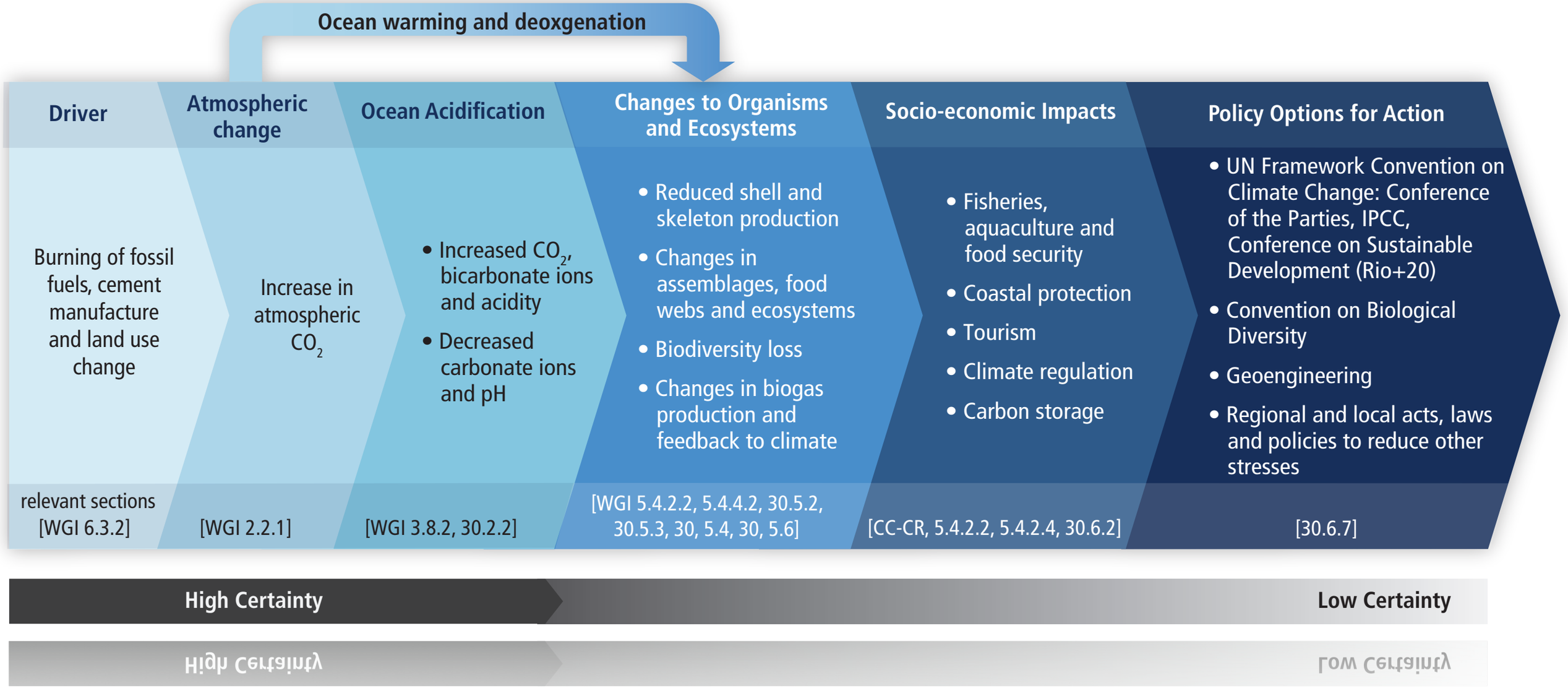
Acidification des océans, causes, conséquences et solutions

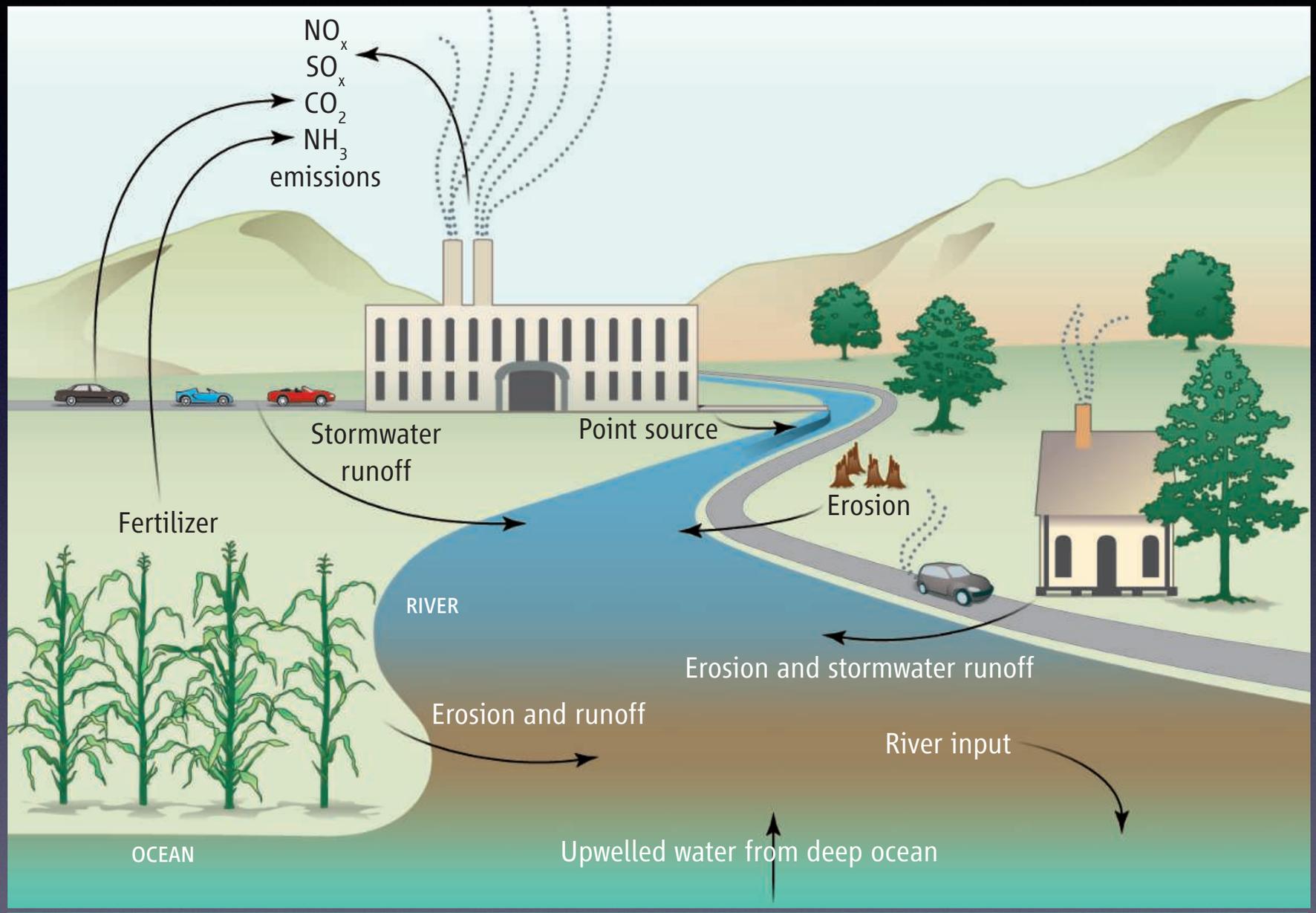
Jean-Pierre Gattuso
Laboratoire d'Océanographie de Villefranche
CNRS-Université Pierre et Marie Curie-Paris 6

Introduction et sommaire



Gattuso et al. (2014; IPCC AR5 WGII)

Causes de l’acidification des océans



Kelly et al. (2011)

Budget global du carbone (2003-2012)

0.8 Pg C yr^{-1}

+

9.4 Pg C yr^{-1} (9.9 Pg C in 2013)

8.6 Pg C yr^{-1}

Global Carbon Project

Le Quéré et al. (2013)

Budget global du carbone (2003-2012)

0.8 Pg C yr^{-1}

+

8.6 Pg C yr^{-1}

9.4 Pg C yr^{-1}

(9.9 Pg C in 2013)

Atmosphere
46%

Vegetation
28%

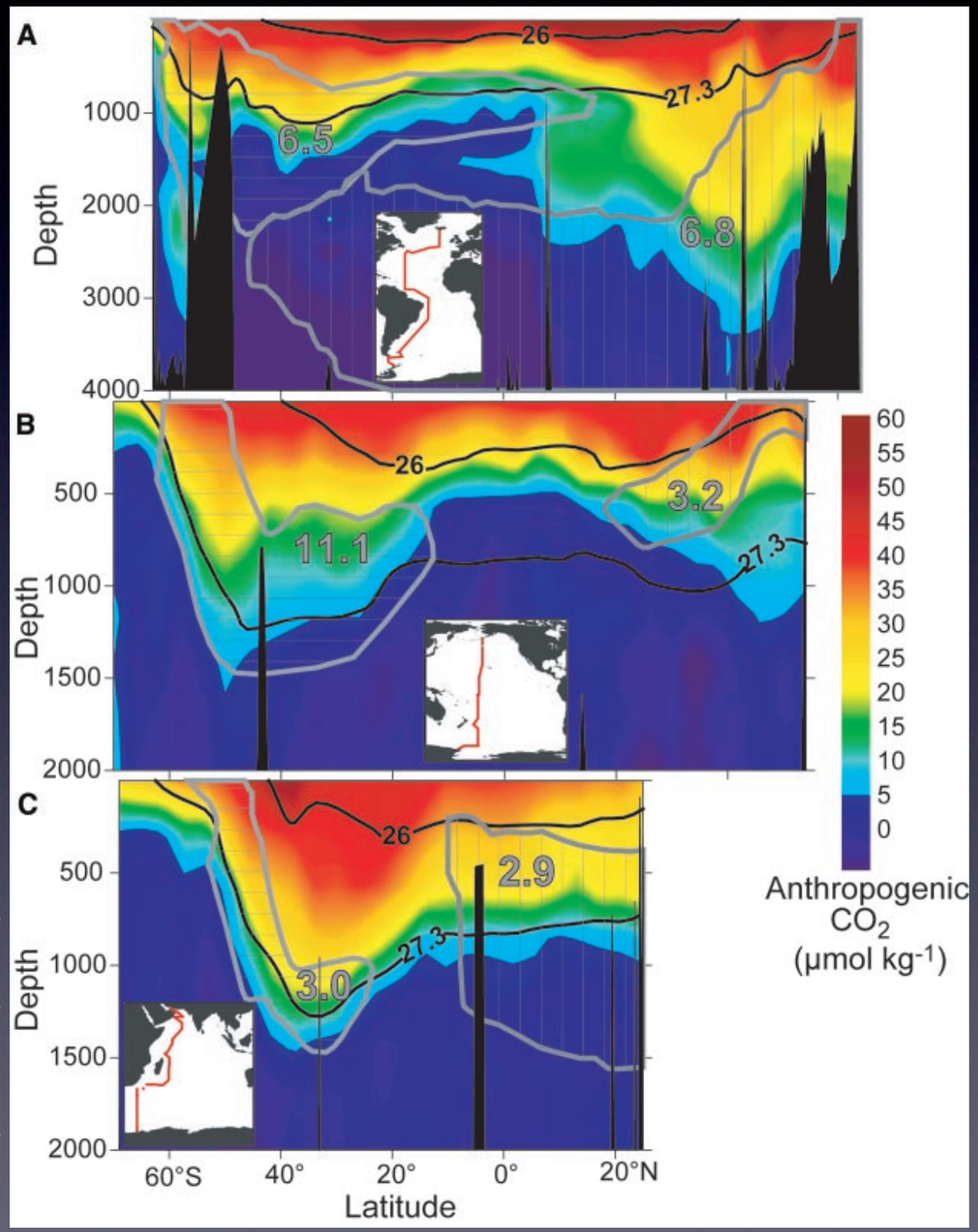
Oceans
28%

26 millions tonnes CO_2 per day

Global Carbon Project

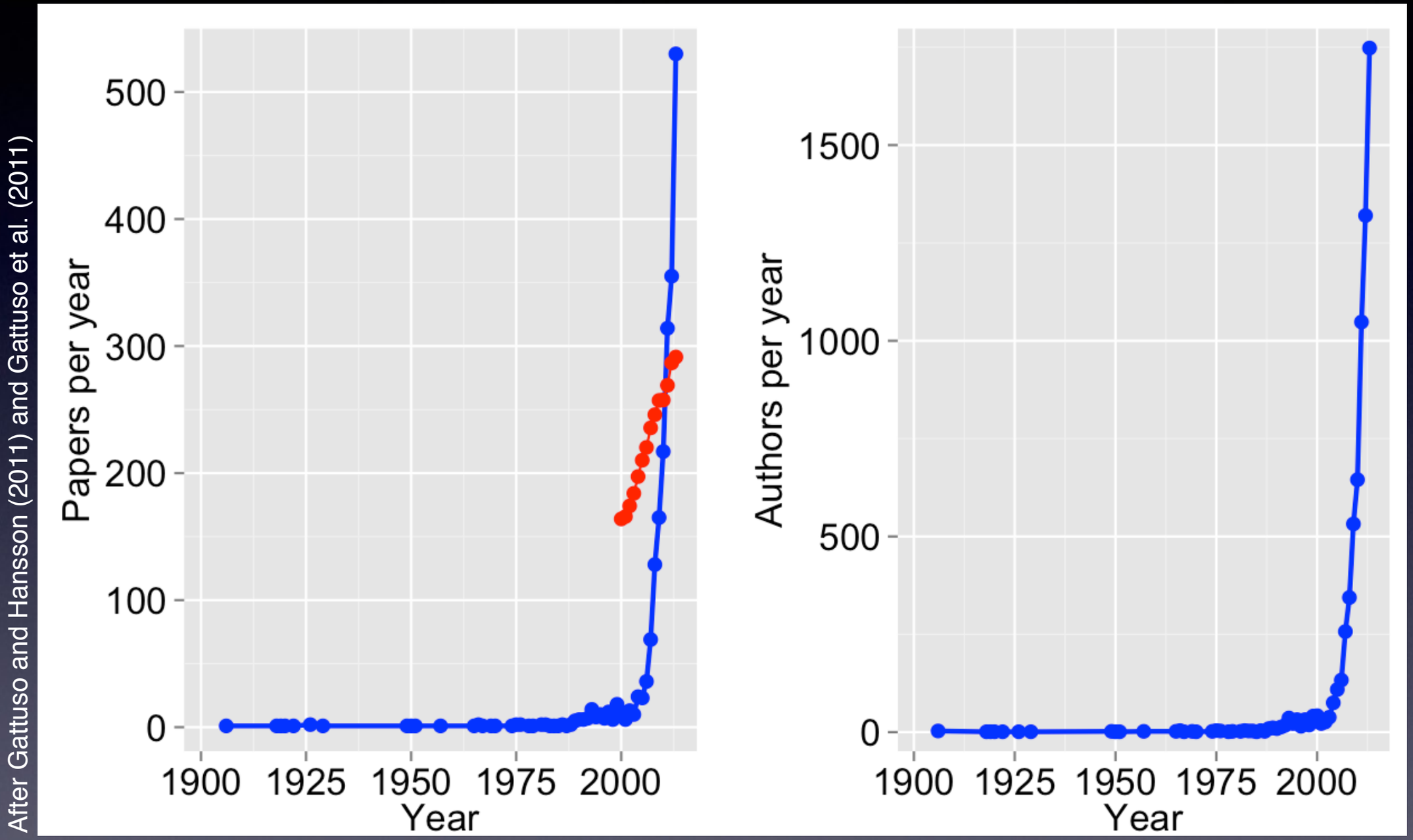
Le Quéré et al. (2013)

Pénétration du CO_2 en profondeur



Feely et al. (2013)

Recherches en pleine expansion



Chemistry: very high confidence

Driver	Atmospheric change	Ocean acidification
Burning of fossil fuels, cement manufacture, and land use change	Increase in atmospheric CO_2	• Increased CO_2, bicarbonate ions, and acidity • Decreased carbonate ions and pH
relevant sections (WGI 6.3.2)	(WGI 2.2.1)	(WGI 3.8.2; WGII 5.3.3, 30.3.2)

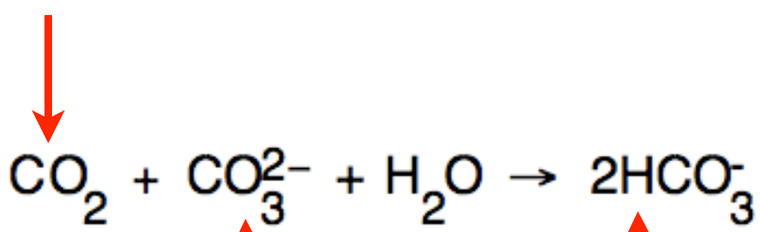
More acidity

Less acidity

Concentrations of Hydrogen ions compared to distilled water (pH)		Examples of solutions and their respective pH
10,000,000	0	Battery Acid
1,000,000	1	Hydrochloric Acid
100,000	2	Lemon Juice, Vinegar
10,000	3	Orange Juice, Soda
1,000	4	Tomato Juice
100	5	Black Coffee, Acid Rain
10	6	Urine, Saliva
1	7	“Pure” Water
1/10	8	Sea Water
1/100	9	Baking Soda, Toothpaste
1/1,000	10	Milk of Magnesium
1/10,000	11	Household Ammonia
1/100,000	12	Soapy Water
1/1,000,000	13	Bleach, Oven Cleaner
1/10,000,000	14	Liquid Drain Cleaner

Qu’est ce que l’acidification des océans ?

Increased CO_2



Decreased carbonate

Increased bicarbonate

$$[\mathbf{H}^+] = K_2^* \frac{[\mathbf{HCO}_3^-]}{[\mathbf{CO}_3^{2-}]}$$

Hydrogen ion concentration increases and pH decreases

- CO_2 est un gaz acide (produit un acide lorsqu’il se combine avec eau)
- Chacun de nous ajoute 4 kg de CO_2 par jour dans les océans (augmentant son acidité)

Qu’est ce que l’acidification des océans ?

Increased CO_2

$$CO_2 + CO_3^{2-} + H_2O \rightarrow 2HCO_3^-$$

Decreased carbonate

Increased bicarbonate

$$[\mathbf{H}^+] = K_2^* \frac{[\mathbf{HCO}_3^-]}{[\mathbf{CO}_3^{2-}]}$$

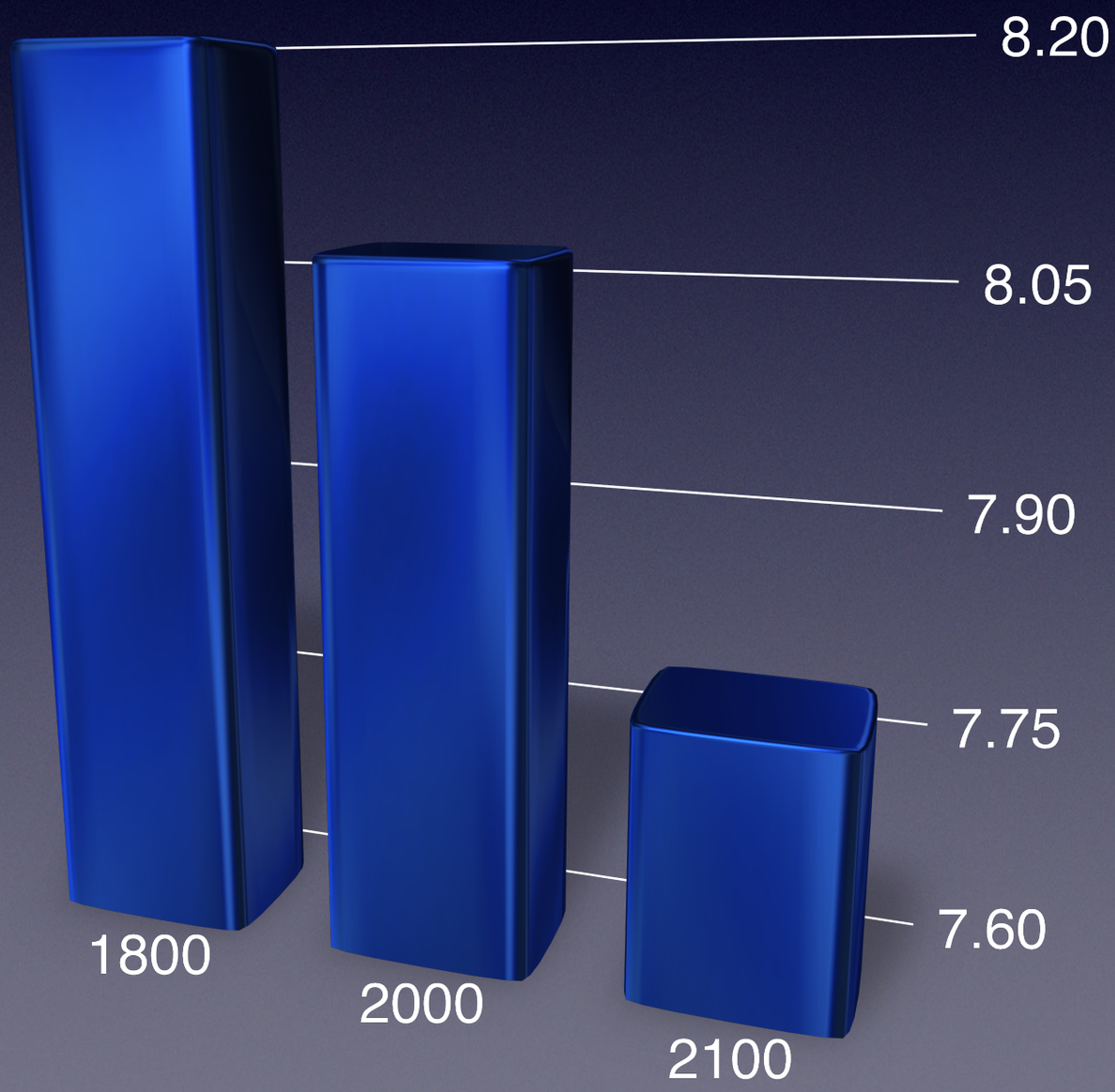
Hydrogen ion concentration increases and pH decreases

Acidity increases:
“*ocean acidification*”

- CO_2 est un gaz acide (produit un acide lorsqu’il se combine avec eau)
- Chacun de nous ajoute 4 kg de CO_2 par jour dans les océans (augmentant son acidité)

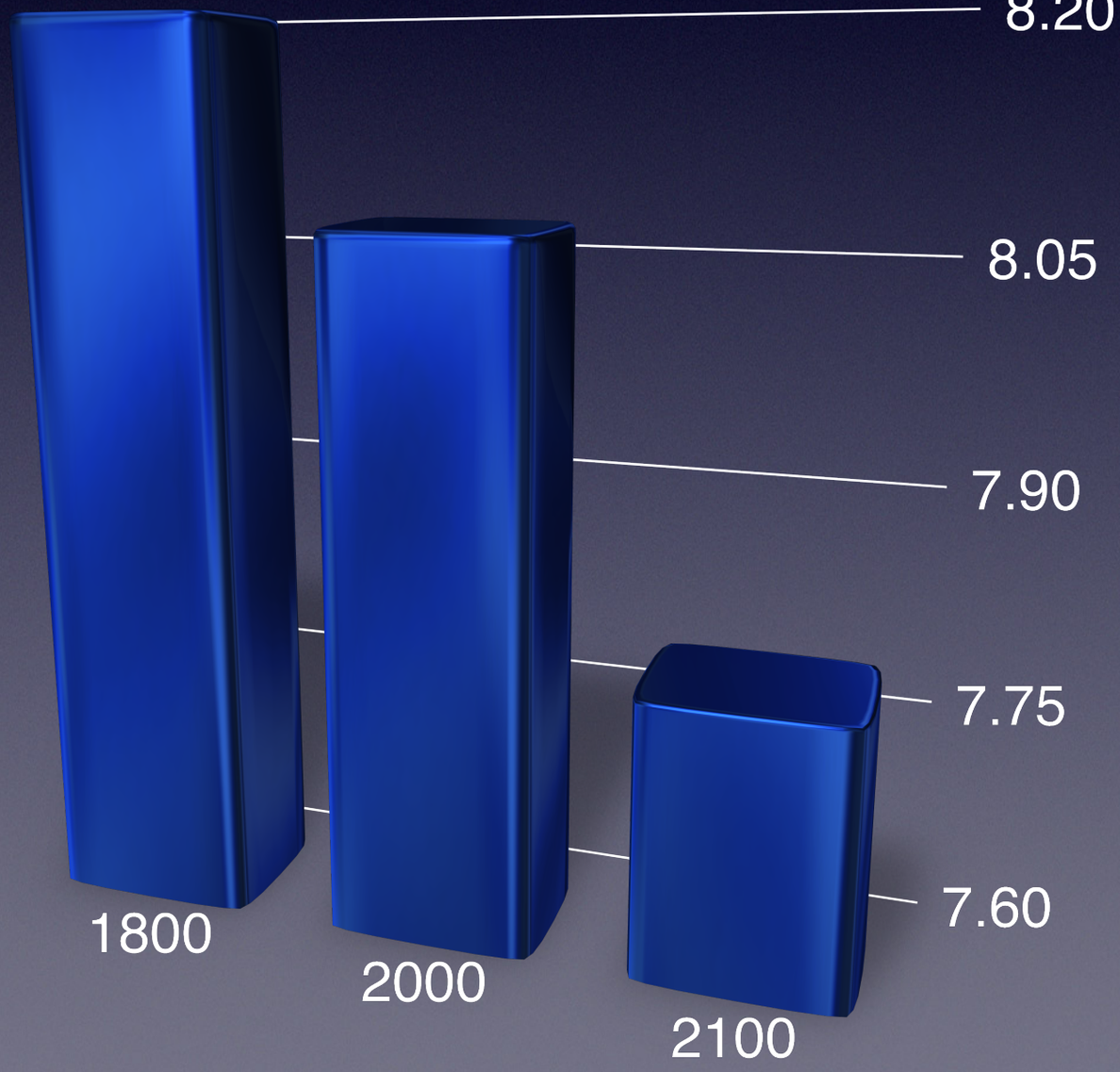
pH and acidity

Driver	Atmospheric change	Ocean acidification
Burning of fossil fuels, cement manufacture, and land use change	Increase in atmospheric CO_2	• Increased CO_2, bicarbonate ions, and acidity • Decreased carbonate ions and pH
relevant sections (WGI 6.3.2)	(WGI 2.2.1)	(WGI 3.8.2; WGII 5.3.3, 30.3.2)

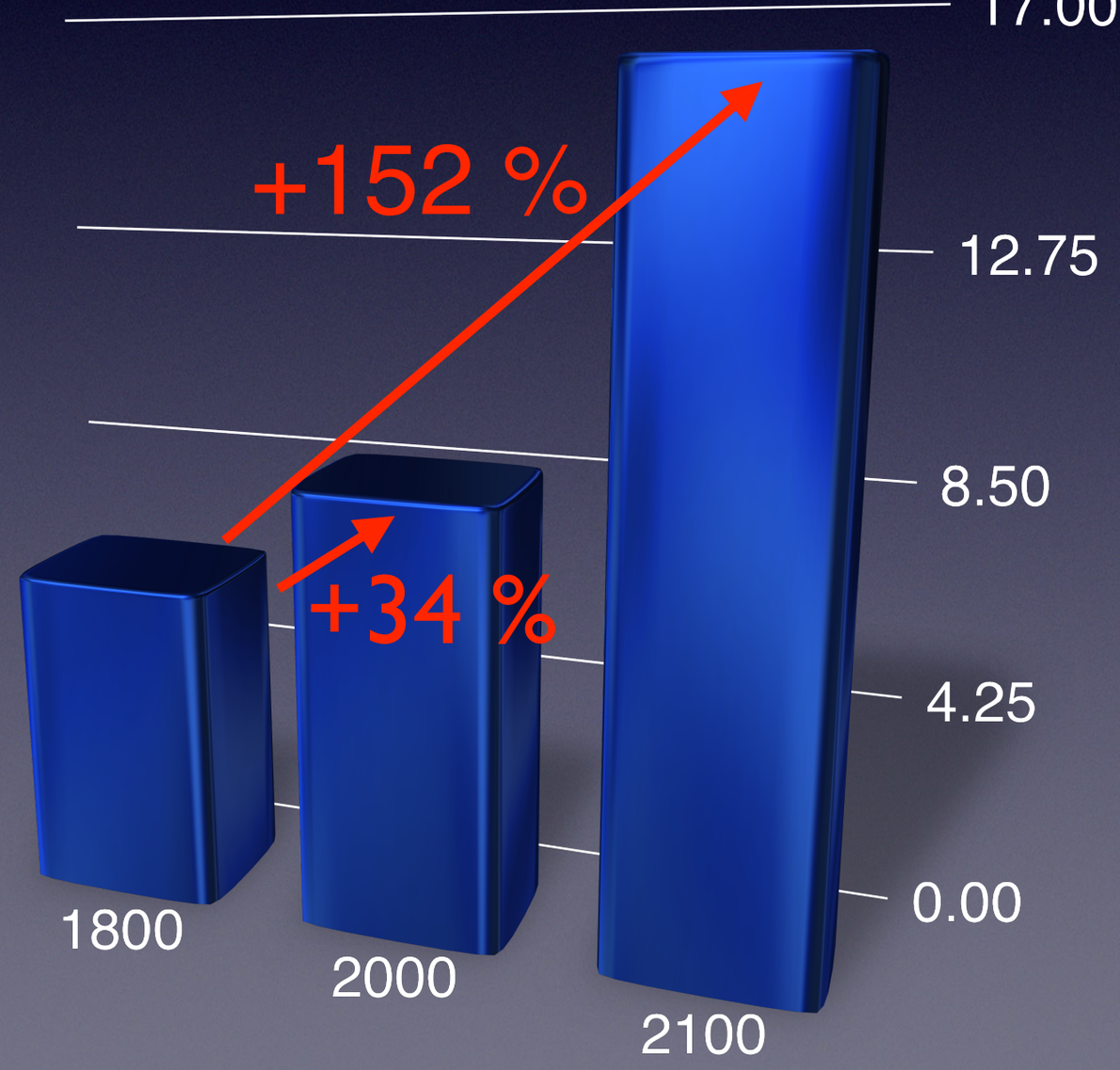


pH and acidity

Driver	Atmospheric change	Ocean acidification
Burning of fossil fuels, cement manufacture, and land use change	Increase in atmospheric CO_2	• Increased CO_2, bicarbonate ions, and acidity • Decreased carbonate ions and pH
relevant sections (WGI 6.3.2)	(WGI 2.2.1)	(WGI 3.8.2; WGII 5.3.3, 30.3.2)



Acidity : x 10^{-9} mol H^+/kg



La science du climat

« On transforme l'océan en Coca-Cola ! »

LE RAPPORT DU GIEC affine les impacts de l'augmentation des concentrations de CO_2 dans l'atmosphère. Etat de la question avec le climatologue belge Jean-Pascal van Ypersele.

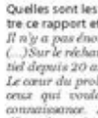
ENTRETIEN

Professeur en climatologie à l'Université catholique de Louvain, Jean-Pascal van Ypersele est également vice-président du groupe II du Giec, consacré aux « impacts » et à l'« adaptation ».

Quelles sont les grandes différences entre ce rapport et celui de 2001 ?

Il n'y a pas énormément de différences. (…) Sur le réchauffement, on sait l'essentiel depuis 20 ans, pour ne pas dire 30. Le cœur du problème était déjà là, pour ceux qui voulaient bien en prendre connaissance. L'évidence est aujourd'hui plus précise, plus largement disponible et dispose d'une couverture géographique plus ouste.

Le rapport comporte des originalités, notamment sur l'objectif ultime de stabiliser les émissions de gaz à effet de serre de manière à éviter toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Devrait-il y avoir une priorité entre les politiques de réduction d'émission et l'adaptation ?



« L'immense majorité des glaciers recule à cause des changements climatiques. Mais dans les régions où ils sont les réservoirs d'eau pour des villes entières (…) il n'y aura plus d'eau… sauf quand il pleut »

Les deux sont nécessaires. Anciennement, on n'abordait pas ces questions ensemble. Ici, nous faisons l'intégration des deux, sur les liens et les limites entre adaptation et la prévention. Un exemple : on peut très bien se protéger dans les pays développés contre une montée des mers de cinquante centimètres, mais cinq mètres, c'est autre chose. Économiquement d'abord, puis d'un point de vue de la population. Qui voudrait habiter derrière un mur haut de cinq mètres qui contient une mer ou un océan ? Les Hollandais ont travaillé sur cette question. Dans un tel cas, on ne peut qu'envisager l'abandon du territoire.

Le Giec constate que l'augmentation des concentrations de CO_2 aura un impact positif sur les rendements de l'agriculture dans le nord de l'Europe…

Oui, mais jusqu'à un certain taux de concentration, ensuite la qualité risque ensuite de chuter. Mais bien sûr, pour l'agriculture, il faut aussi tenir compte des événements extrêmes. Il y a, à ce propos, beaucoup de discussions.

L'accès à l'eau ne devrait pas être menacé en Belgique. Ce qui n'est pas le cas de nombreux pays…

L'immense majorité des glaciers recule à cause des changements climatiques. Mais dans les régions où ils sont les réservoirs d'eau pour des villes entières se trouvant en contrebas, dans le voisinage, il n'y aura plus d'eau… sauf quand il pleut. Cela change tout. C'est dramatique. C'est le cas en Europe, dans les Andes, au Népal…

LE GIEC PRÉVOIT la disparition de la plupart des petits glaciers, en Europe, d'ici à 2050. Situé dans la baie du Roi (Kongsfjorden), en Norvège, le glacier Blomstrandbreen a reculé d'environ deux kilomètres depuis 80 ans. PHOTOS AP

Que pensez-vous du scénario de l'arrêt du Gulf Stream et d'un refroidissement de l'Europe subit ?

C'est un des sujets qui m'énervent. (…) Le groupe II du Giec a dit très clairement ce qu'il en était. Ce risque est très faible pour l'Europe au XXIe siècle.

A l'opposé, le climat pourrait-il s'emballer si l'homme ne limite pas les émissions de gaz à effet de serre ?

Ce phénomène est également très peu probable. Il est intéressant d'en avoir connaissance. De grandes quantités de méthane gelées pourraient se relâcher en raison de l'effet de réchauffement. C'est important de la savoir en raison de la puissance vingt-cinq fois plus élevée par kilo de ce gaz relâché dans l'atmosphère par rapport au CO_2… Mais la Terre n'est pas sur Vénus, plus proche du Soleil que notre planète, et la position de notre atmosphère est différente… Il y a déjà tellement de raisons de se trouver loin en dessous de ce seuil-là, s'il existe, que la question de l'emballement du climat ne me semble pas être majeure.

L'acidification des océans, pointée du doigt pour la première fois, vous inquiète-t-elle davantage ?

Une série de facteurs d'amplification n'agissent pas forcément brutalement mais rendent le problème d'autant plus difficile à résoudre que l'on attend pour s'y attaquer.

Or, comme le note bien le rapport, l'océan se suture petit à petit en CO_2. C'est un problème majeur dont on va parler beaucoup dans les années qui viennent. Il faut savoir que l'on transforme la composition chimique de l'océan. On le transforme d'une certaine manière en Coca-Cola ! Et je ne pense pas que la vie marine puisse s'y développer aussi facilement que dans de l'eau normale.

Est-ce encore utile de produire trois rapports différents mais complémentaires tous les cinq ans. Le Giec ne nécessite-t-il pas d'être réformé ?

Peut-être. Une réflexion informelle a commencé à ce sujet. Rien ne dit que le prochain rapport du Giec, s'il y en a un, dans 5, 6, 7 ans, aura la même structure. Une approche plus intégrée que maintenant est nécessaire. Il y aura une certaine clarification de certains aspects grâce à l'interaction entre les scientifiques et les décideurs.

On parle de consensus scientifique sur les changements climatiques. Mais des scientifiques continuent à contester la thèse du réchauffement d'origine humaine. Les rapports du Giec en tiennent-ils compte ?

Le Giec fait de l'évaluation de la science et des connaissances scientifiques d'une manière très sérieuse. Prenons un peu de recul pour constater que ce processus totalement transparent est unique au monde. Dans le cas de ce rapport-ci, la table des matières a été adoptée en 2003. On a lancé un appel ouvert pendant trois mois pour solliciter des auteurs proposés par les gouvernements et désignés par le bureau du Giec en fonction de la qualité des curriculum vitae. (…) C'est très large. Le projet est ainsi nourri de milliers de commentaires dûment consignés. On sait d'où provient chaque commentaire et le sort qui lui est réservé. (…) Le processus du Giec est exhaustif, rigoureux et très lourd. Ses rapports ne sont donc pas manipulés comme on pourrait vouloir le laisser croire. Au contraire, ils sont relativement conservateurs… ■

« Le processus du Giec est exhaustif, rigoureux et très lourd. Ses rapports ne sont donc pas manipulés comme on pourrait vouloir le laisser croire. Ils sont au contraire relativement conservateurs… »

propos recueillis par CHRISTIAN DUBRULLE ET CHRISTOPHE SCHOUNE

lesoir.be

L'intégralité de l'interview est consultable sur http://blogs.lesoir.be/empreinte-eco

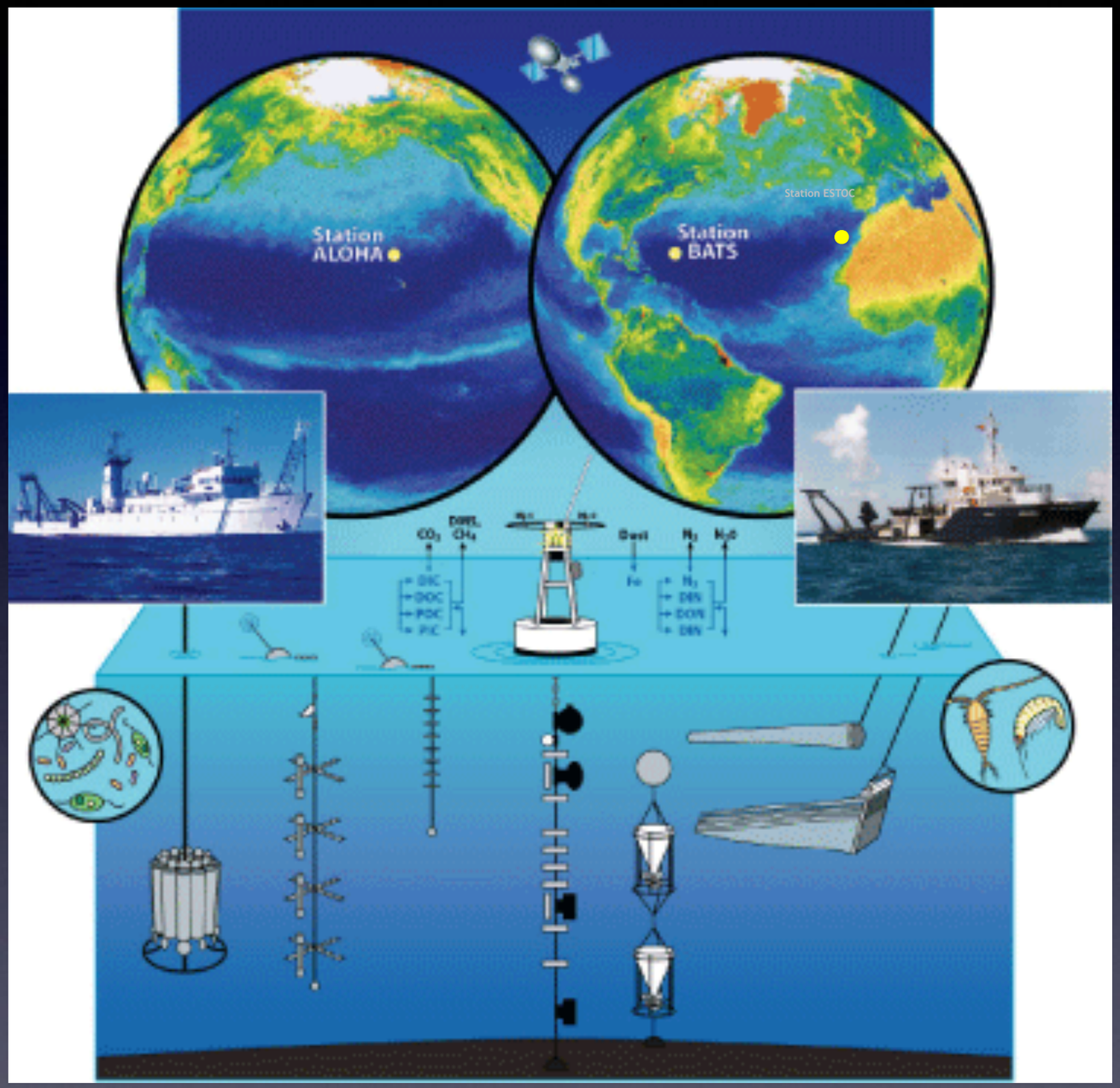
CONTROVERSE

C'est l'histoire d'une courbe de hockey (figure de droite) controversée. Etablissant un lien entre la concentration des émissions de carbone dans l'atmosphère et l'augmentation des températures, ce graphique utilisé en 2001 par le Giec a été expurgé du rapport 2007. Et pour cause, ces calculs (Mann, 1999) auraient omis la période chaude médiévale pour cause de sélection inappropriée des données (Mc Intyre, 2005). Un argument utilisé par les sceptiques pour contester l'origine humaine du réchauffement.

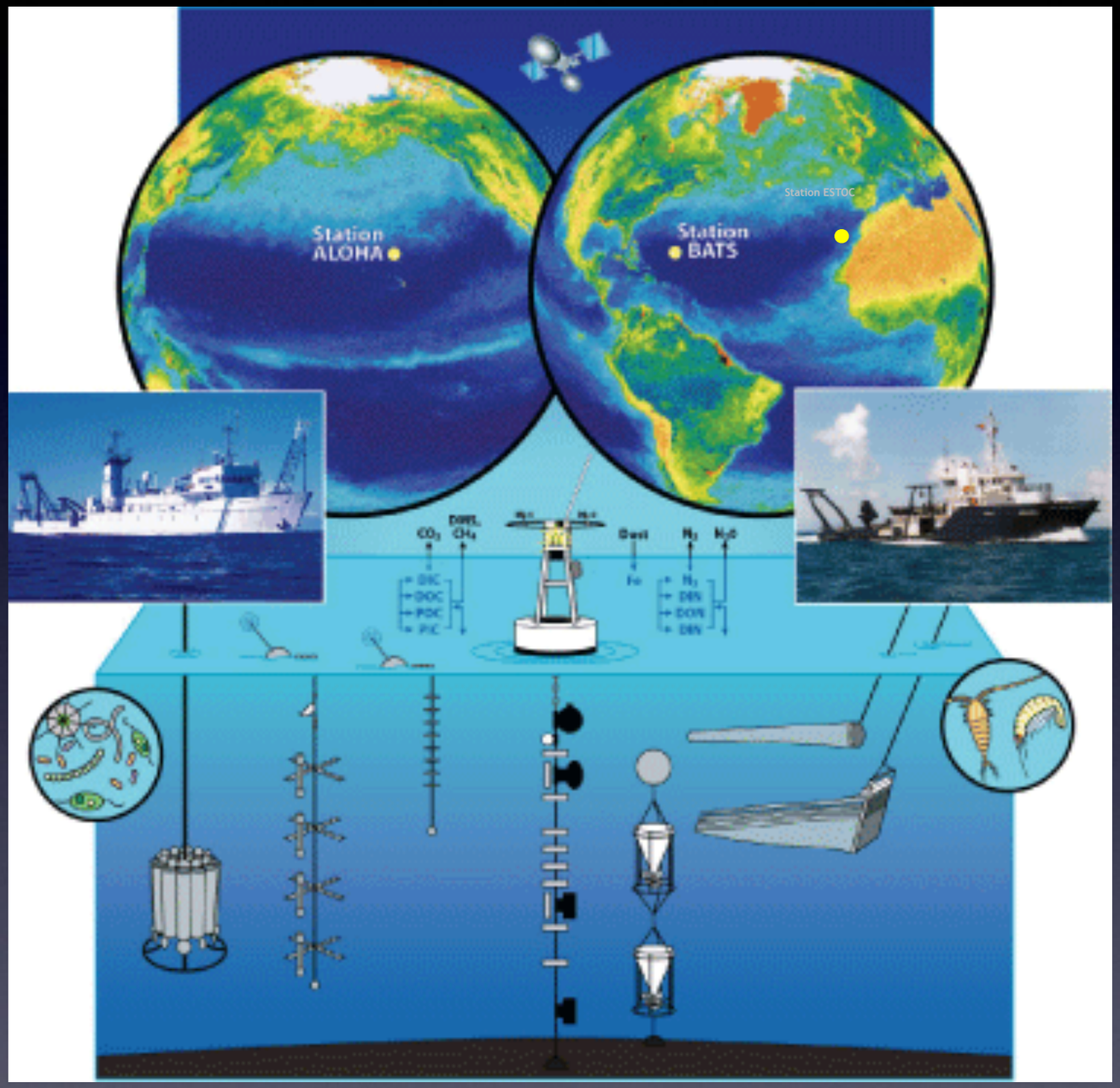
Chaud

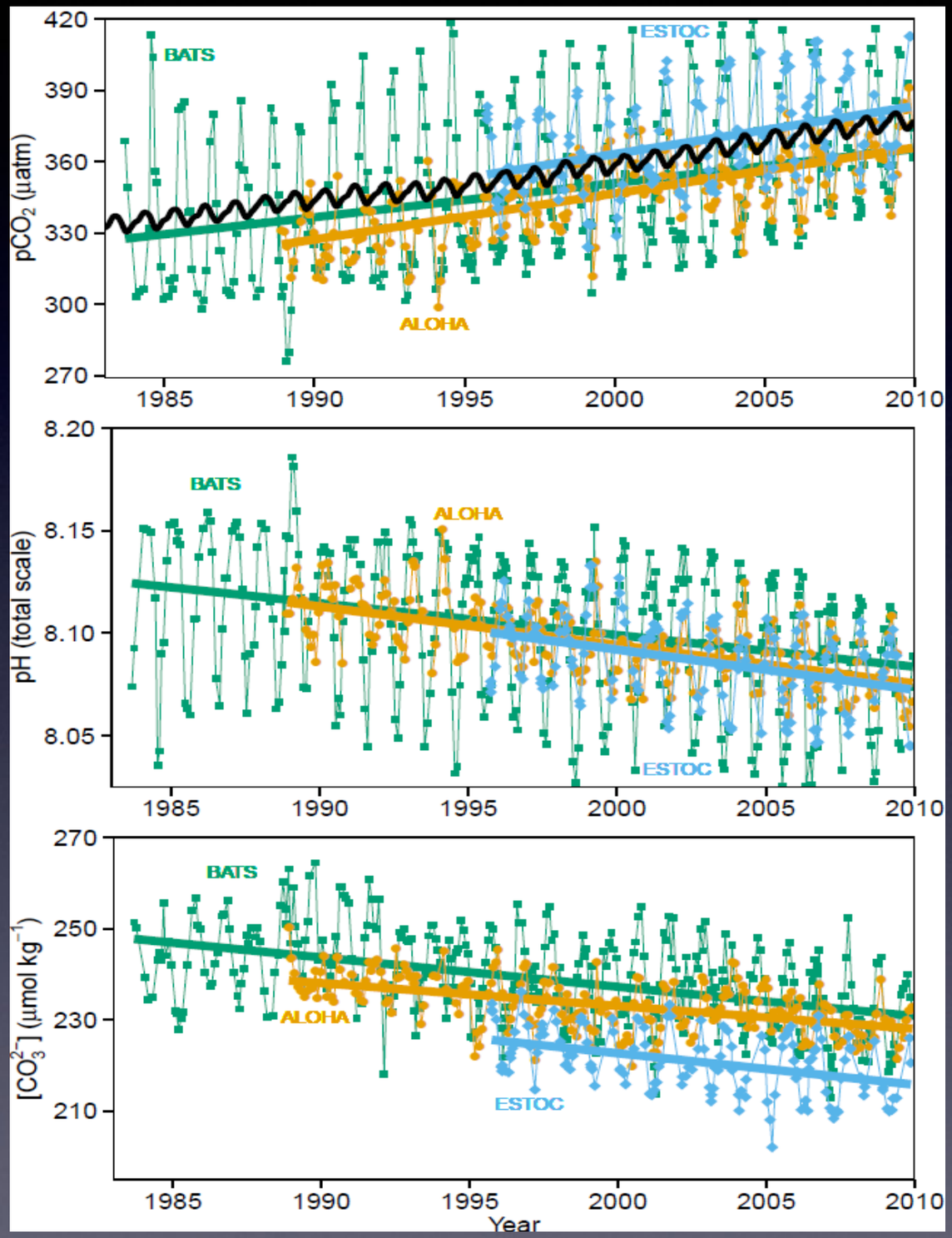
La température moyenne du globe a gagné 0,7° depuis cent ans (2° en Belgique). Selon les scénarios, elle devrait encore augmenter de 1,8 à 4° d'ici à 2100. Les températures enregistrées entre décembre et février 2007 ont été les plus élevées jamais répertoriées à cette période de l'année, avec une température moyenne supérieure de 0,72°C à la moyenne du XXe siècle, selon l'administration américaine.

L’acidification des océans peut être mesurée



L’acidification des océans peut être mesurée

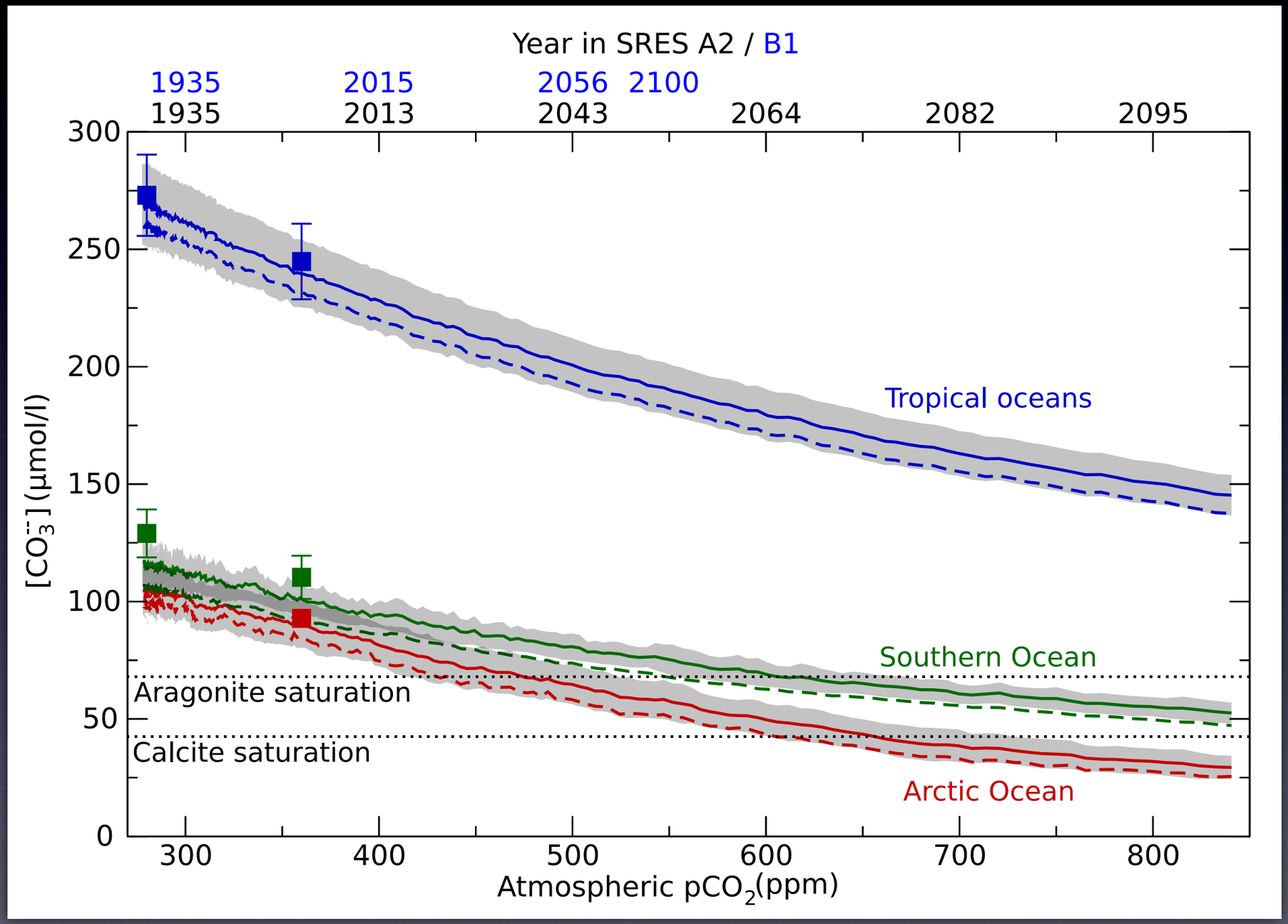




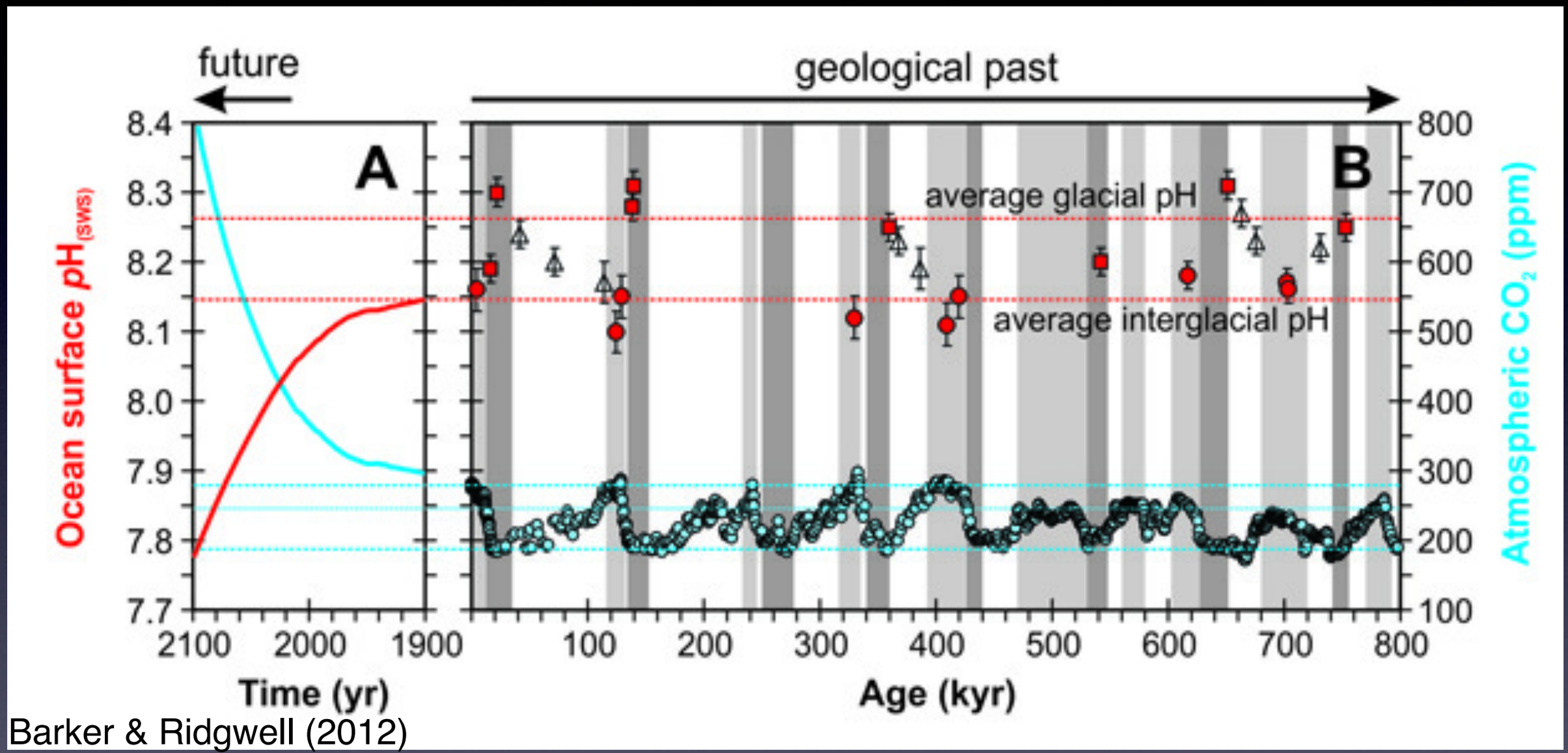
Range 1995-2009:
-0.0015 to -0.0022 units yr^{-1}

IPCC AR5 WG1 Report, Chap. 3 (2013)

Importantes différences régionales



Et dans le passé ?

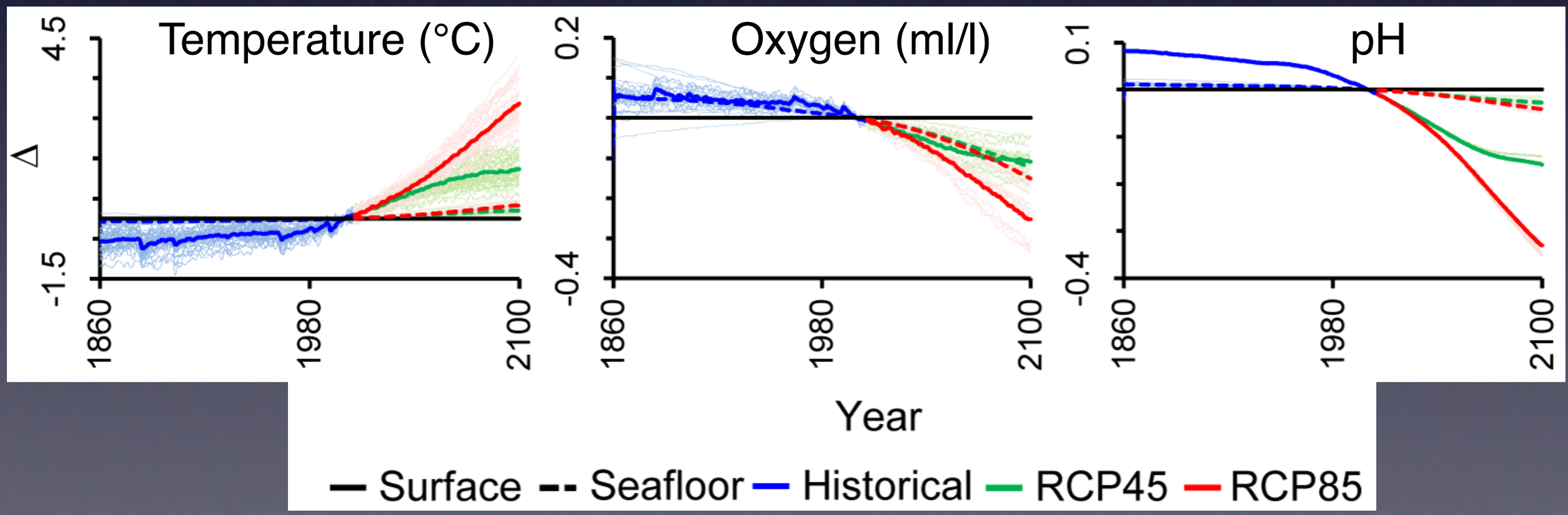


Barker & Ridgwell (2012)

- Largest event since 55 My
- Perhaps fastest event since 300 My

Multiple climate-related ocean stressors

pH
Temperature
Oxygen concentration
Sea level rise



Mora et al. (2013)

Summary for Policy Makers

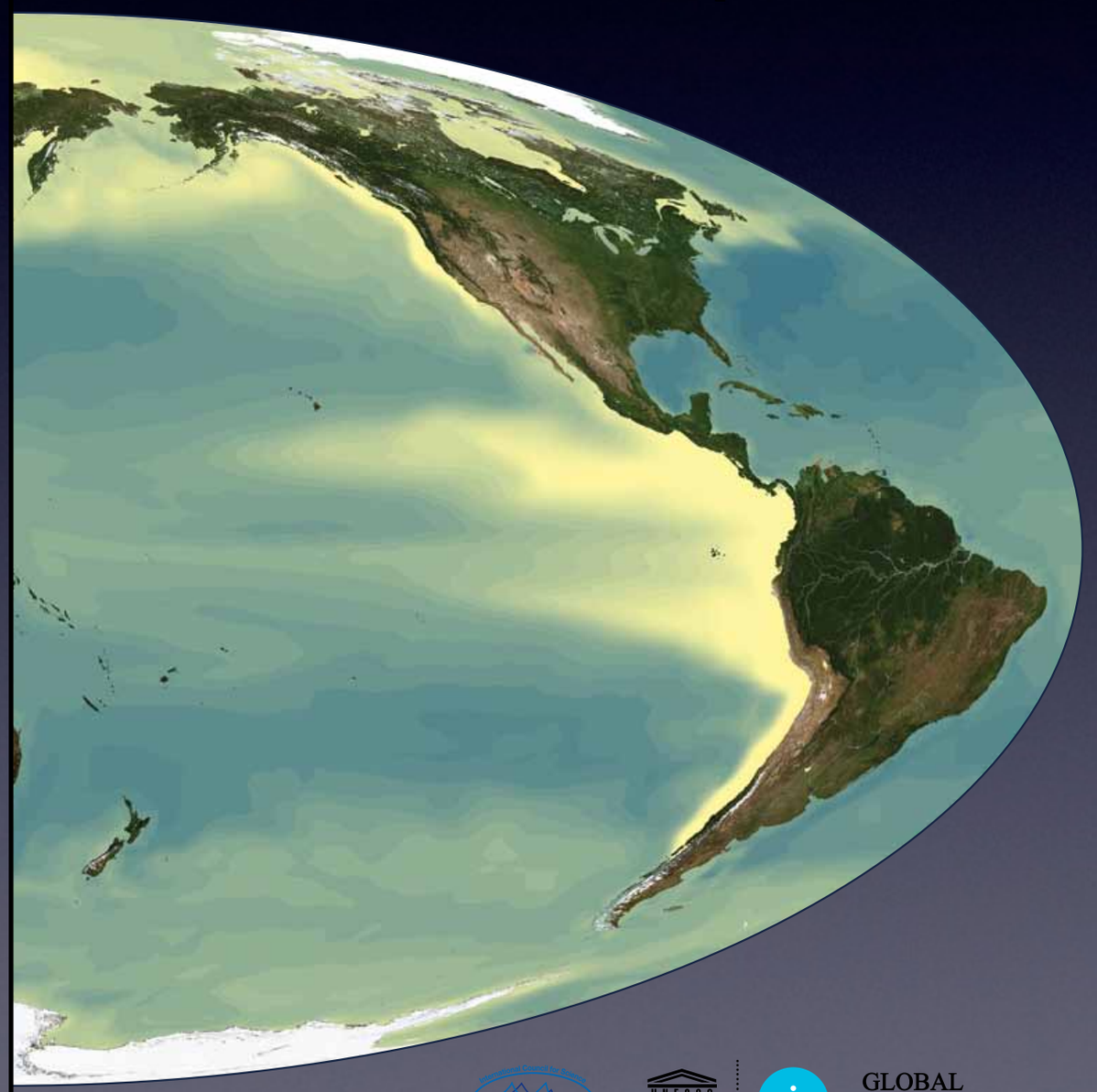
Confidence level

- V — Very high
- H — High
- M — Medium
- L — Low

Ocean Acidification

Summary for Policymakers

Third Symposium on the Ocean in a High-CO_2 World



SCOR Scientific Committee on Oceanic Research

UNESCO

GLOBAL CHANGE IGBP International Geosphere-Biosphere Programme

Chemistry

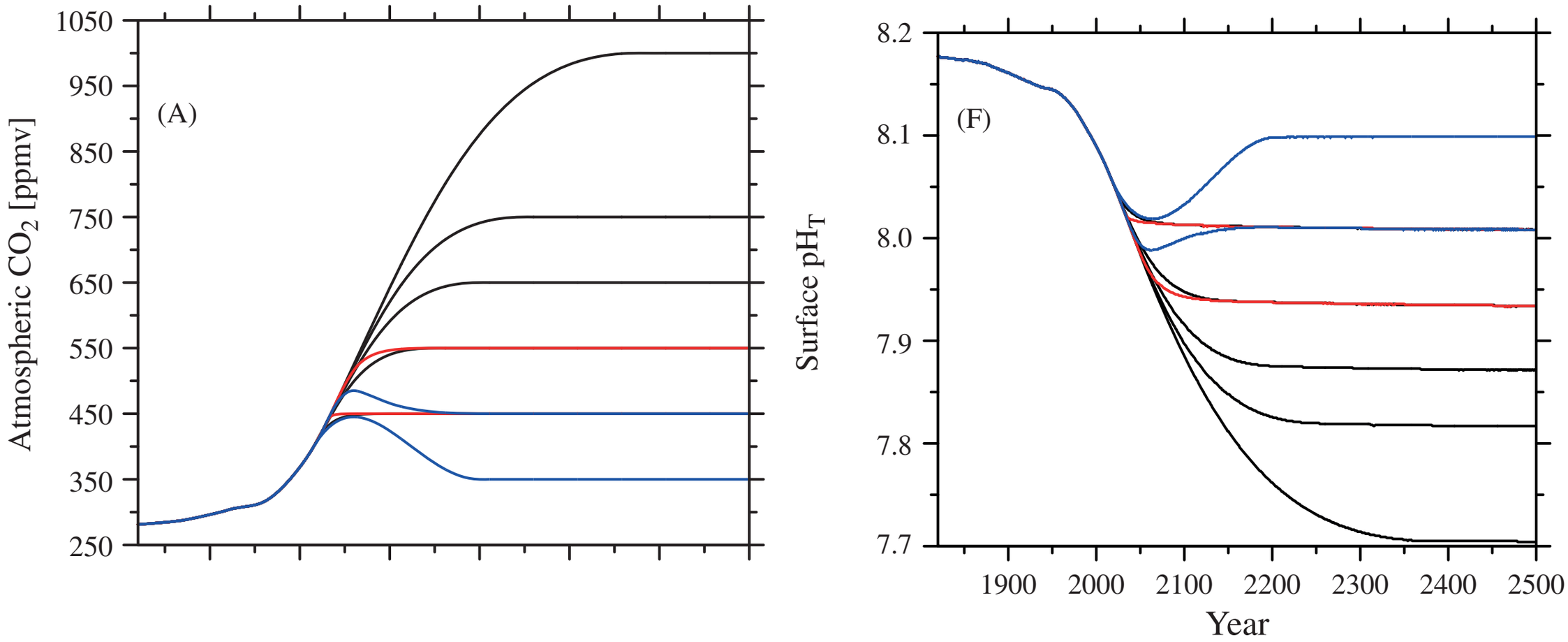
- The capacity of the ocean to act as a carbon sink decreases as it acidifies and warms
- Ocean acidification is caused by CO_2 emissions from human activity to the atmosphere that end up in the ocean
- The legacy of historical fossil fuel emissions on ocean acidification will be felt for centuries

SCOR International Council for Science Scientific Committee on Oceanic Research

UNESCO

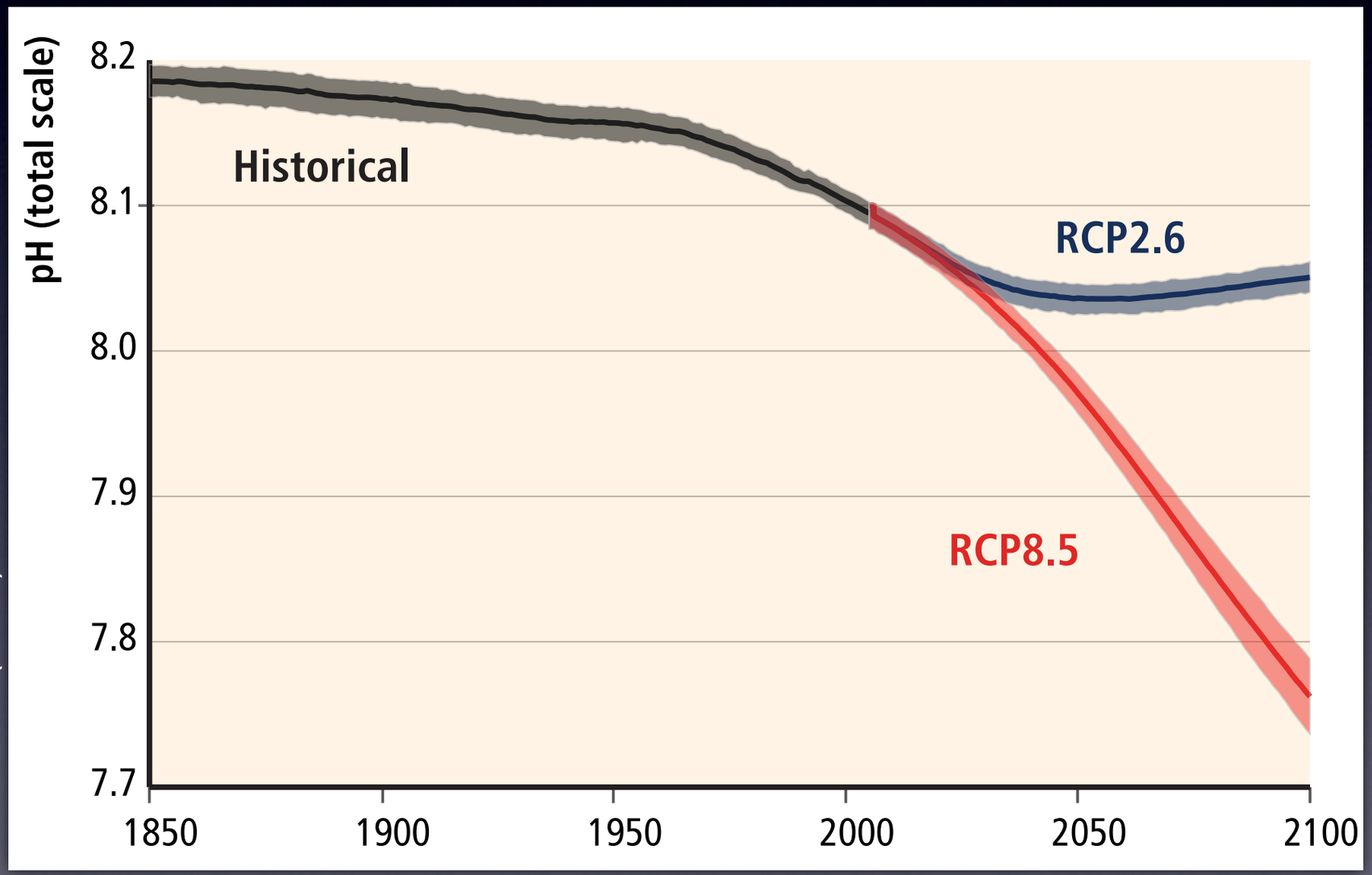
GLOBAL CHANGE IGBP International Geosphere-Biosphere Programme

Persistance de la perturbation



Joos et al. (2011)

- Anthropogenic ocean acidification is currently in progress and is measurable
- Reducing CO_2 emissions will slow the progress of ocean acidification



Likely surface ocean warming by 2100:

0.6 °C

2 °C

SCOR International Council for Science Scientific Committee on Oceanic Research
UNESCO
GLOBAL CHANGE IGBP International Geosphere-Biosphere Programme

Etudes de laboratoire

PML Plymouth Marine Laboratory

cnrs

AWI

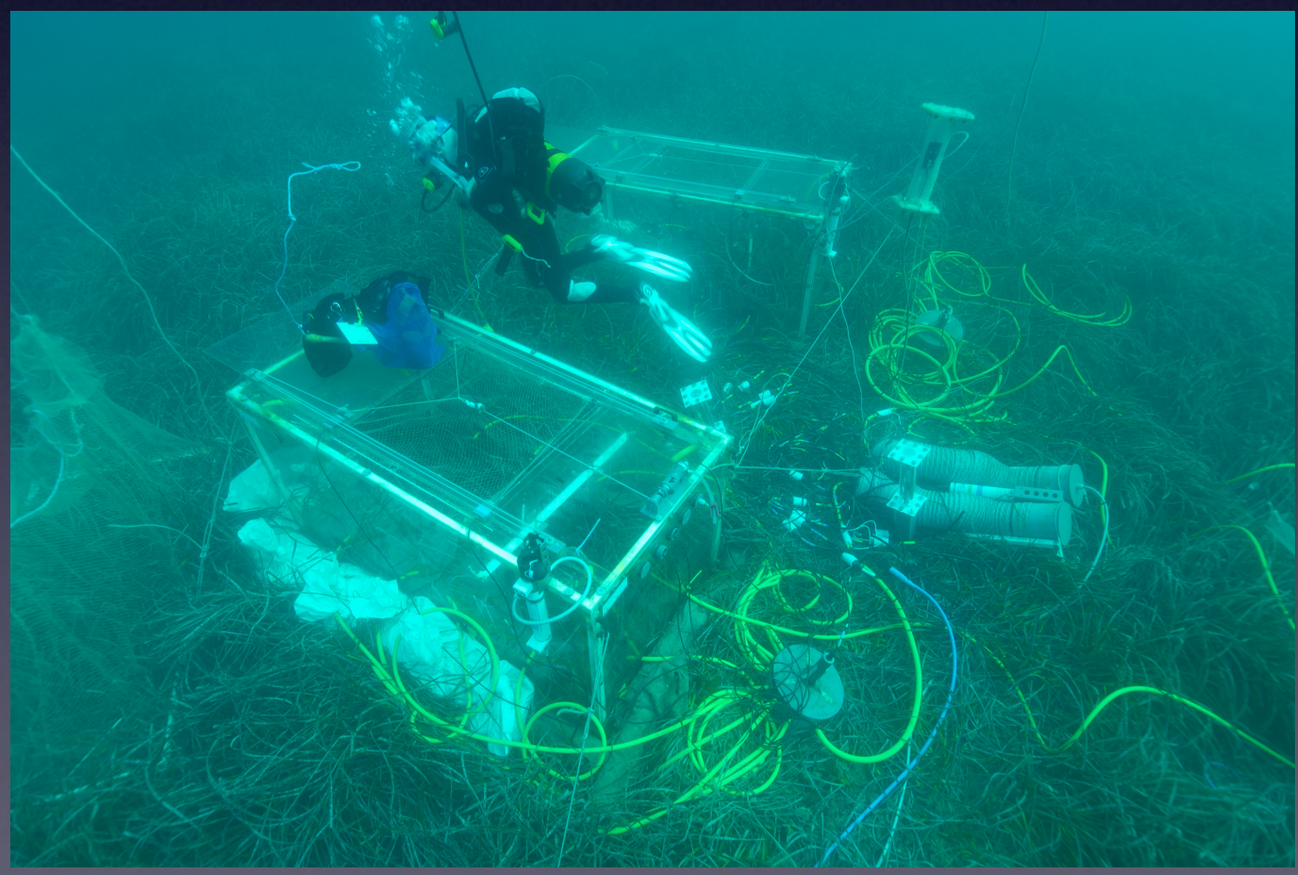
NIOO

MARINE ENVIRONMENT LABORATORIES - IAEA - MONACO -

Etudes sur le terrain

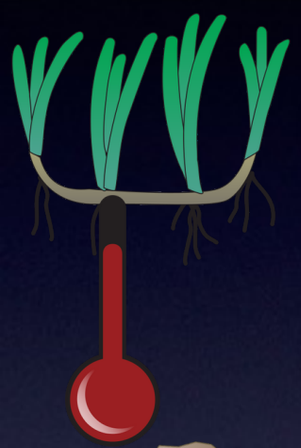
Etudes sur le terrain

Etudes sur le terrain



Biological response

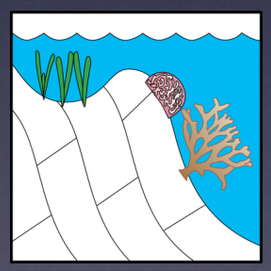
H Cold-water coral communities are at risk and may become unsustainable



H Some plants may benefit

H Combination of elevated acidity and temperature negatively affect many organisms

H Molluscs among the most sensitive groups



H Coral reef erosion will outpace reef building

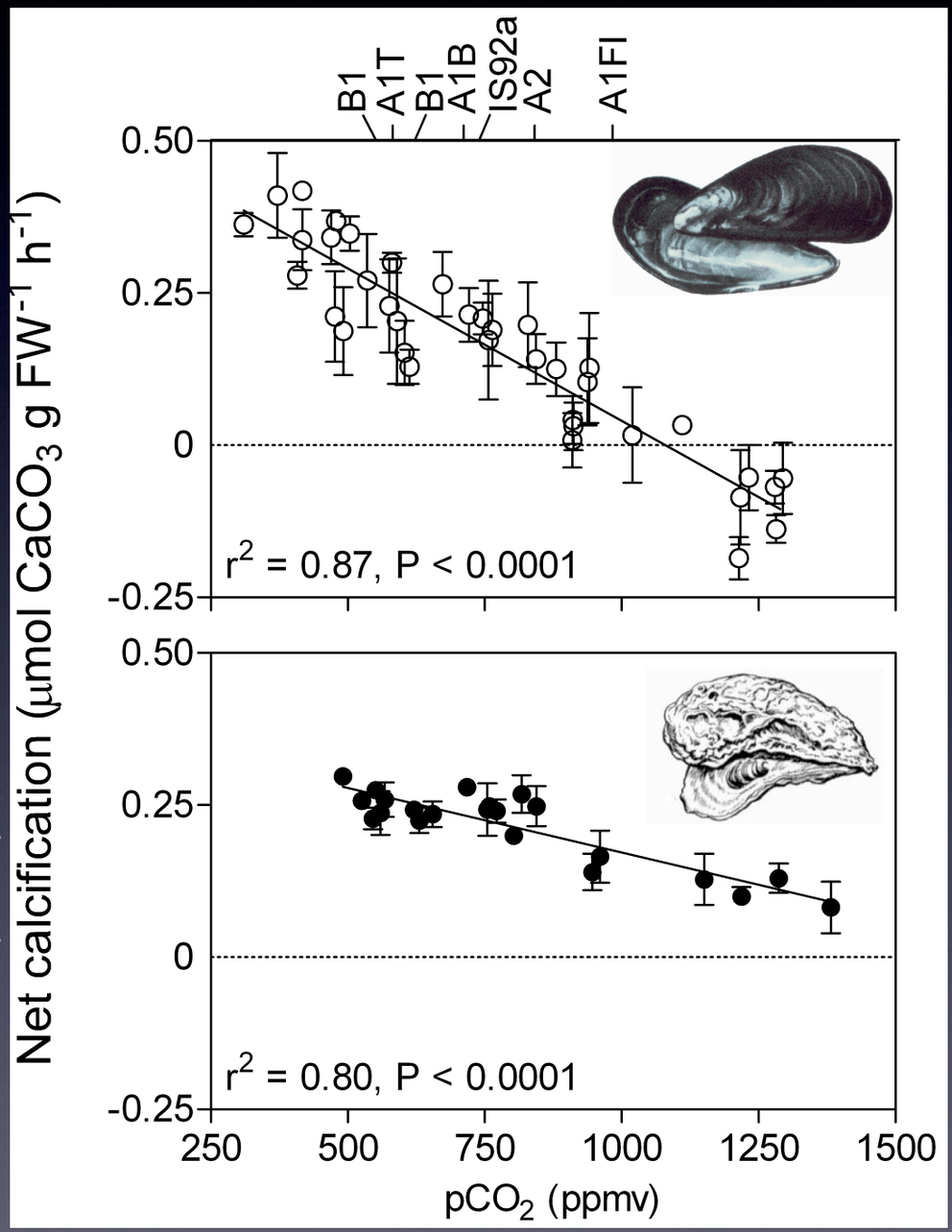
H Impacts on biodiversity, not well constrained

SCOR International Council for Science Scientific Committee on Oceanic Research

UNESCO

GLOBAL CHANGE IGBP International Geosphere-Biosphere Programme

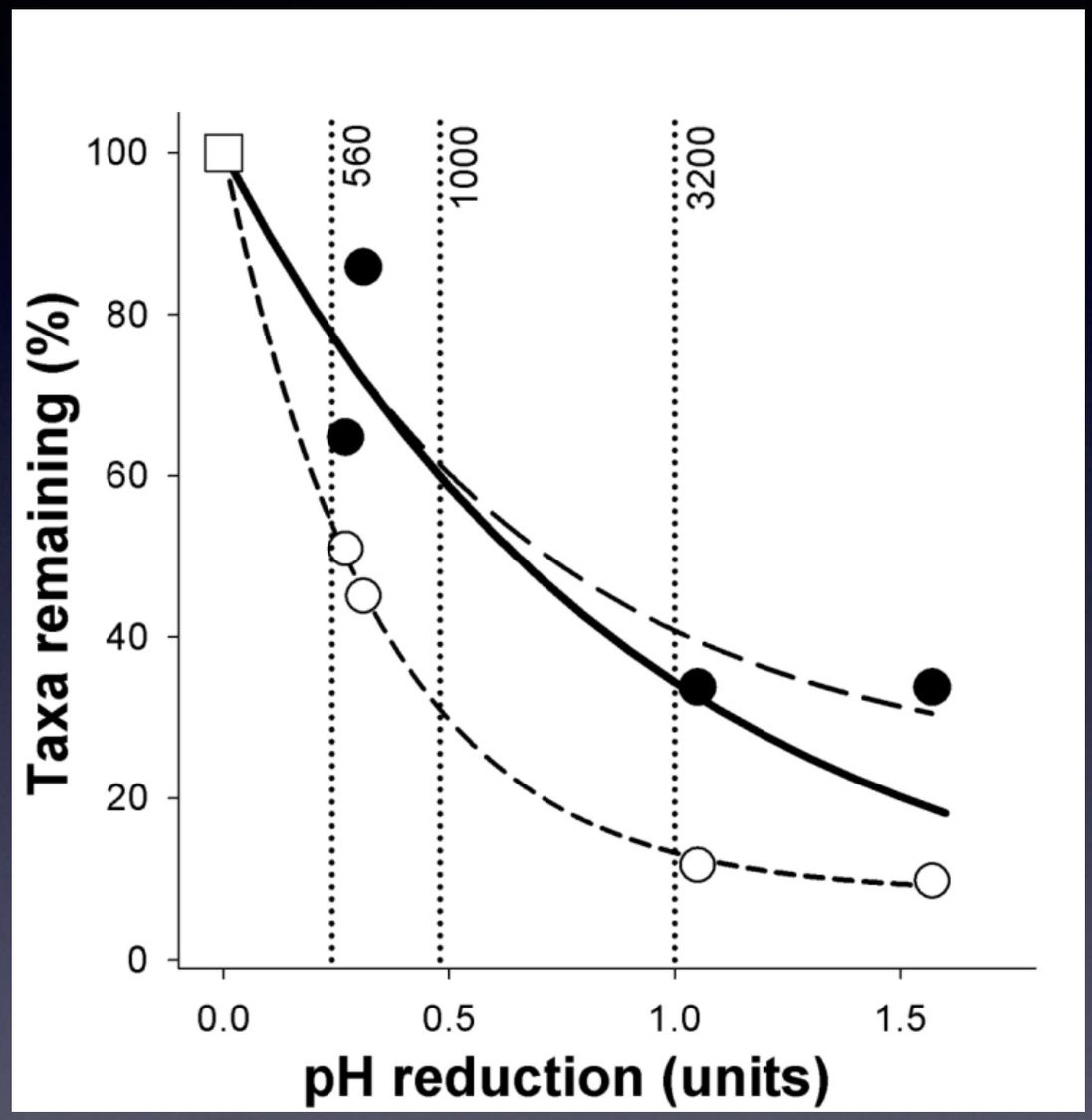
Exemple des mollusques



Gazeau et al. (2007)

Field studies: CO_2 vents

Ischia (Hall-Spencer et al., 2008; Martin et al., 2009)



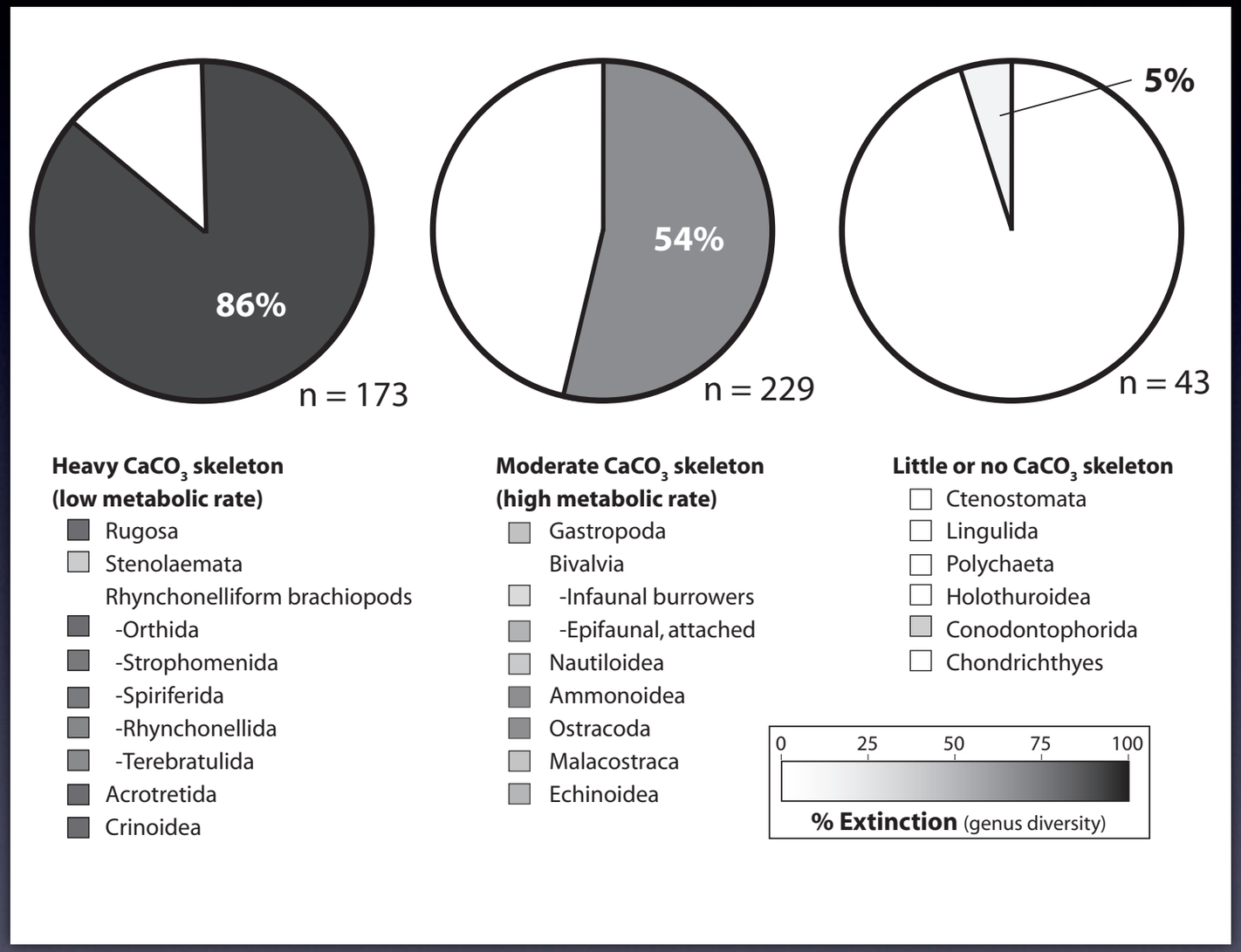
Barry et al. (2011)

● Non calcifiers (71 taxa)

○ Calcifiers (51 taxa)

Extinctions d’espèces calcaires

- The long view
  - Hypercalcifiers have come and go
  - Response stronger when ocean acidification is combined with anoxia
- Rate is key: biological crisis when pCO2 rose fast, not when pCO2 was high
- Selective extinction during the end-Permian crisis
- Timescale of recovery measured in geological times

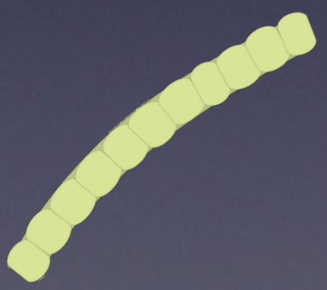


Biological response

M Ocean acidification will adversely affect many calcifying organisms

M Pteropod (marine snail) shells are already dissolving

M Ocean acidification may have some direct effects on fish physiology, behaviour and fitness



M Nitrogen fixation in some cyanobacteria may be simulated

SCOR International Council for Science Scientific Committee on Oceanic Research

UNESCO

GLOBAL CHANGE IGBP International Geosphere-Biosphere Programme

Societies and economies

- M — Declines in shellfisheries will lead to economic losses, but their extent is uncertain
- M — Negative socio-economic impacts of coral reef degradation are expected but the size of the costs is uncertain
- L — Impacts of ocean acidification on ecosystems may affect top predators and fisheries
- L — Ocean acidification will alter biogeochemical cycles at a global scale

SCOR International Council for Science Scientific Committee on Oceanic Research
UNESCO
GLOBAL CHANGE IGBP International Geosphere-Biosphere Programme

Brief assessment of consequences

- **Chemical effects**: very high confidence V
- **Biological and ecological effects**: high to low confidence H M L
- **Biogeochemistry**, **society** and the **economy**: medium to low confidence M L
- **Knowledge gaps**:
  - Multiple stressors
  - Evolutionary adaptation
  - Response of communities
  - Food web, up to predators

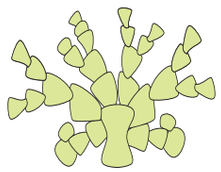
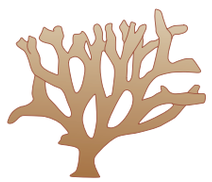
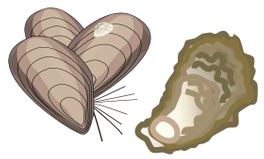
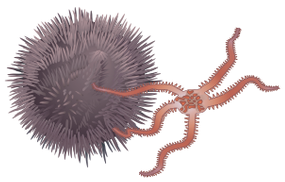
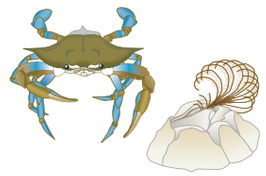
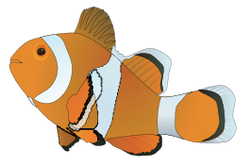
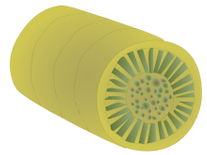
SCOR International Council for Science Scientific Committee on Oceanic Research

UNESCO

GLOBAL CHANGE IGBP International Geosphere-Biosphere Programme

Meta-analysis

Enhanced <25%
No effect
Reduced <25%
Reduced >25%
Not tested

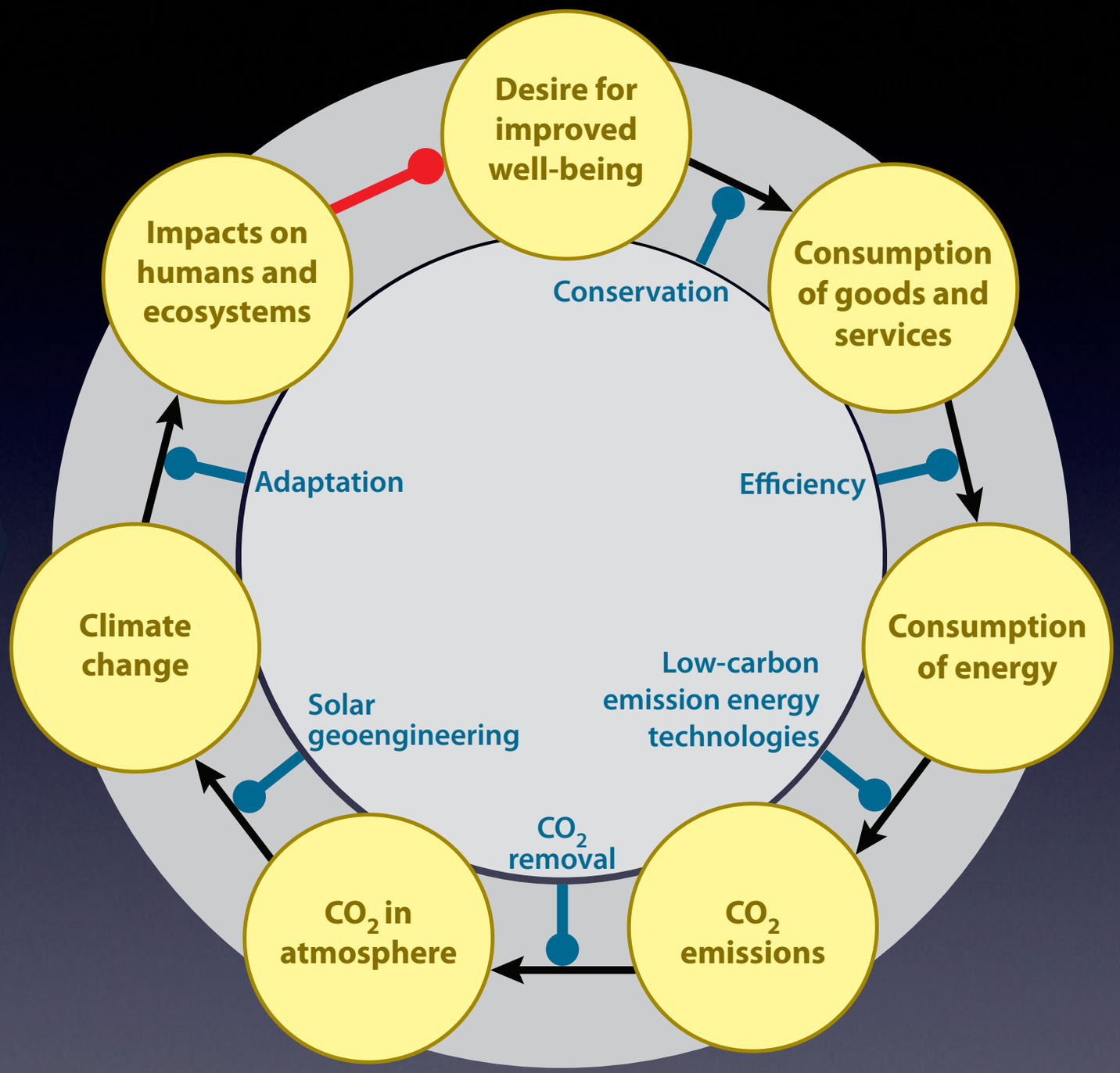
Taxa	Response	Mean Effect
 Calcifying algae	Survival	
	Calcification	
	Growth	
	Photosynthesis	-28%
	Abundance	-80%
 Corals	Survival	
	Calcification	-32%
	Growth	-23%
	Photosynthesis	
	Abundance	-47%
 Coccolithophores	Survival	
	Calcification	-9%
	Growth	
	Photosynthesis	
	Abundance	
 Molluscs	Survival	-34%
	Calcification	-40%
	Growth	-17%
	Development	-25%
	Abundance	
 Echinoderms	Survival	
	Calcification	
	Growth	-10%
	Development	-11%
	Abundance	
 Crustaceans	Survival	
	Calcification	
	Growth	
	Development	
	Abundance	
 Fish	Survival	
	Calcification	
	Growth	
	Development	
	Abundance	
 Fleshy algae	Survival	
	Calcification	
	Growth	+22%
	Photosynthesis	
	Abundance	
 Seagrasses	Survival	
	Calcification	
	Growth	
	Photosynthesis	
	Abundance	
 Diatoms	Survival	
	Calcification	
	Growth	+12%
	Photosynthesis	
	Abundance	

Kroeker et al. (2013)

Policy options for action

- UN Framework Convention on Climate Change: Conference of the Parties, IPCC, Conference on Sustainable Development (Rio+20)
- Convention on biological diversity
- Geoengineering
- Regional and local acts, laws and policies to reduce other stresses

(WGII 30.6.4, 30.7.1)

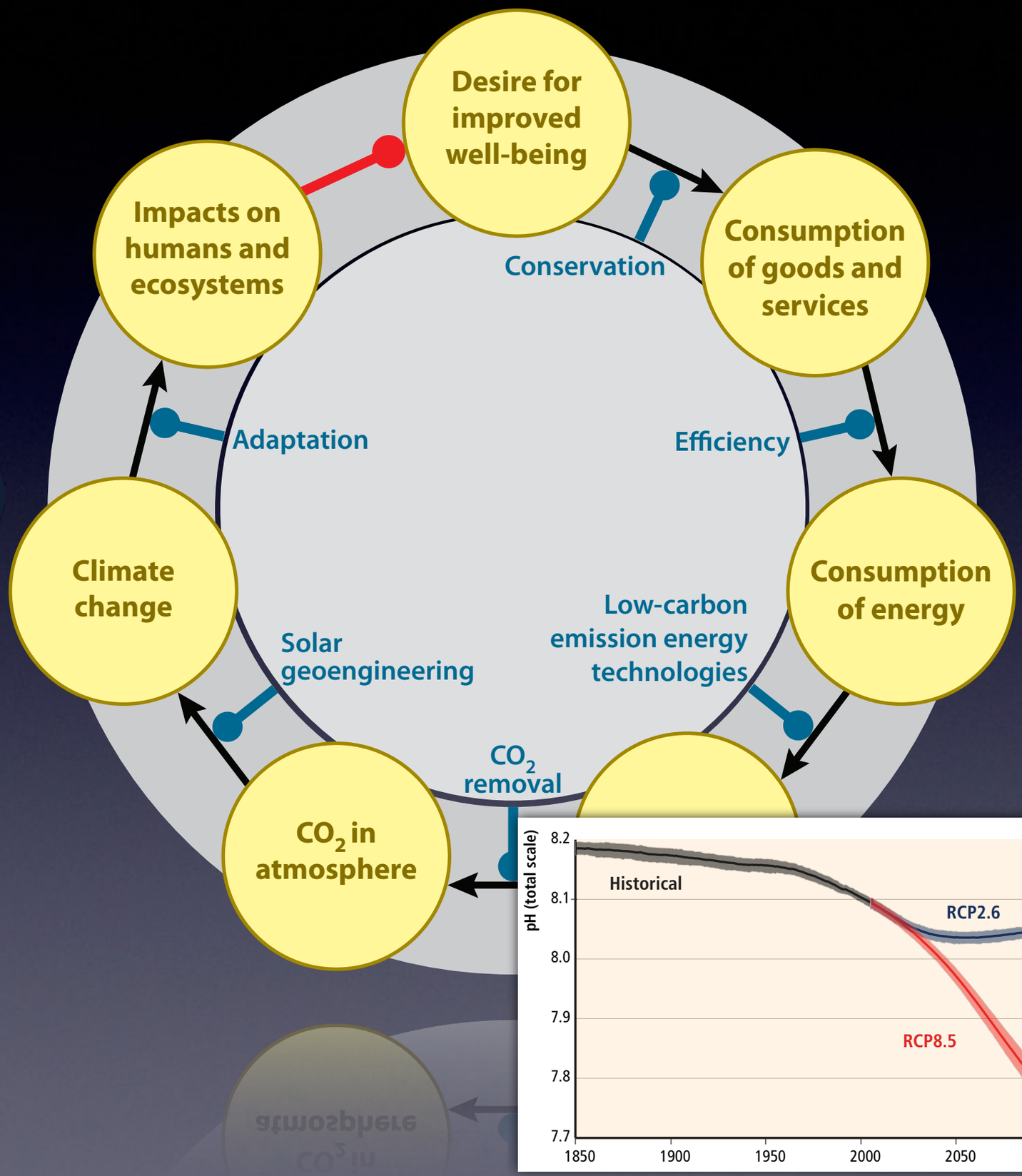


Caldeira et al. (2013)

Policy options for action

- UN Framework Convention on Climate Change: Conference of the Parties, IPCC, Conference on Sustainable Development (Rio+20)
- Convention on biological diversity
- Geoengineering
- Regional and local acts, laws and policies to reduce other stresses

(WGII 30.6.4, 30.7.1)



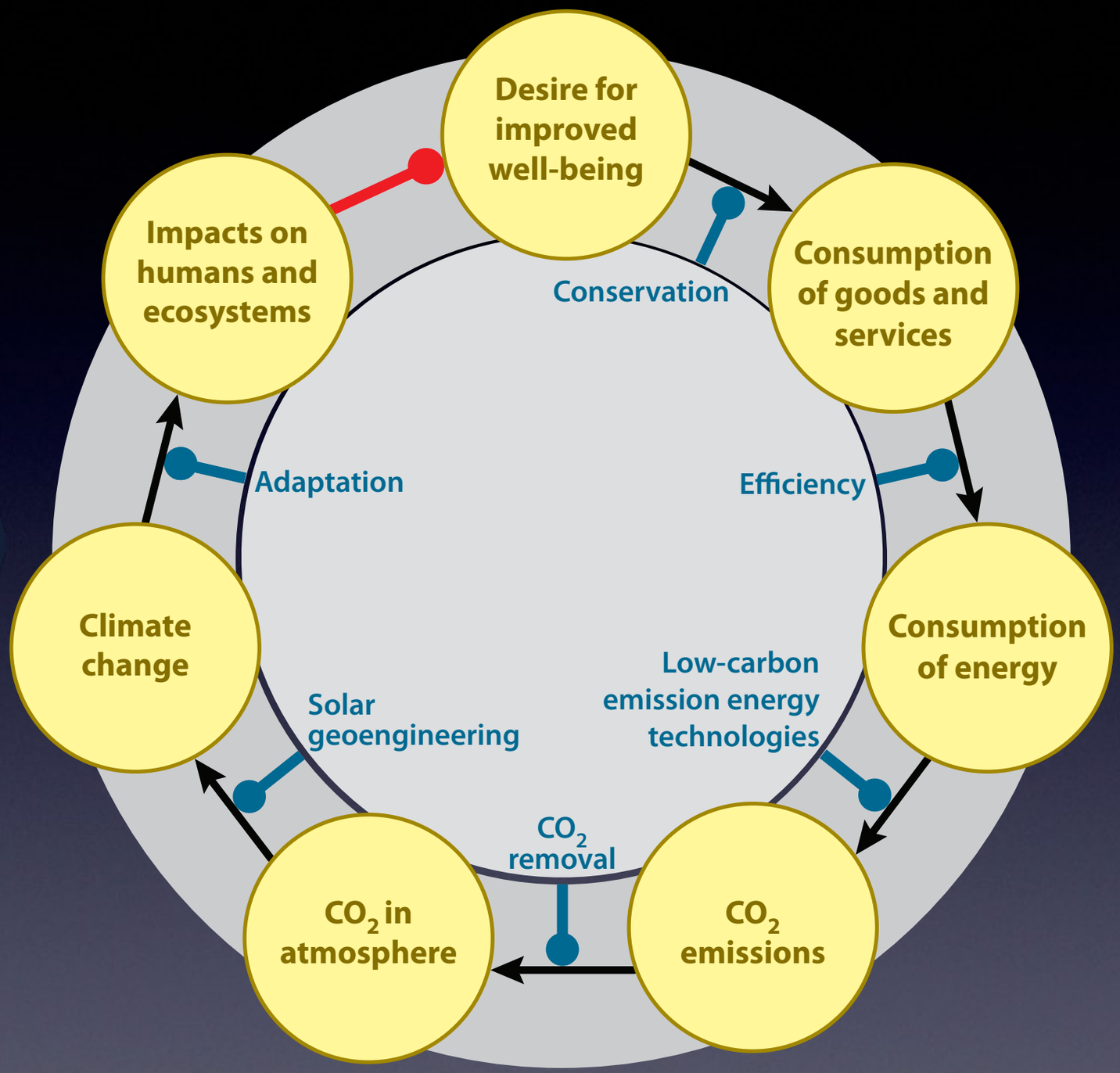
Caldeira et al. (2013)

Ciais et al. (2013). IPCC AR5 WG I

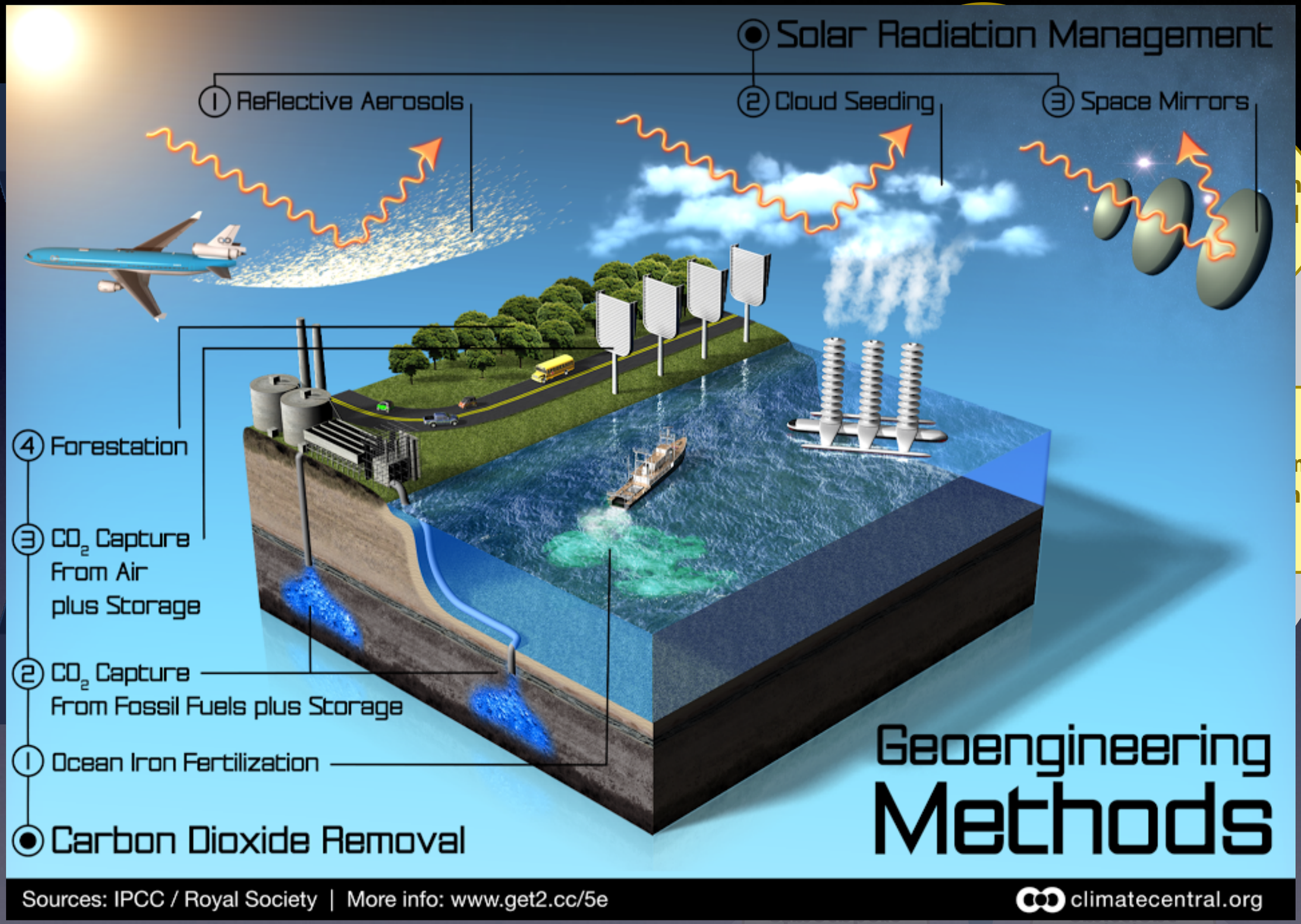
Policy options for action

- UN Framework Convention on Climate Change: Conference of the Parties, IPCC, Conference on Sustainable Development (Rio+20)
- Convention on biological diversity
- Geoengineering
- Regional and local acts, laws and policies to reduce other stresses

(WGII 30.6.4, 30.7.1)



Caldeira et al. (2013)

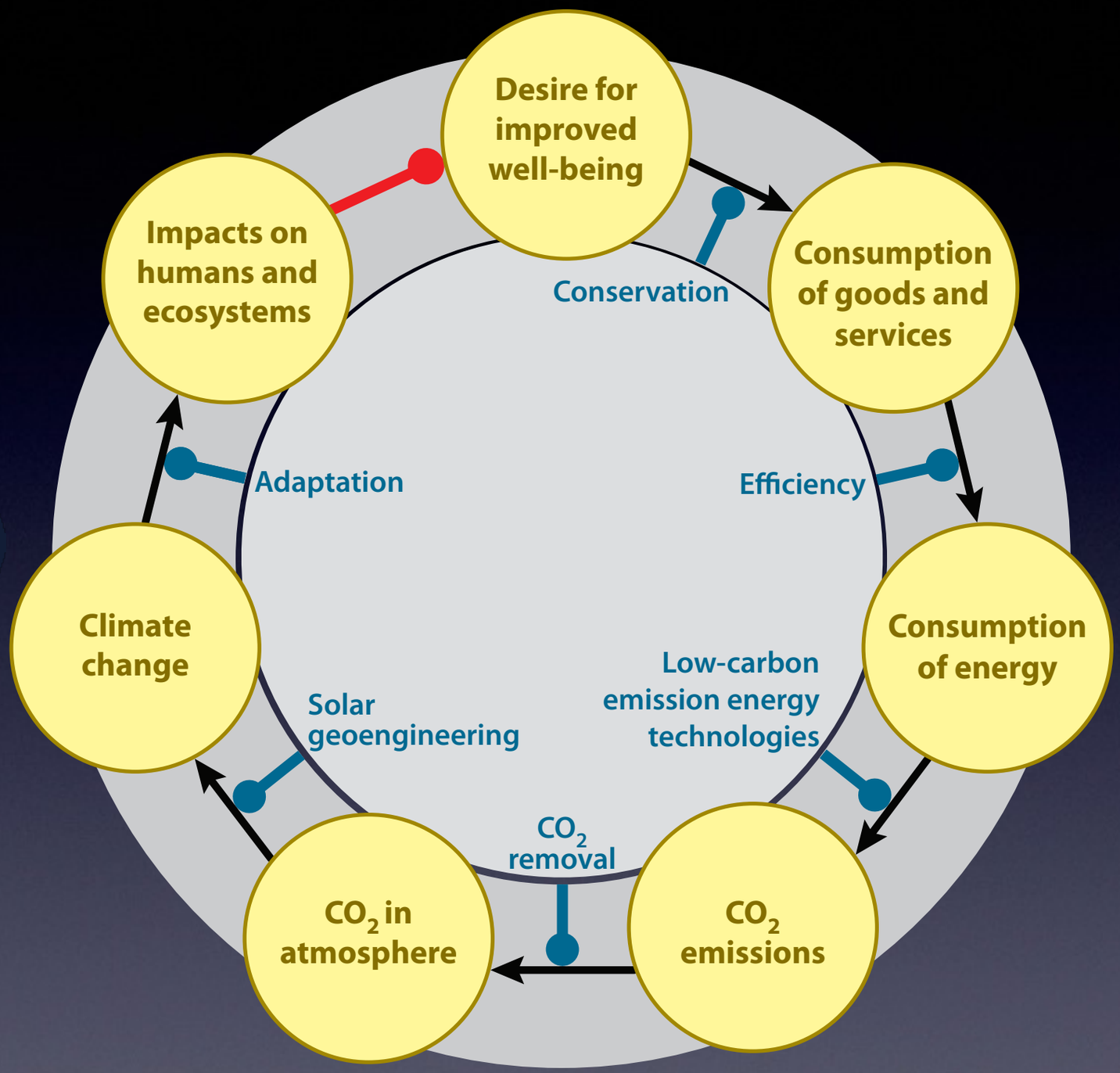


Caldeira et al. (2013)

Policy options for action

- UN Framework Convention on Climate Change: Conference of the Parties, IPCC, Conference on Sustainable Development (Rio+20)
- Convention on biological diversity
- Geoengineering
- Regional and local acts, laws and policies to reduce other stresses

(WGII 30.6.4, 30.7.1)



Caldeira et al. (2013)

The Seattle Times
Winner of Nine Pulitzer Prizes

Local News

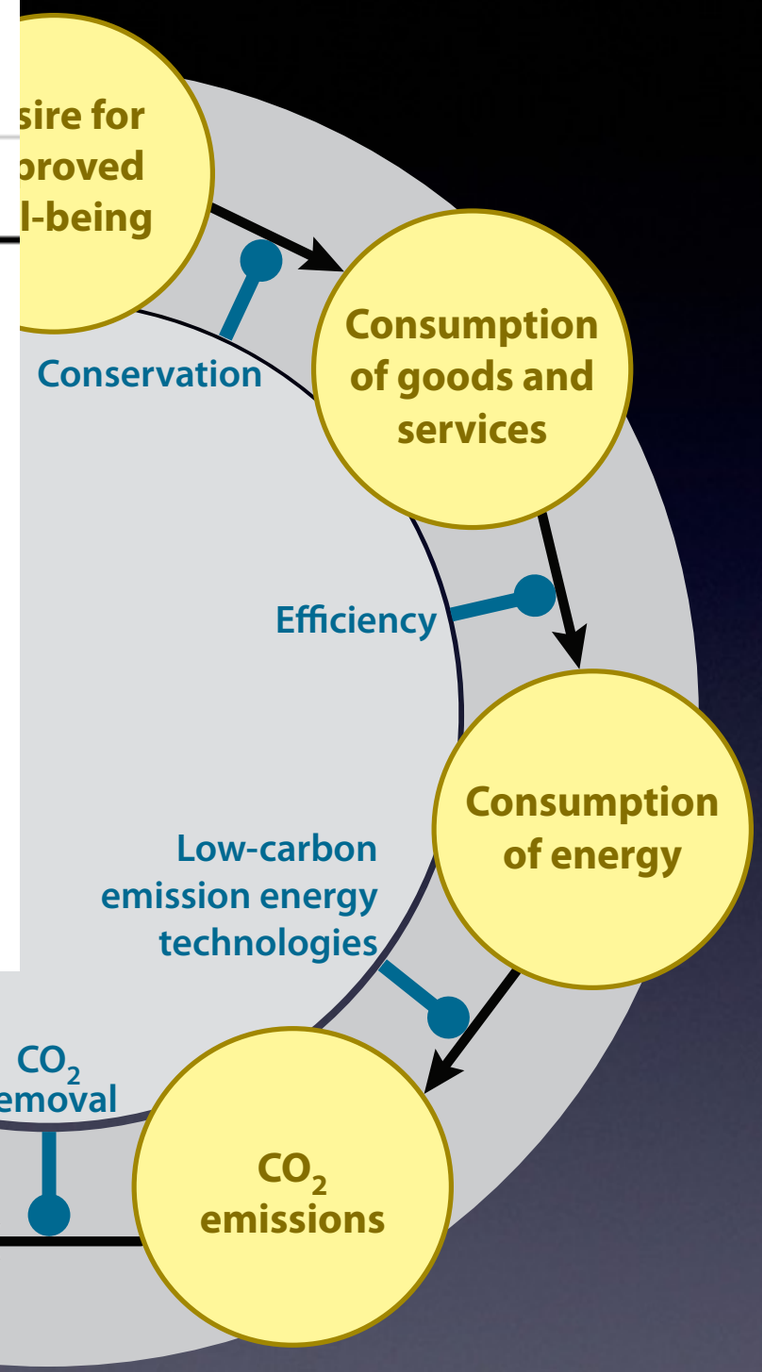
Originally published June 21, 2012 at 9:24 PM | Page modified June 22, 2012 at 1:34 PM

Willapa Bay oyster grower sounds alarm, starts hatchery in Hawaii

A Willapa Bay shellfish company is shifting some of its business to Hawaii because of ocean acidification that scientists believe is killing tiny oyster larvae in shellfish farms along Washington's coast.

and policies to reduce other stresses

(WGII 30.6.4, 30.7.1)

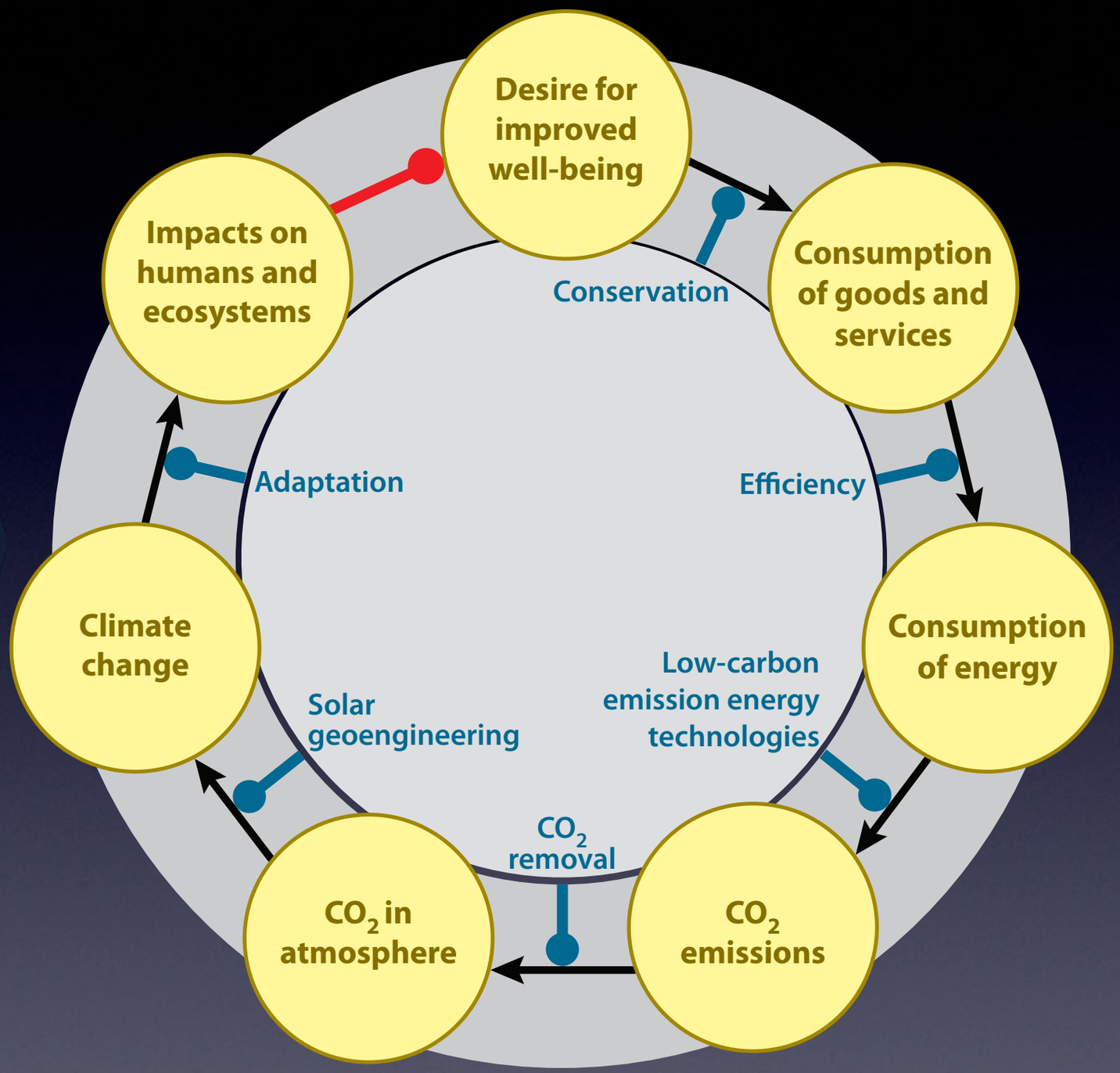


Caldeira et al. (2013)

Policy options for action

- UN Framework Convention on Climate Change: Conference of the Parties, IPCC, Conference on Sustainable Development (Rio+20)
- Convention on biological diversity
- Geoengineering
- Regional and local acts, laws and policies to reduce other stresses

(WGII 30.6.4, 30.7.1)



Caldeira et al. (2013)

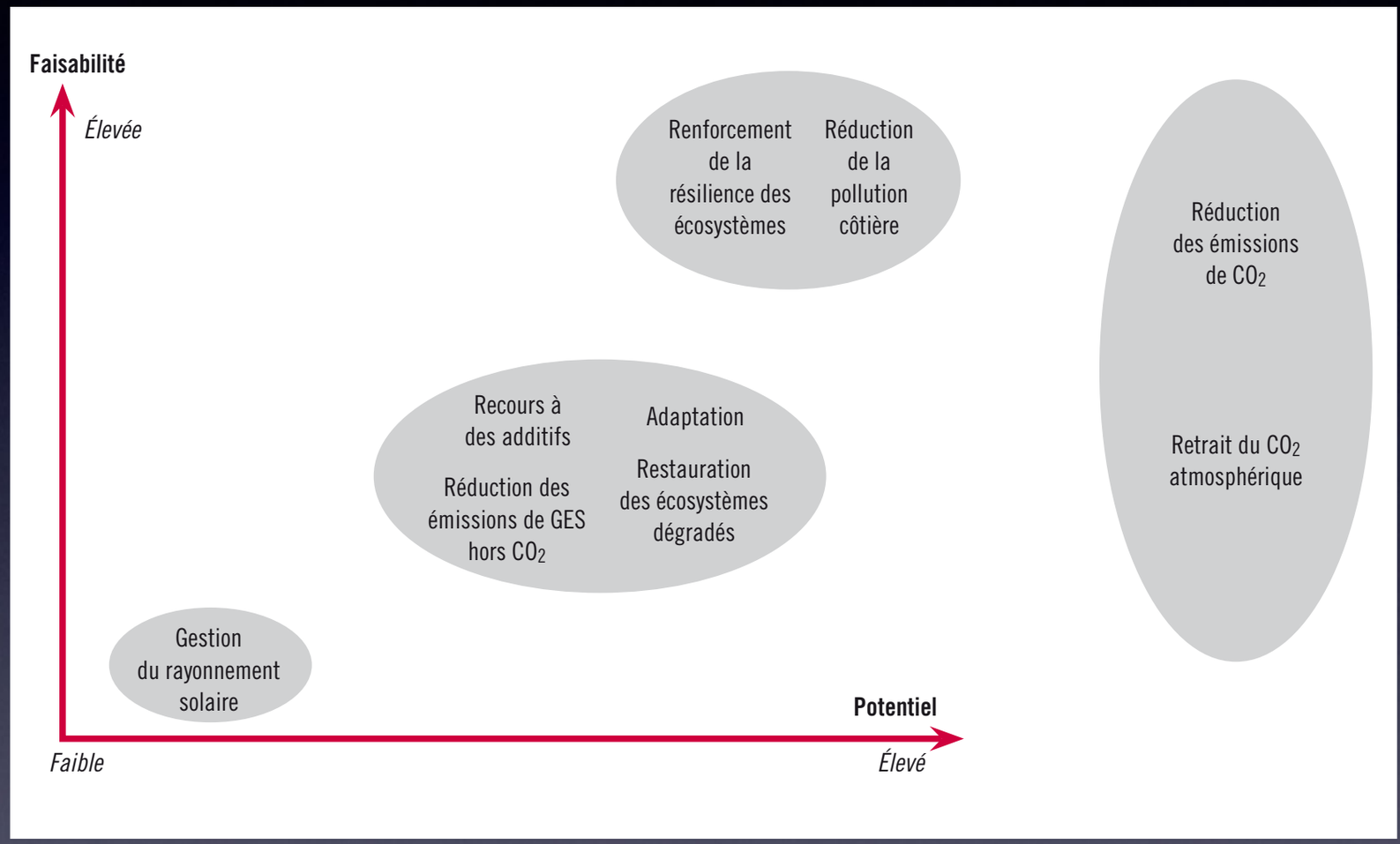
Que faire ?

Policy options for action

- UN Framework Convention on Climate Change: Conference of the Parties, IPCC, Conference on Sustainable Development (Rio+20)
- Convention on biological diversity
- Geoengineering
- Regional and local acts, laws and policies to reduce other stresses

(WGII 30.6.4, 30.7.1)

Gattuso et al. (2014; IPCC AR5 WGII)



Billé et al. (2013)

Dissemination

Documents for policy makers – some written by EPOCA's Reference User Group of stakeholders

World leading website and blog on ocean acidification

…ward winning films one by school children and another by professional film makers

Dialogue with policy makers and media at climate change negotiations in Copenhagen, Cancun, Capetown and Warsaw

After C. Turley

Dissemination

Documents for policy makers – some written by EPOCA's Reference U… Group

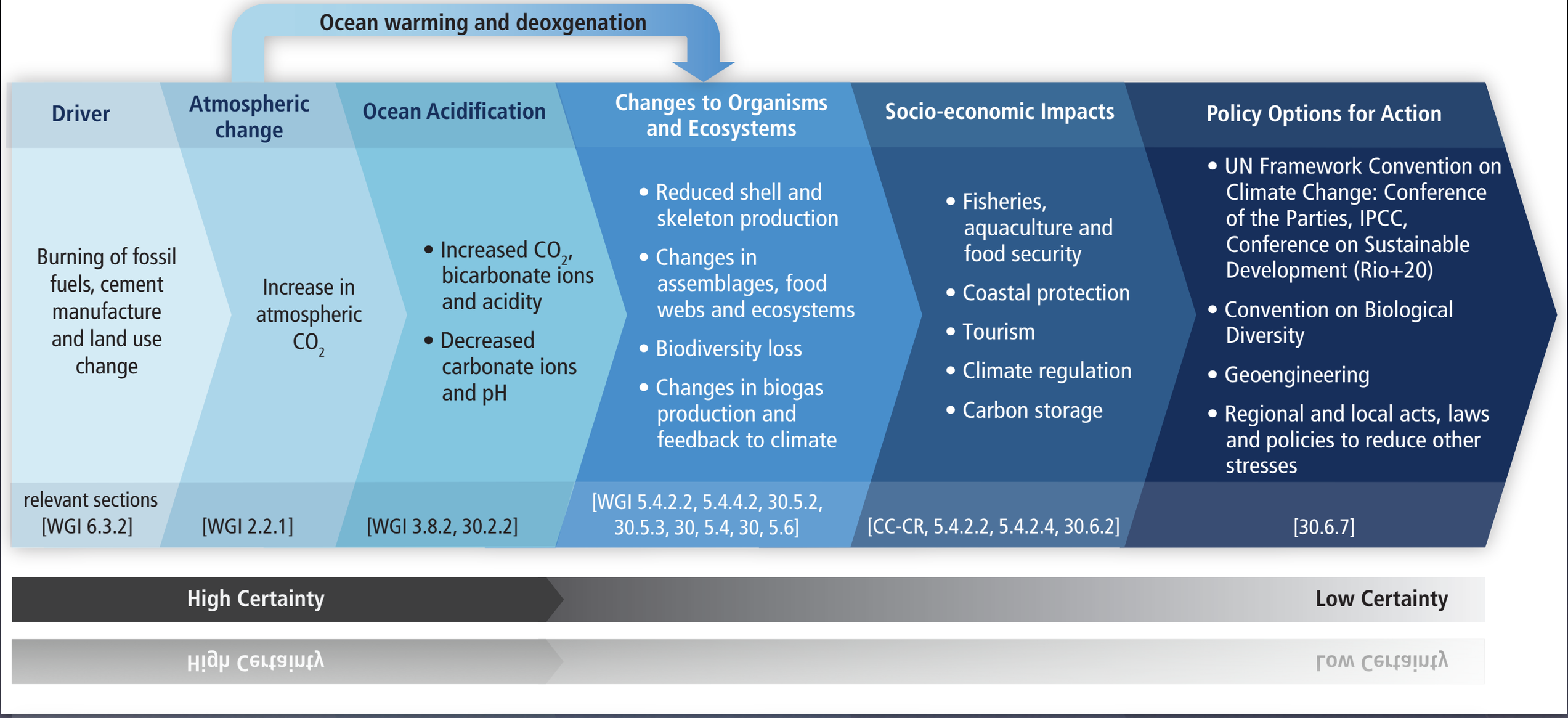
World …ding
… blog on
…ication

Dialogue with policy makers and media at climate change negotiations in Copenhagen, Cancun, Capetown and Warsaw

Ocean Acidification International Coordination Center
http://news-oceanacidification-icc.org

After C. Turley

Conclusion



Gattuso et al. (2014; IPCC AR5 WGII)

Conférence climat, Paris (COP21)

- Constitution d'un groupe d'expert : *The Oceans 2015 Initiative*
- Fondation Albert II et Ocean Acidification International Coordination Center
- Information des négociateurs à la lumière des engagements exprimés en mars 2015

Merci !

- Organisateurs de l'Université d'été
- Soutien financier :
  - Commission Européenne
  - Fondation BNP Paribas
  - Fondation Prince Albert II de Monaco
  - Agence internationale de l'énergie atomique