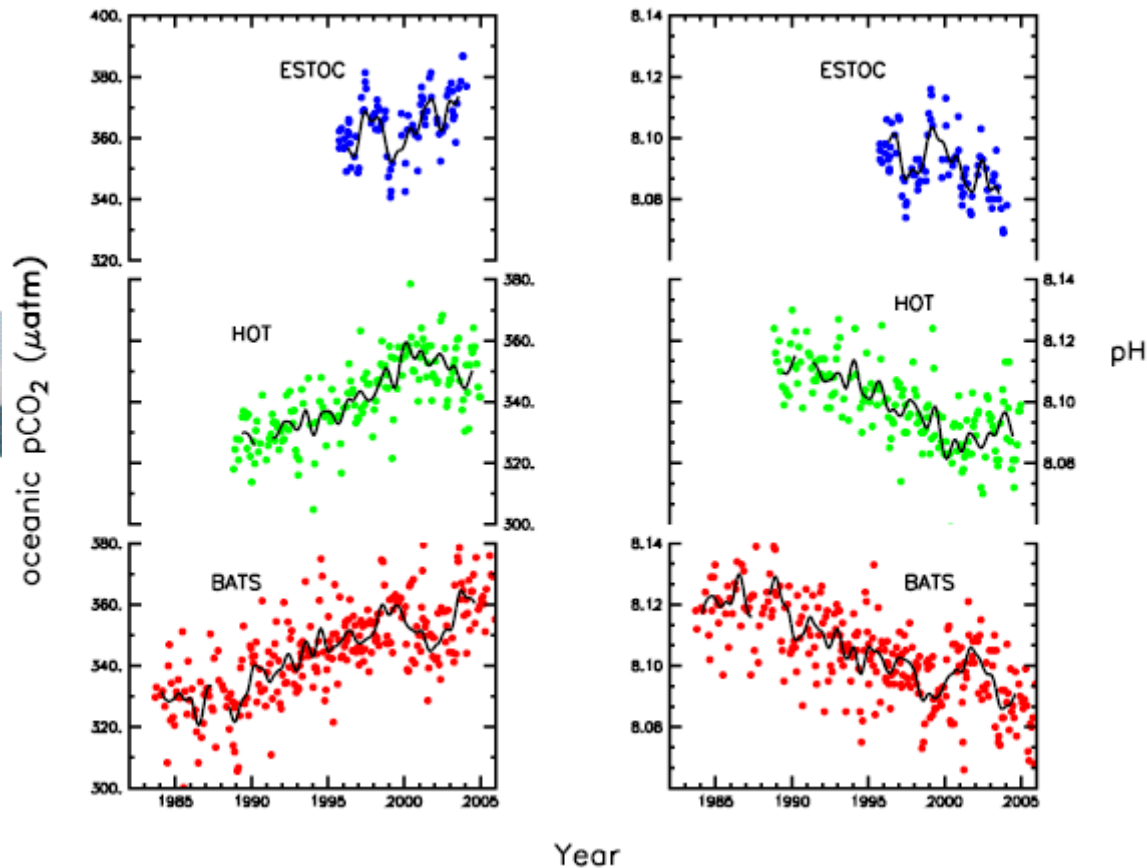
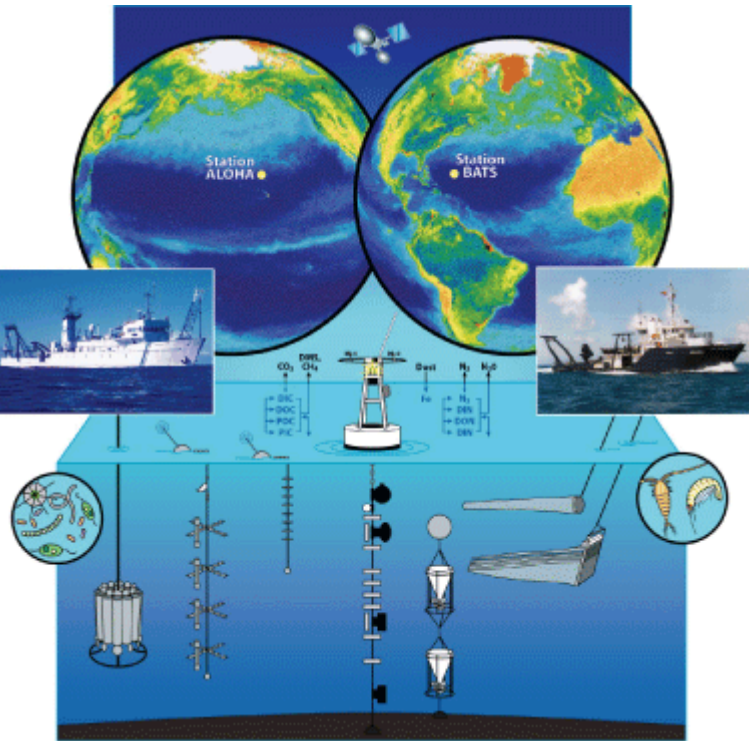
*European Project on
Ocean Acidification*

Acidification des océans

- l'océan absorbe $\frac{1}{4}$ du CO_2 anthropique émis dans l'atmosphère
- le CO_2 est un gaz acide
- l'acidité de l'océan +30% depuis le début de l'ère industrielle



Réduction du pH de l'océan déjà mesurable



Réduction anthropique du pH de surface

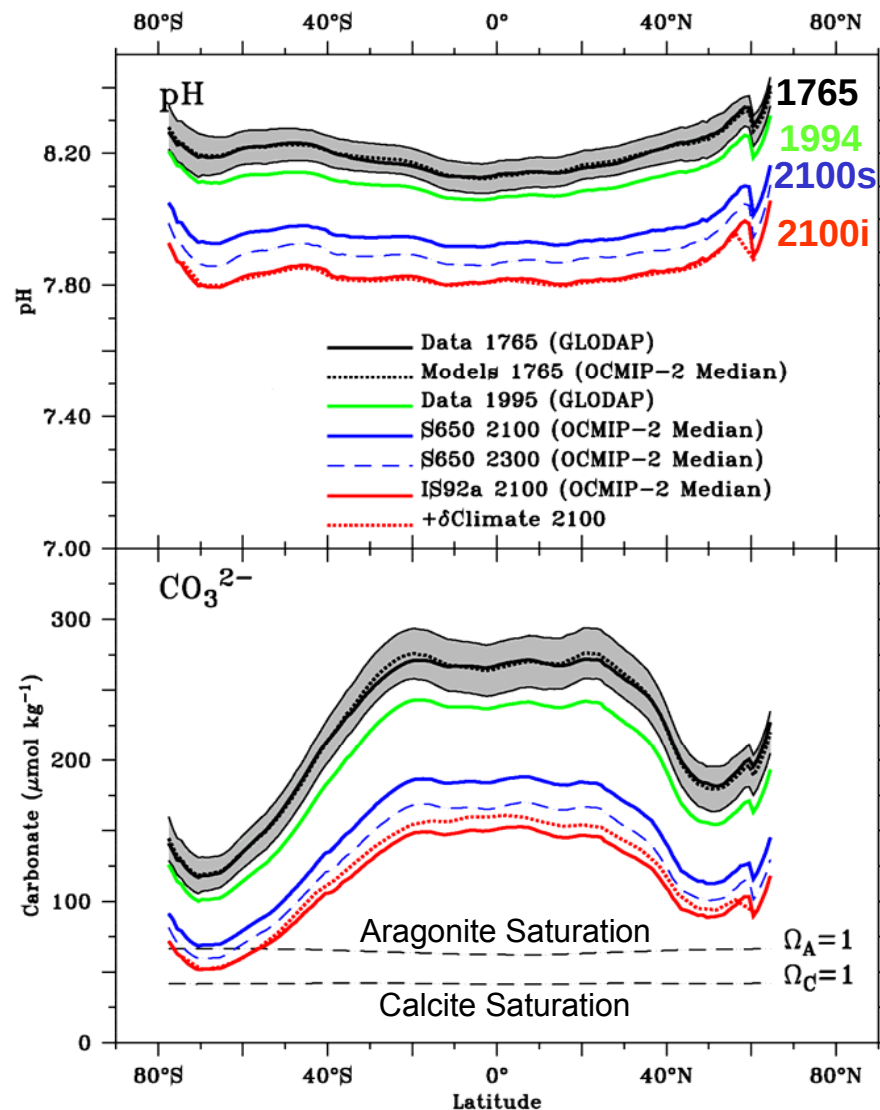
de 0.1 unités depuis 1750 (méthode indirecte)

de 0.02 unités par décennie depuis 1980 (méthode directe)

based on Bates, Dore, Gonzàles-Dàvila et al. in Willebrand, Bindoff et al. (IPCC AR4, 2007)

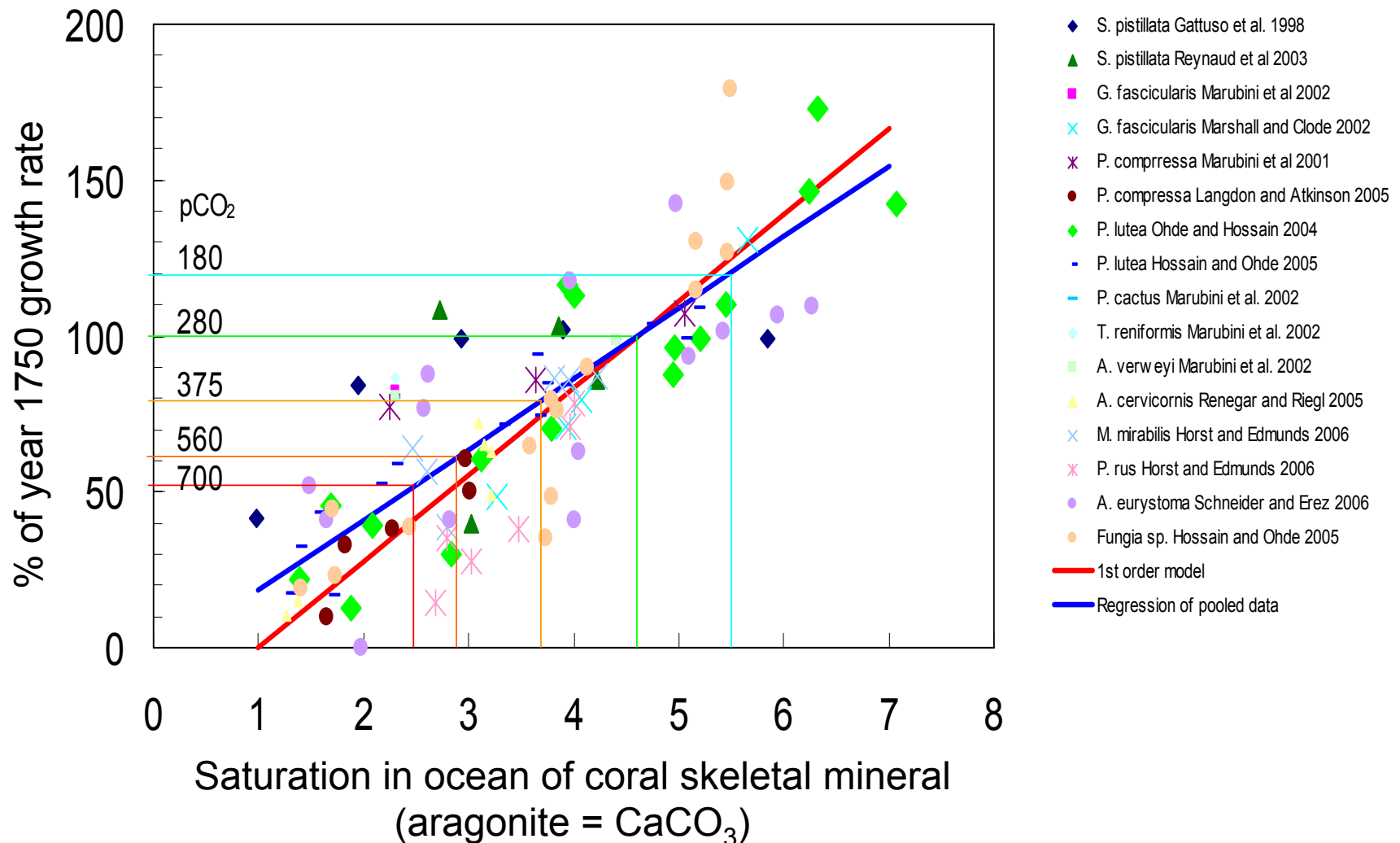
Grandes réductions de pH et $[\text{CO}_3^{2-}]$ en surface

- réductions de pH
-0.3 à -0.4 avant 2100
= plus de $[\text{H}^+]$ (100-150%)
- réduction de $[\text{CO}_3^{2-}]$
= sous-saturation ($\Omega_A < 1$)
dans l'océan austral
(jusqu'à $55 \pm 5 \mu\text{mol/kg}$ en
2100, IS92a)



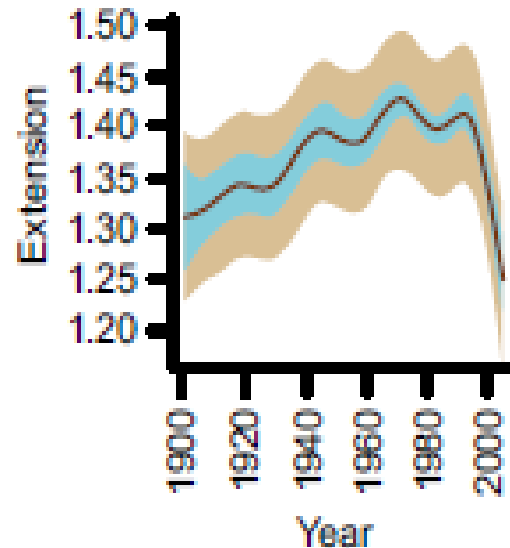
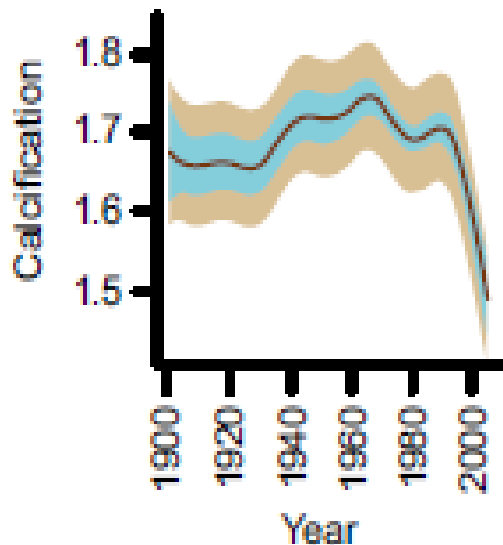
Orr et al. 2005 (Nature)

Coral skeletons grow more slowly at higher CO₂ levels



Decline in GBR coral growth since 1990

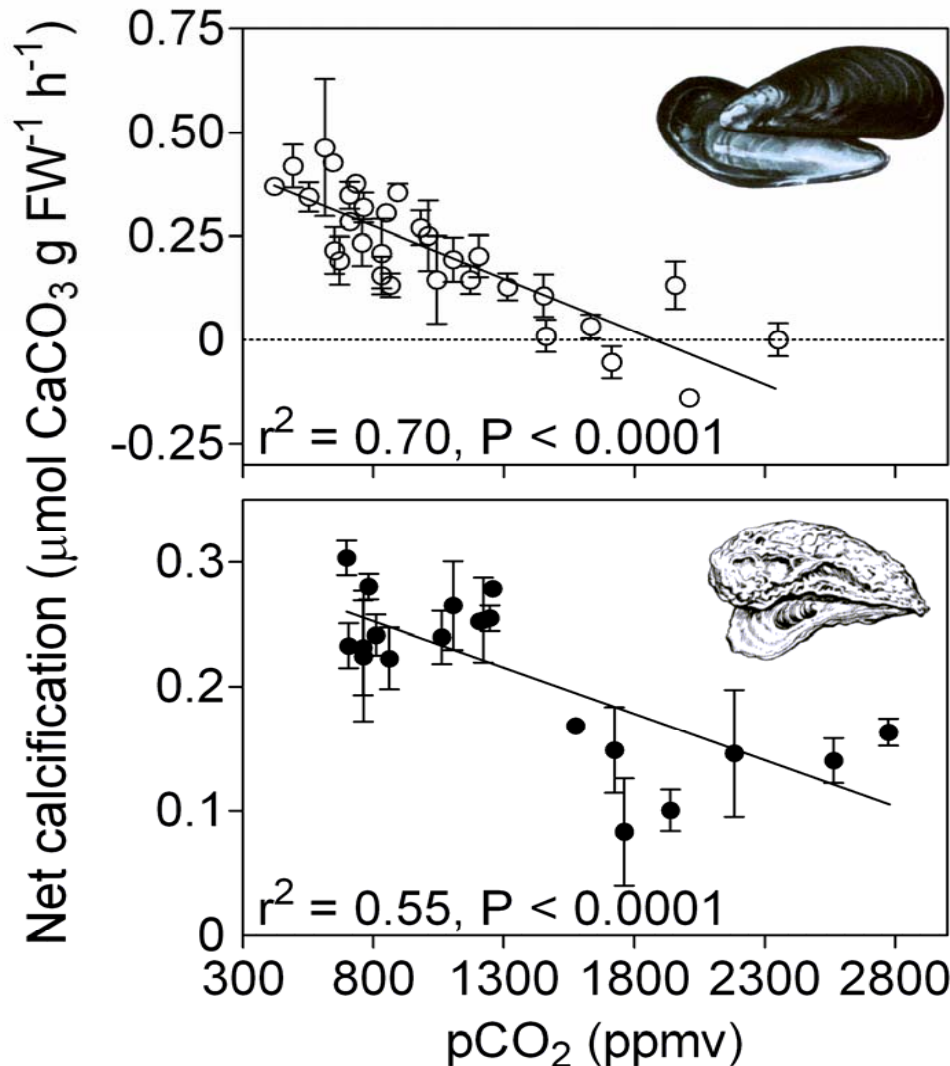
- 328 Massive *Porites* coral colonies (on 69 reefs)
- Reductions 1990-2005
 - 14% calcification
 - 13% linear growth



- Most probable causes:
 - warming
 - acidification

De'ath et al. (2009) Science

Mussels & oysters calcify less at higher CO₂



Decrease in calcification rates for the 2 species: *Mytilus edulis* & *Crassostrea gigas*

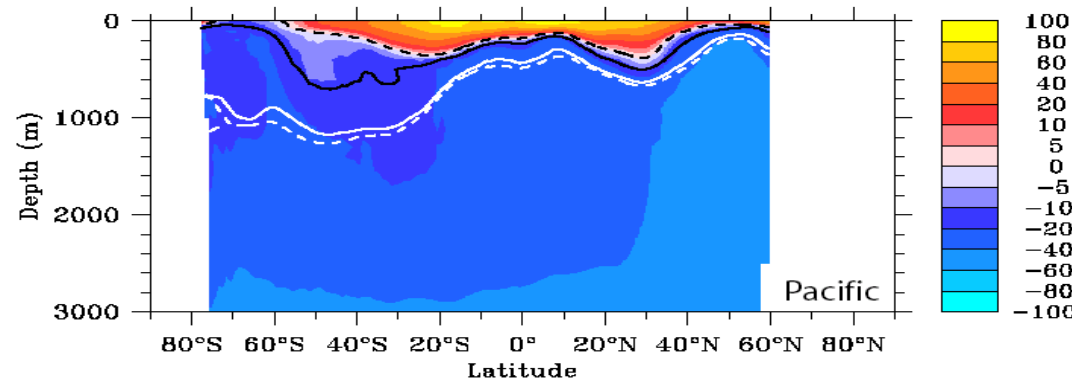
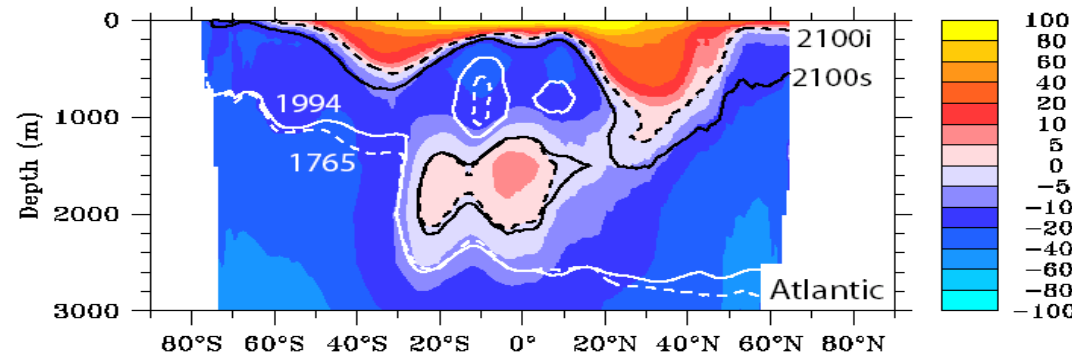
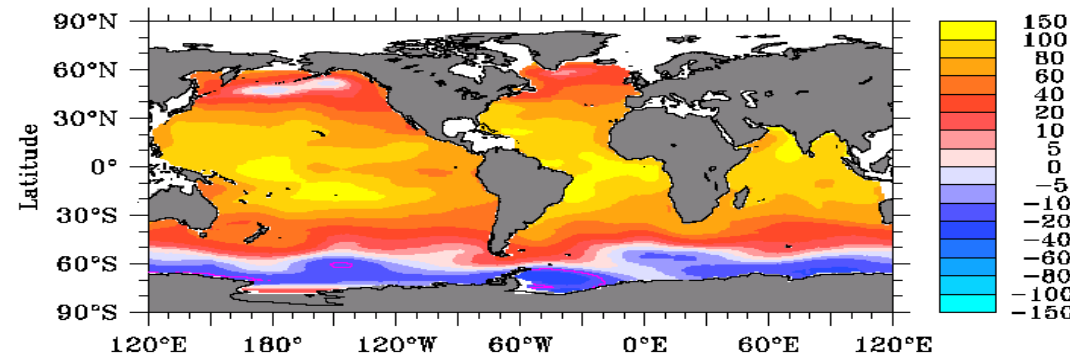
- Significant with $p\text{CO}_2$ increase and $[\text{CO}_3^{2-}]$ decrease

At $p\text{CO}_2$ 740 ppmv:

- 25% decrease in calcification for mussels
- 10% decrease in calcification for oysters

En 2100... grands changements de l'état de saturation en sous-surface ($\Delta[\text{CO}_3^{2-}]_A$) [$\mu\text{mol kg}^{-1}$]

- Sous-saturation en surface ($\Delta[\text{CO}_3^{2-}]_A < 0$)
 - Océan Austral
 - Pacifique subarctique
- Remontée de l'horizon de saturation d'aragonite (i.e., $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]_A = 0$)
 - Océan Austral (vers ~1000 m)
 - Atlantique nord (vers ~3000 m)



Limacina helicina
(dominant polar pteropod)

- Macro-Zooplankton
- Abundant food source for marine predators
- Integral component of food webs
- Pteropod populations highest in cold waters (reaching 10,000 / m³)
- Ross Sea
 - *L. helicina* sometimes dominates over krill
 - Indicator of ecosystem health
 - Dominant exporter of organic & inorganic C



Photo credit: Russ Hopcroft, NOAA

Pacific pink salmon growth depends on pteropod abundance

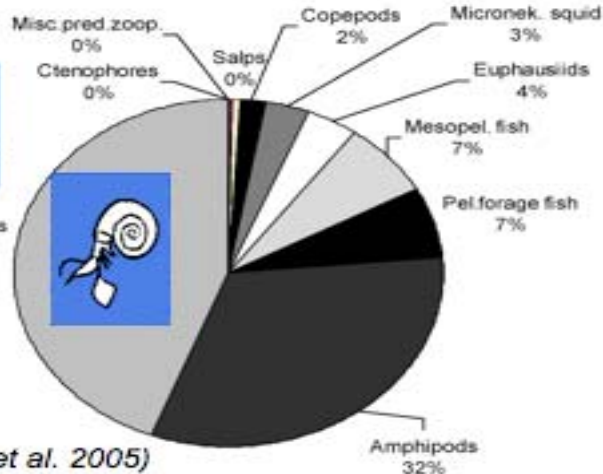
Research on Impacts of OA on Pacific Salmon

- ▲ Western Alaskan Sockeye
- ◆ British Columbia Sockeye
- Central Alaskan Pink
- Japanese Chum

Pink salmon diet



Pteropods
45%



(Aydin et al. 2005)

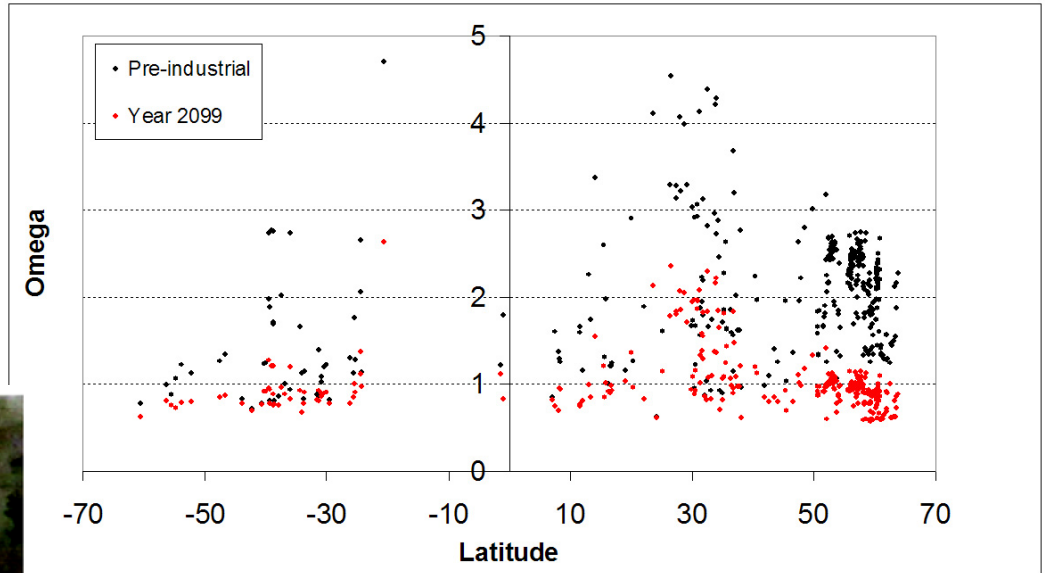
Predicted effect of climate change on pink salmon growth:

- 10% increase in water temperature leads to 3% drop in mature salmon body weight (physiological effect).
- 10% decrease in pteropod production leads to 20% drop in mature salmon body weight (prey limitation).

Most cold-water corals exposed to corrosive waters by 2100 (IS92a scenario)

Stony Cold-water corals:

- 2005 : 95% with $\Omega_A > 1$
- 2100 : 35% with $\Omega_A > 1$



Guinotte et al. (2006, Frontiers in Ecol. Env)

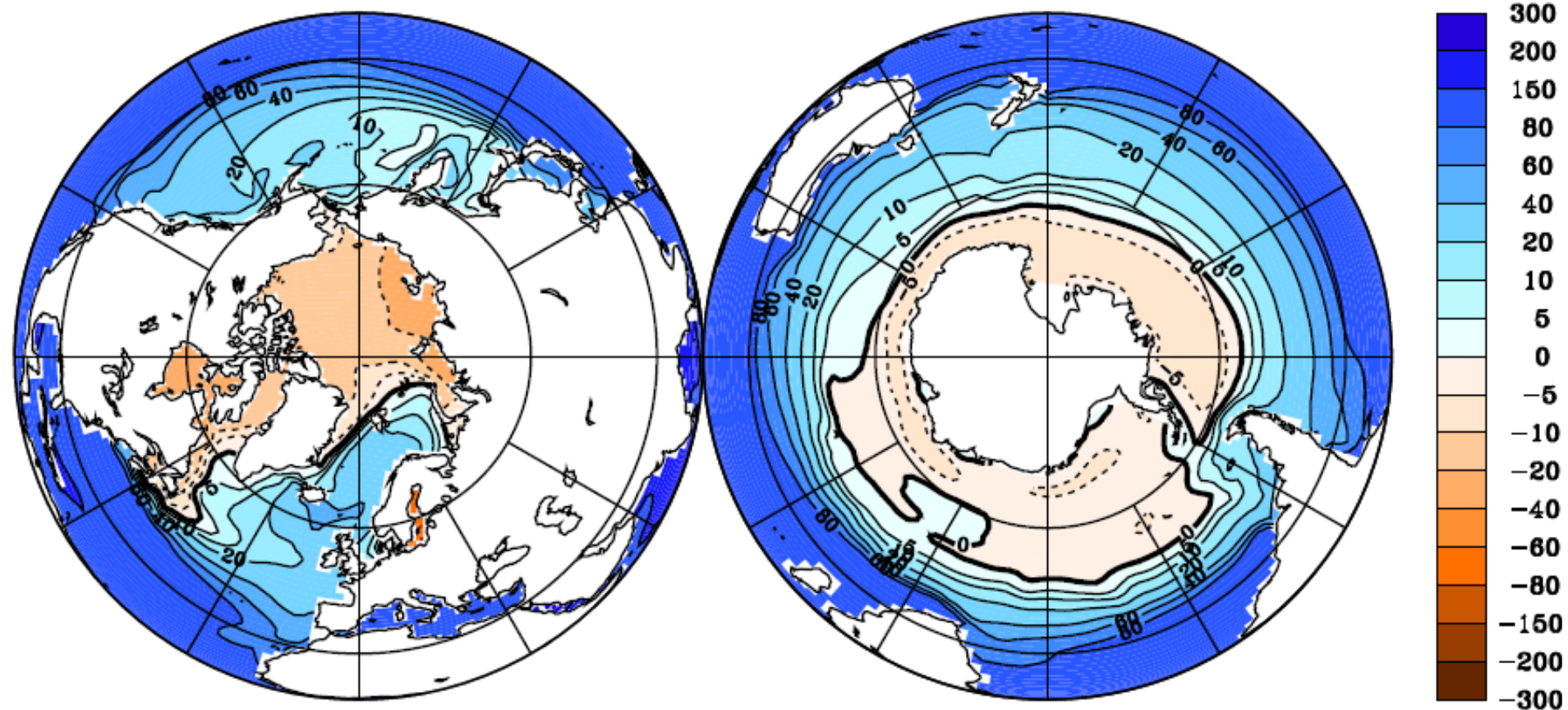


Lophelia pertusa

L. pertusa with expanded tentacles ready to capture zooplankton

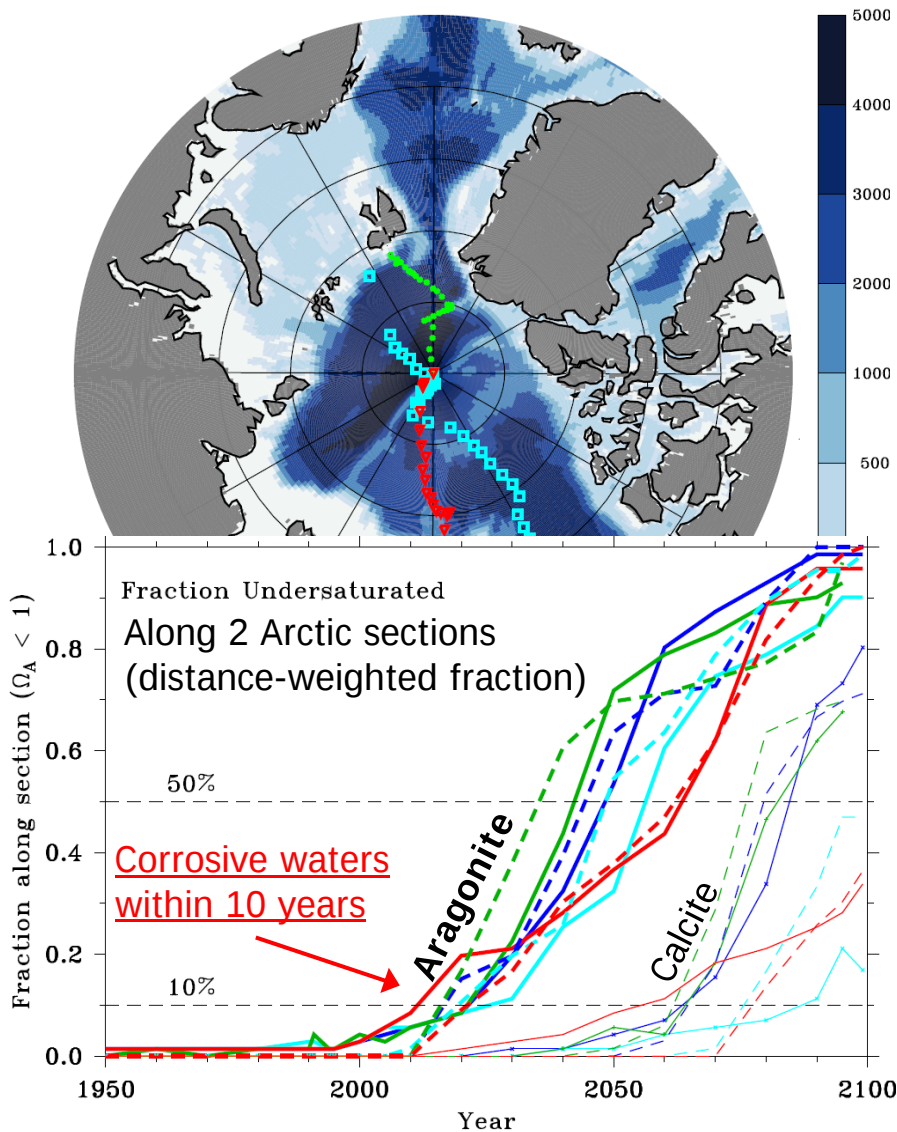
Undersaturation is strongest in the Arctic

Aragonite undersaturation $\Delta[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{Arag}}$ at $2\times\text{CO}_2$

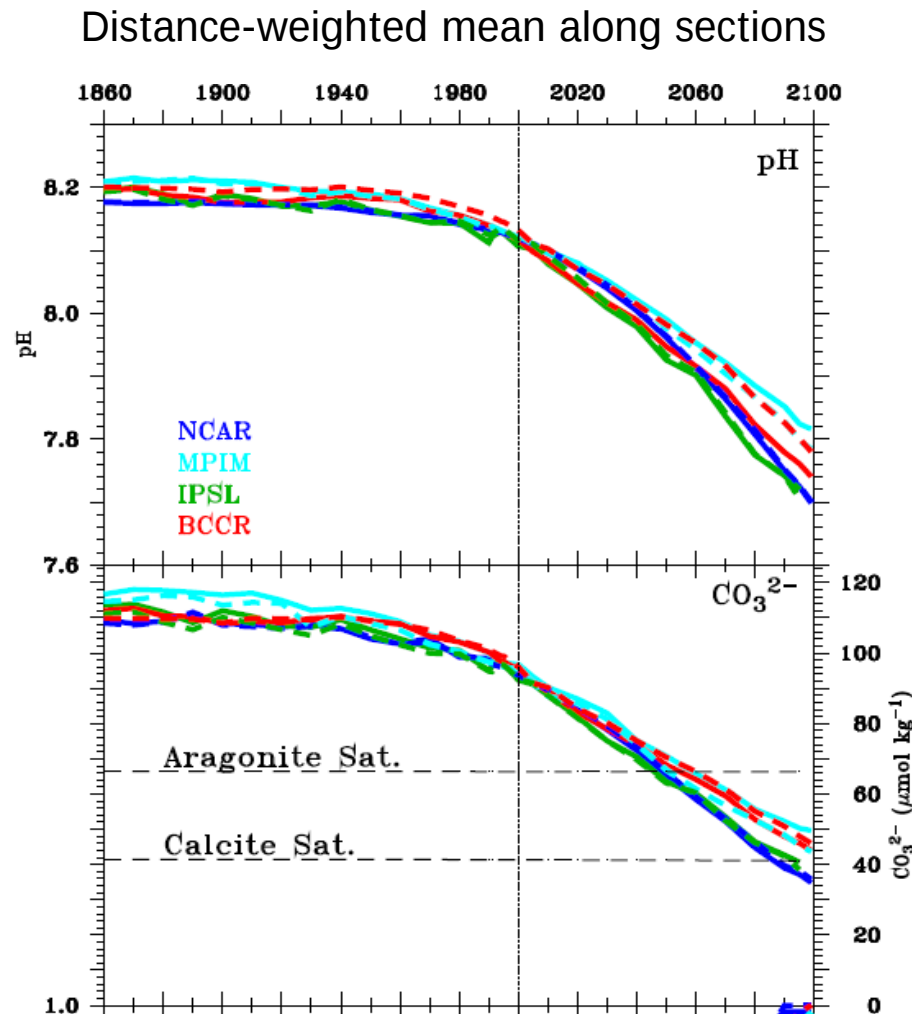


*Model approach (IPSL model results only, scenario: +1% annual increase)

Projections improved by adding model perturbations (4 ESMs) to data (baseline)



Projected undersaturation along Beringia section (A2 scenario)

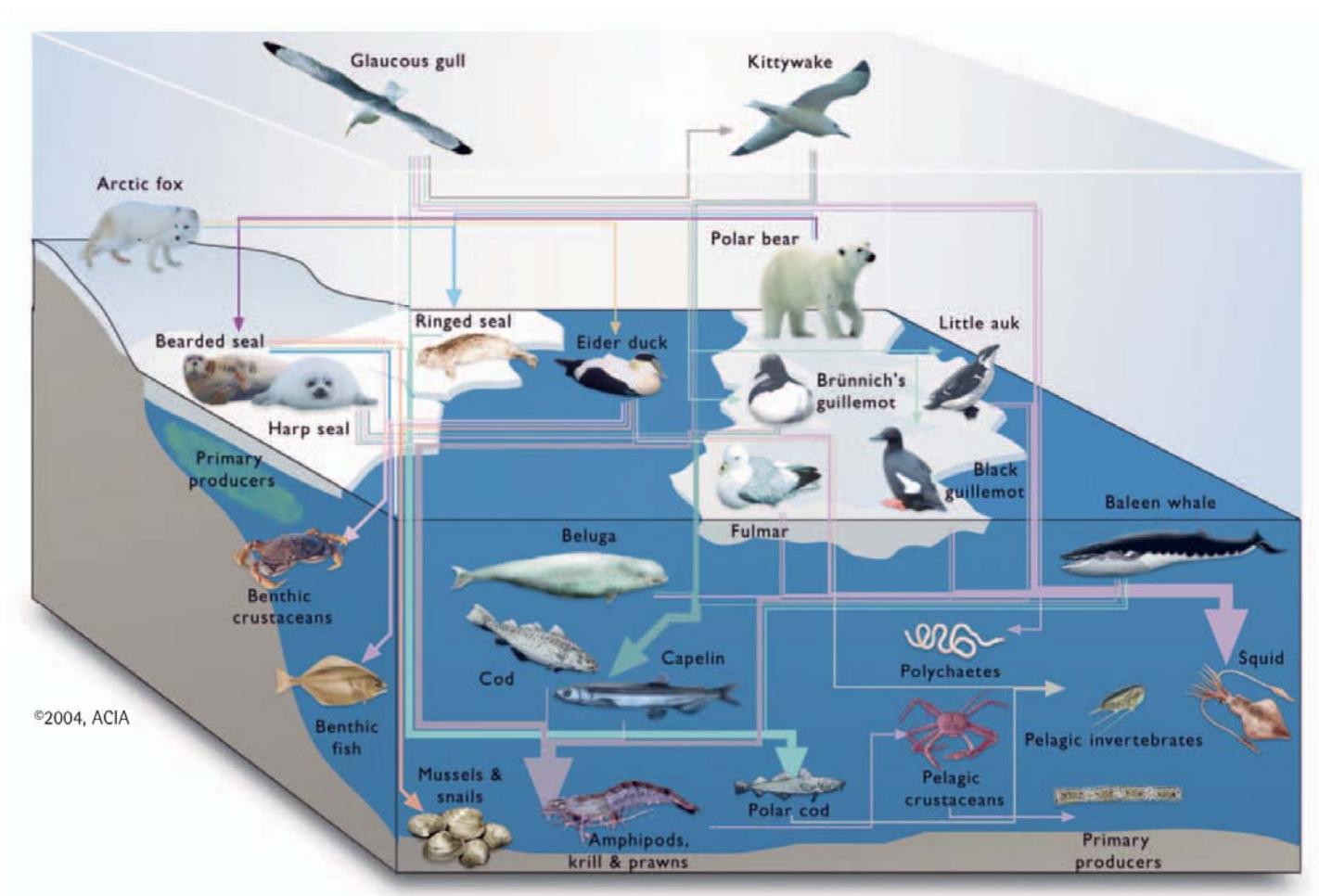


Two possibilities:

1. Energy cost increase for calcifiers now living part-time in undersaturated waters
→ affects growth, reproduction, competitiveness
2. Some calcifiers may be pre-adapted
→ unaffected by acidification

Should find evidence supporting or rejecting one of the two hypothetical outcomes in the coming decades.

Prominent role of shellfish in Arctic marine food web



Marine food web in the Beaufort Sea

Prominent predators of Arctic bivalve molluscs

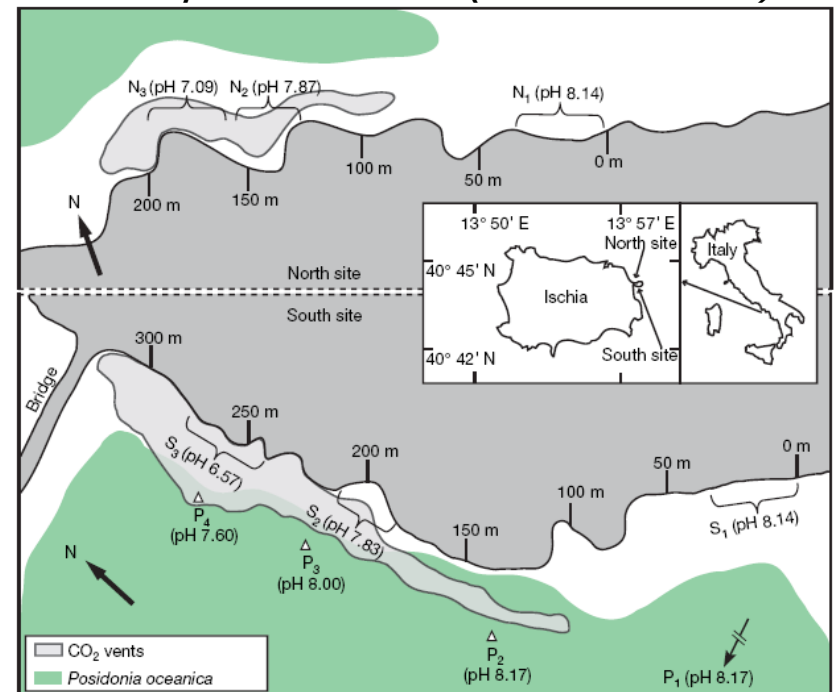
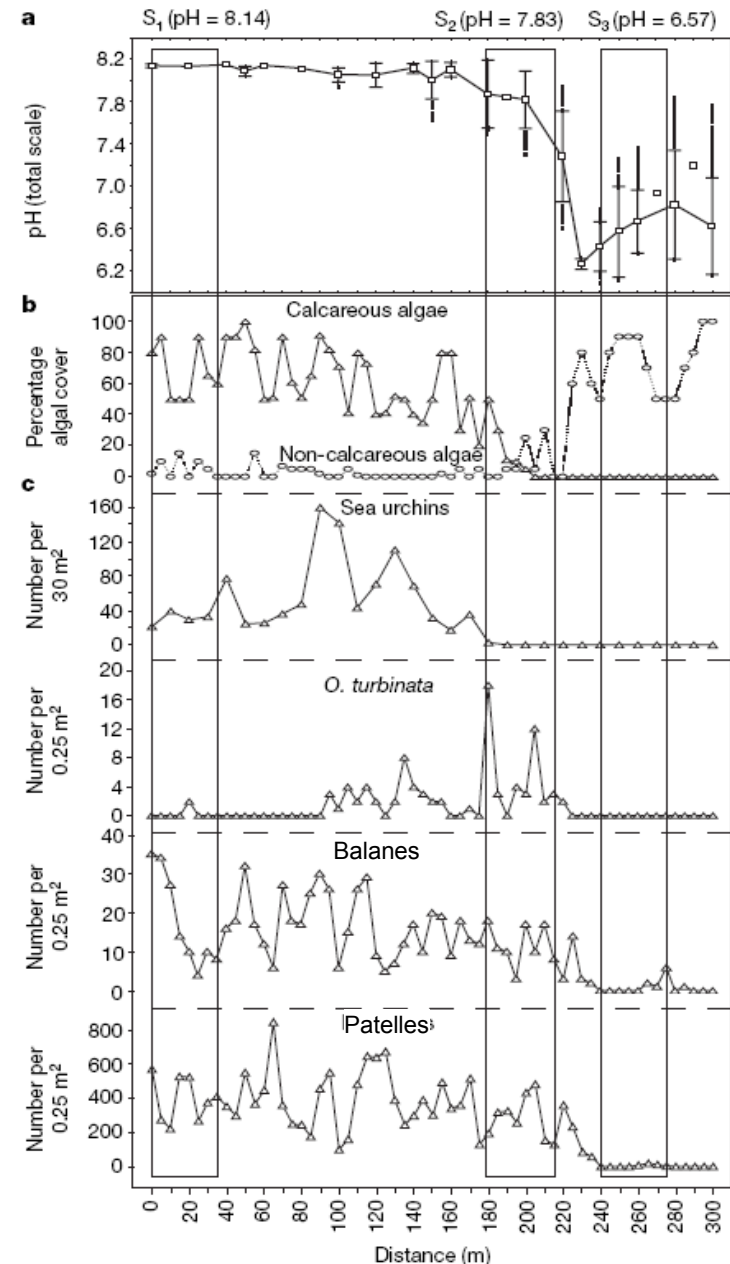


Natural CO₂ vents: windows into the future?

Med Sea shallow CO₂ vents reveal

- Less biodiversity
- Fewer calcifiers
- More algal genera
... including some invasive species

Hall-Spencer et al. (2008, Nature)



Conclusions

- Difficult to predict how acidification will alter marine ecosystems
- Current large spatial & temporal variability may make some species more resistant (Hendriks et al., 2010; Joint et al., 2010)
- But CO₂ vent communities confirm expected trends in calcifiers & seagrasses due to acidification
- Indirect effects (ocean biogeochemistry, predator-prey, ...) are just beginning to be studied

A first EU response:



- Large-scale IP: ocean acidification & its consequences
 - 100+ scientists
 - 27 institutes
 - 9 countries
- Total budget: 16 M€ (6.5 M€ from EU)
- 2008-2012

EPOCA Coordinator: J.-P. Gattuso
(LOV, Villefranche-sur-mer, France)



A second EU response:



- Large-scale IP:
Mediterranean Sea Acidification
under Changing Climate
 - 17 institutes
 - 11 countries
- Total budget (under negotiation)
- 2011-2013

MEDSEA Coordinator: P. Ziveri
(ICTA, Barcelona, Spain)

FAQ sur l'acidification des océans

CONTENU :

Le terme «acidification des océans»	1-2
Chimie du carbone et du pH océanique	2-3
Mesures et observations	4
Effet tampon géologique	5
Acidification des océans et calcification	5-6
Acidification des océans et photosynthèse	7
Individus et écosystèmes	7-9
L'acidification des océans dans l'histoire géologique	10
Méthodes Scientifiques	11
Géo-ingénierie et atténuation	12
Développement de la réglementation et prise de décisions	13-14
Contributeurs	14

Introduction

L'acidification des océans est un nouveau domaine de recherche dans lequel la plupart des études ont été publiées au cours des 10 dernières années. Par conséquent, il y a quelques certitudes, mais de nombreuses questions demeurent. L'acidification des océans est aussi un domaine de recherche multidisciplinaire qui comprend des sciences telles que la chimie, la paléontologie, la biologie, l'écologie, la biogéochimie, la modélisation et les sciences sociales. En outre, certains aspects de la recherche sur l'acidification des océans, comme la chimie des carbonates par exemple, sont complexes et peu intuitives. Pour ces raisons, les médias et le grand public trouvent certaines questions scientifiques ou résultats confus.

Le programme américain Ocean Carbon and Biogeochemistry (OCB; www.us-ocb.org), soutenu par le projet européen sur l'acidification des océans (EPOCA; <http://www.epoca-project.eu/>) et le programme anglais de recherche sur l'acidification des océans (<http://www.nerc.ac.uk/research/programmes/oceanacidification/>), a dressé une liste des questions les plus fréquemment posées (Foire Aux Questions, FAQ). Ces questions ont été largement diffusées à la communauté scientifique afin d'apporter des réponses concises résumant les connaissances actuelles, tout en évitant le jargon scientifique. Les réponses ont ensuite été soumises à une procédure d'examen publique et à une révision par des pairs afin d'assurer une bonne lisibilité et limiter les pertes au niveau de la précision scientifique. La réponse de la communauté a été enthousiaste. Au total, 27 scientifiques de 19 institutions et 5 pays ont contribué à l'ensemble du processus.

Nous espérons que cette FAQ sera utile et nous voudrions faire remarquer qu'il s'agit d'un processus continu. Chacun est invité à demander des précisions ou à faire parvenir ses commentaires à Sarah Cooley (scooley@whoi.edu). La liste sera révisée périodiquement en utilisant ces contributions.

Le terme «acidification des océans»

L'océan n'est pas acide, et les modèles prédictifs montrent que les océans ne deviendront jamais acides. Alors pourquoi parle-t-on d'acidification des océans ?

L'acidification des océans se réfère au processus de diminution du pH des océans (correspondant à une augmentation de la concentration en ions hydrogène) par la dissolution du dioxyde de carbone apporté dans l'eau de mer depuis l'atmosphère. Le mot «acidification» fait référence à l'abaissement du pH à partir de n'importe quel point de départ vers tout point final sur l'échelle de pH. Ce terme est utilisé dans de nombreux autres domaines scientifiques (dont la médecine et la science des aliments) pour se référer à l'ajout d'un acide dans une solution, indépendamment de la valeur du pH de la solution. Par exemple, même si le pH de l'eau de mer est supérieure à 7,0 (et donc considéré comme «basique» en terme d'échelle de pH), l'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère entraîne une augmentation de l'acidité de l'océan et par conséquent un abaissement de son pH. Cette terminologie est comparable à celle que nous utilisons quand nous parlons de la température. Si la température de l'air passe de -40°C à -29°C (-40°F à -20°F), il fait toujours froid, mais nous parlons de «réchauffement». — J. Orr, C.L. Sabine, R. Key

<http://www.epoca-project.eu/index.php/FAQ.html>