

Acidification des océans : projections, régionalisation et cartographie (Projet ACIDOSCOPE)

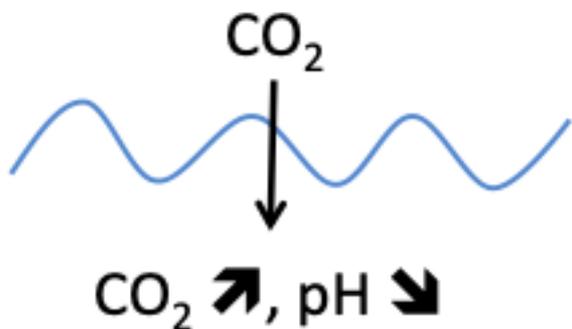
Laurent Bopp

DR CNRS / Professeur attaché ENS
LMD/IPSL, Ecole Normale Supérieure

Marion Gehlen (LSCE/IPSL), James Orr (LSCE/IPSL), Lester Kwiatkowski (LOCEAN-IPSL)

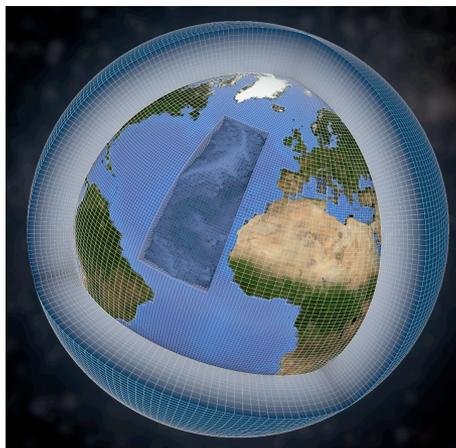
Quel océan demain ?

(1) Le principe



(2) Les outils

Modèles
Système
Terre

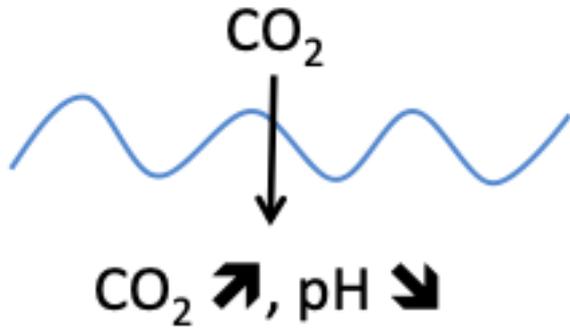


(voir acidoscope.ipsl.fr)

Quel océan demain ?

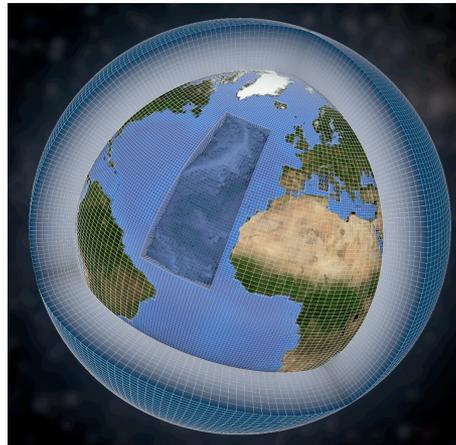
(3) Les projections

(1) Le principe

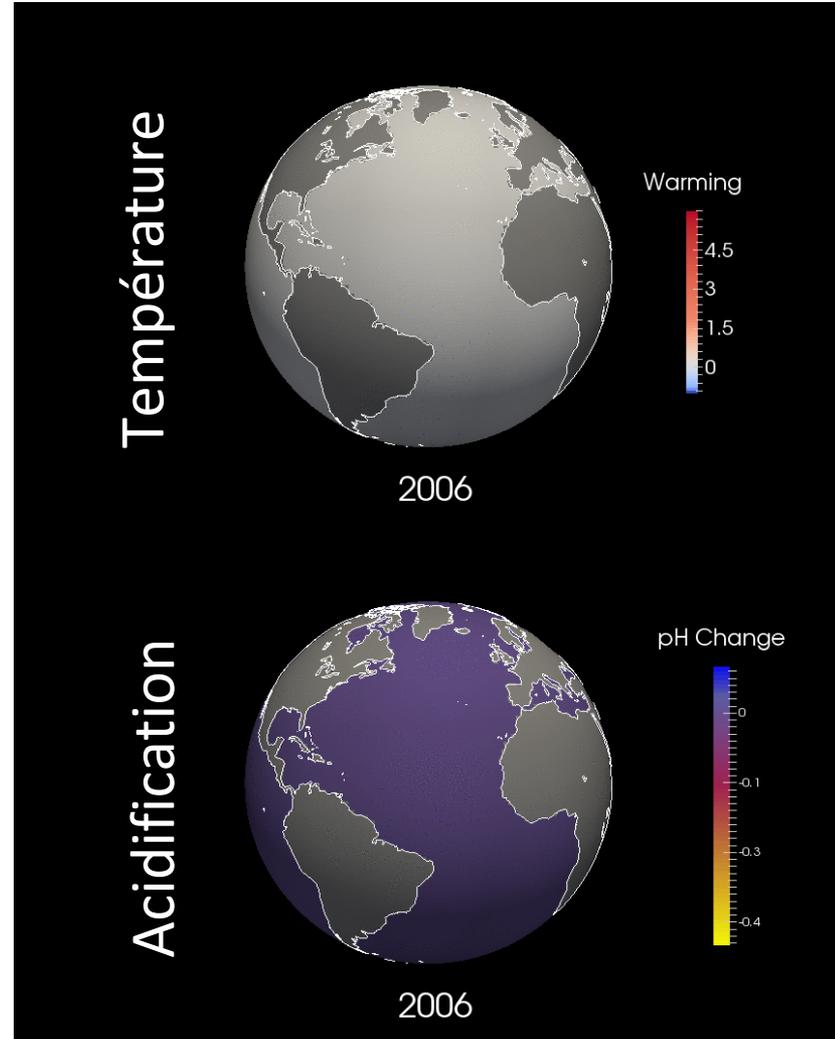


(2) Les outils

Modèles
Système
Terre

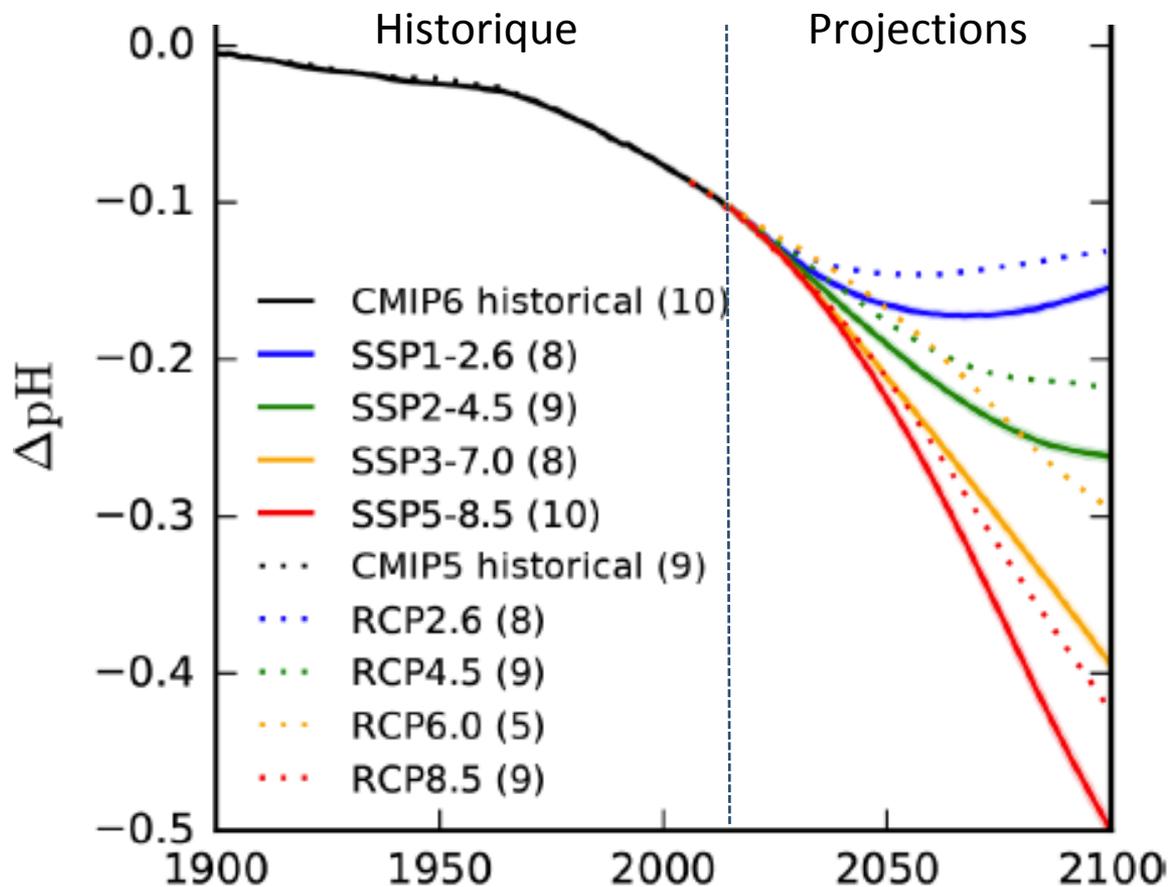


(voir acidoscope.ipsl.fr)



Projections de l'acidification de l'océan au 21^{ème} siècle

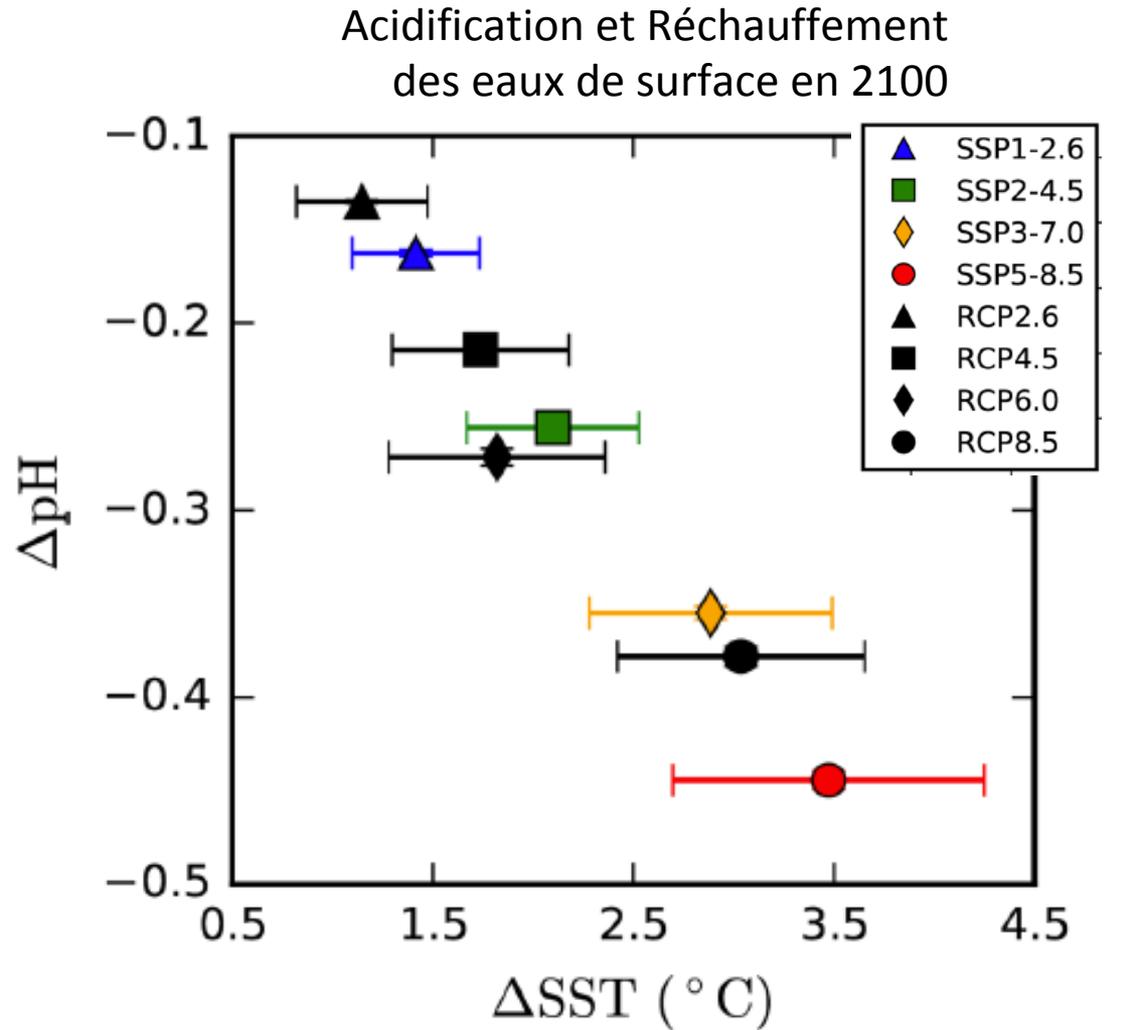
- ★ Mise à jour des projections avec les nouveaux scénarios du GIEC (CMIP6)
- ★ Acidification plus sévère que dans les scénarios précédents
- ★ L'acidification future dépend au 1^{er} ordre du scénario envisagé (et donc du CO₂ atmosphérique)
- ★ Les projections sont robustes et homogènes spatialement



(Kwiatkowski et al. 2020)

Projections de l'acidification de l'océan au 21^{ème} siècle

- ★ Mise à jour des projections avec les nouveaux scénarios du GIEC (CMIP6)
- ★ Acidification et réchauffement moyen sont très bien corrélés
- ★ La limitation du réchauffement global à 2°C permet de limiter l'acidification à moins de -0.2 unité pH



(Kwiatkowski et al. 2020)

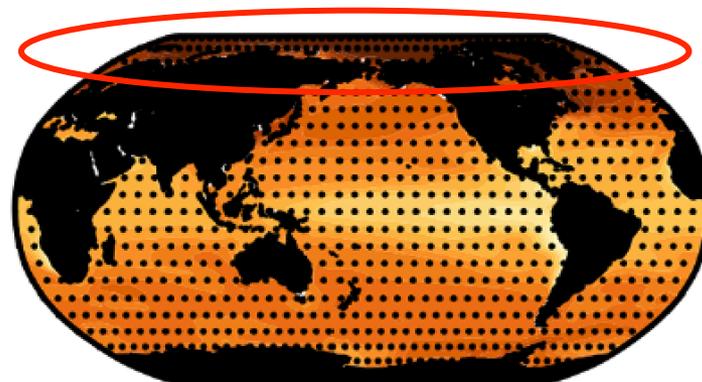
Au delà des aspects globaux...

- ✦ Réduction des incertitudes des projections à **l'échelle régionale**
- ✦ Prise en compte des variations **journalières et saisonnières**
- ✦ Rôle des autres facteurs de l'acidification - **apports continentaux**

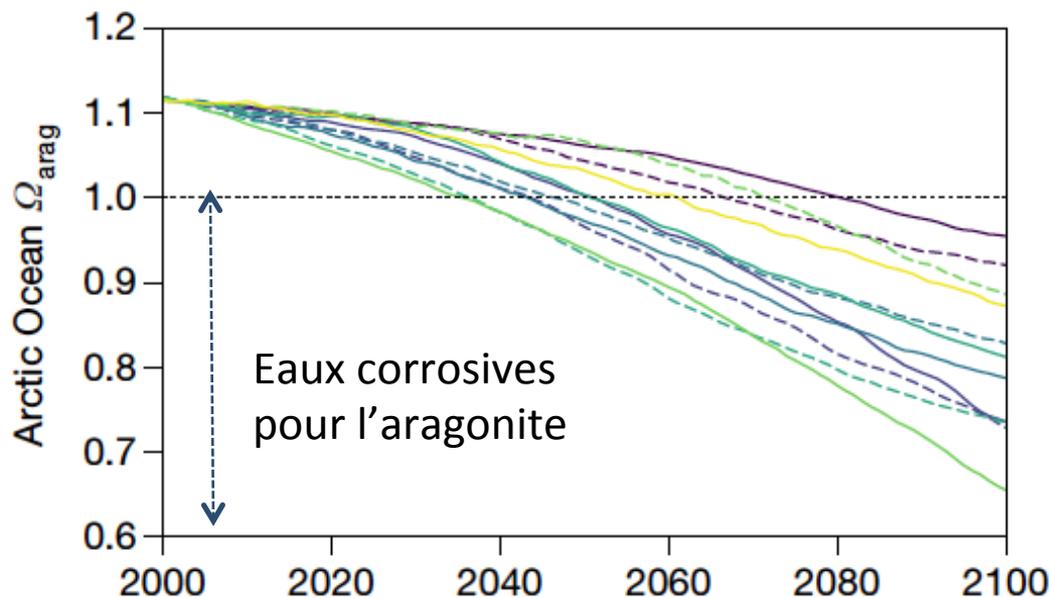
(1) Réduction des incertitudes des projections à l'échelle régionale

- ◆ L'océan Arctique est particulièrement **vulnérable** à l'acidification
- ◆ Les projection futures sont **très incertaines** – en particulier en profondeur

ΔpH en 2100 (SSP5-8.5)



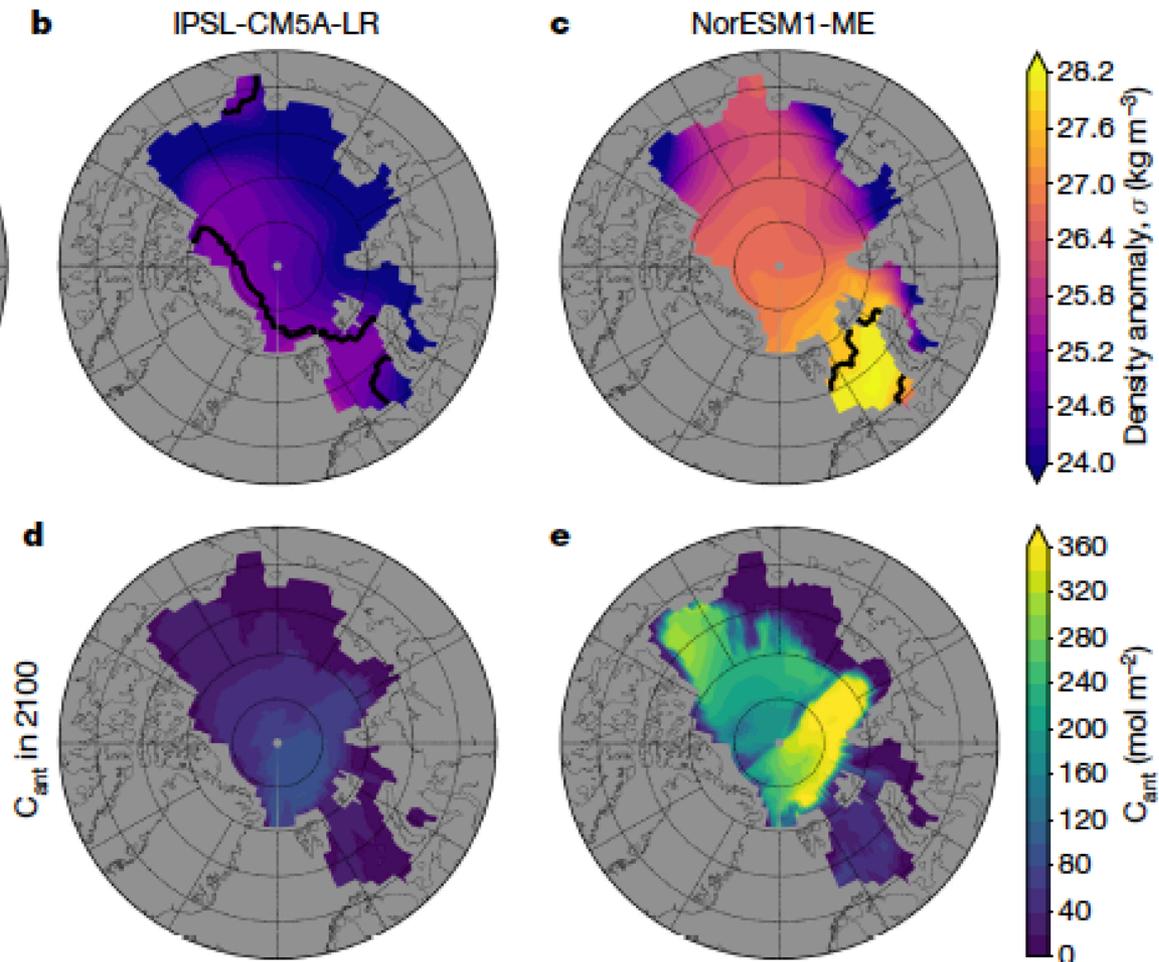
Incertainitude



(Terhaar et al. Nature 2020)

(1) Réduction des incertitudes des projections à l'échelle régionale

- ✦ L'océan Arctique est particulièrement vulnérable à l'acidification
- ✦ Les projection futures sont très incertaines – en particulier en profondeur



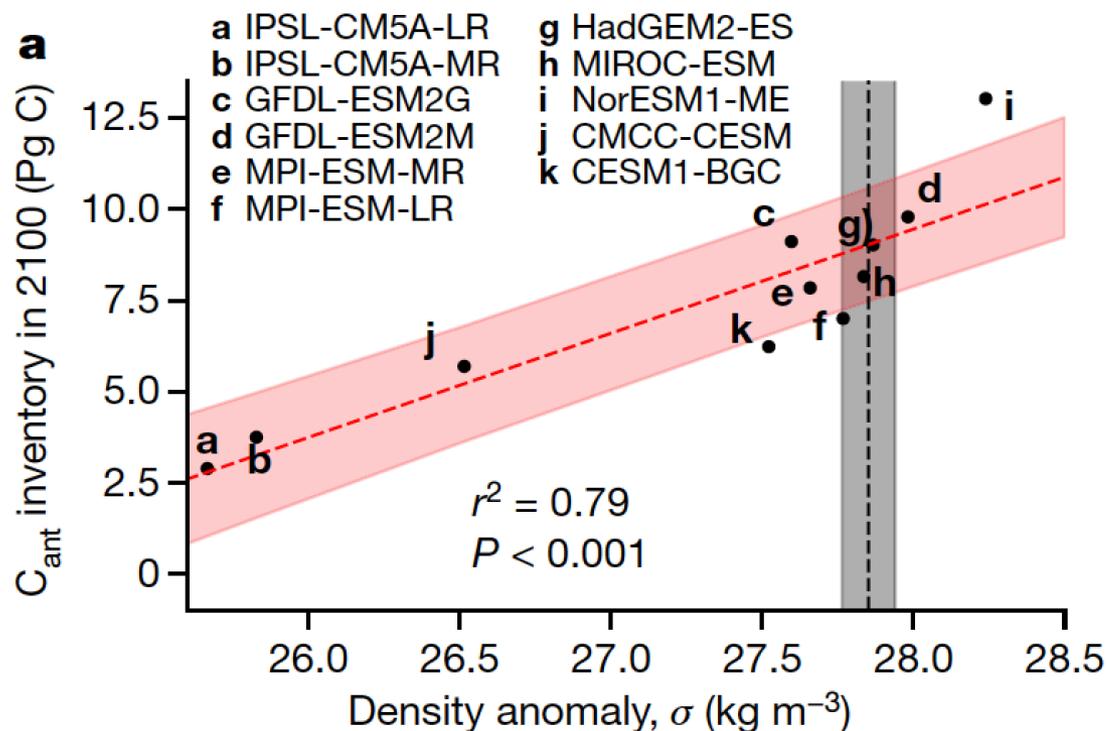
- ✦ Relation forte entre densité de surface, formation d'eaux profondes arctiques et stockage de carbone anthropique

(Terhaar et al. Nature 2020)



(1) Réduction des incertitudes des projections à l'échelle régionale

- ✦ L'océan Arctique est particulièrement vulnérable à l'acidification
- ✦ Les projection futures sont très incertaines – en particulier en profondeur

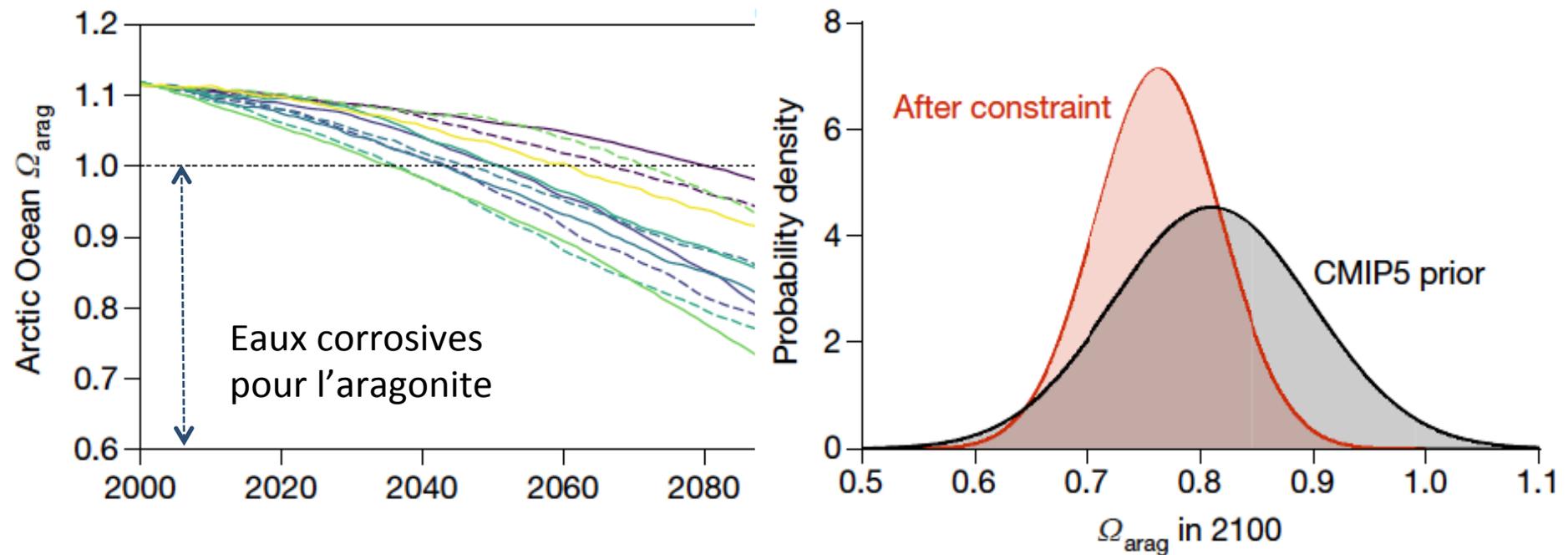


- ✦ Relation forte entre densité de surface, formation d'eaux profondes arctiques et stockage de carbone anthropique

(Terhaar et al. Nature 2020)

(1) Réduction des incertitudes des projections à l'échelle régionale

- ◆ L'océan Arctique est particulièrement vulnérable à l'acidification
- ◆ Les projection futures sont très incertaines – en particulier en profondeur



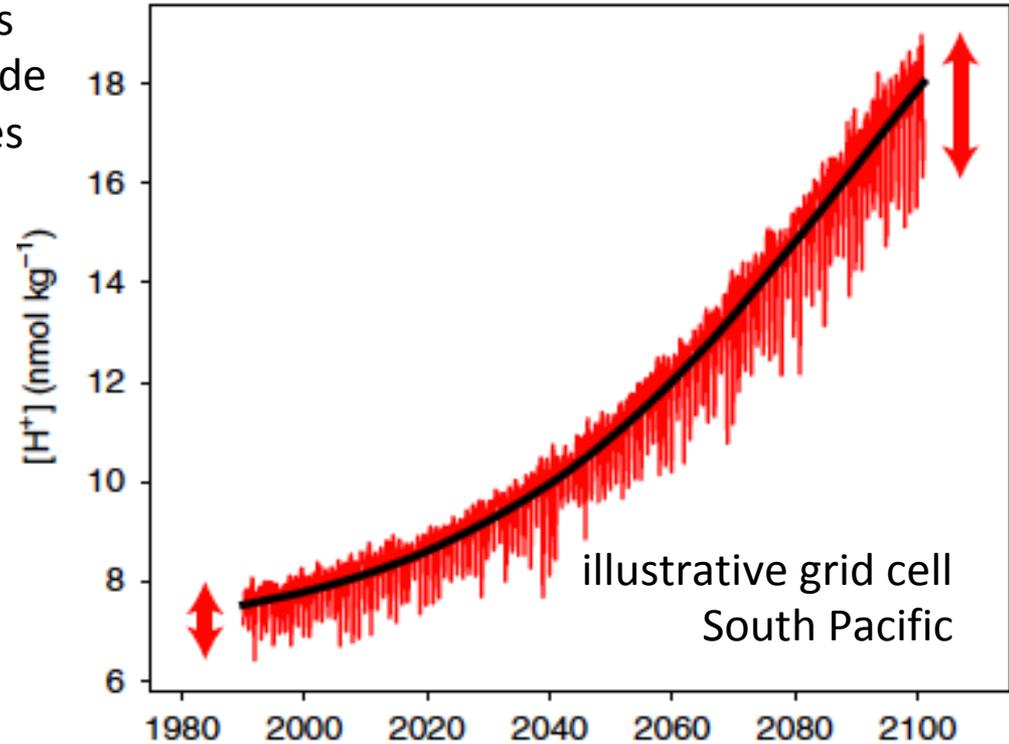
- ◆ Acidification **plus sévère** après **réduction de l'incertitude** via une contrainte émergente

(Terhaar et al. Nature 2020)

(2) Prise en compte des variations **journalières et saisonnières**

★ **Amplification du cycle saisonnier** de la concentration en $[H^+]$ de +80% en 2100

Les changements de saisonnalité projetés auraient tendance à exacerber les effets de l'augmentation de $[H^+]$ sur les organismes marins au cours de été.



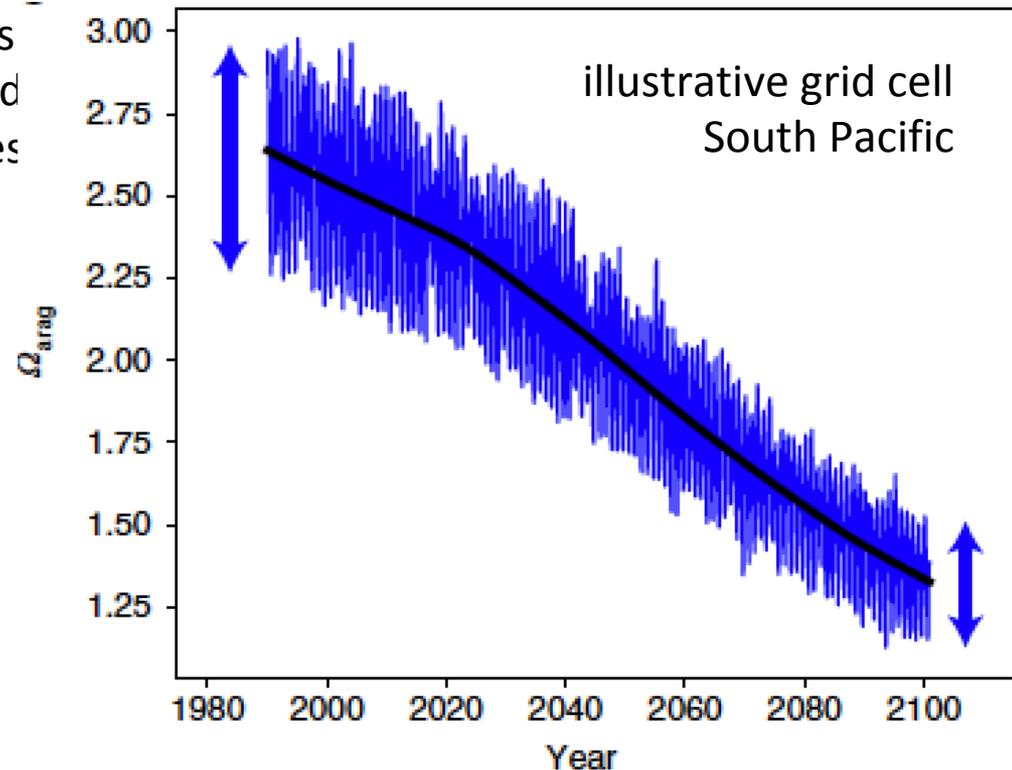
(Kwiatkowski and Orr, Nature Geosc., 2018)

(2) Prise en compte des variations **journalières et saisonnières**

- ★ **Amplification du cycle saisonnier** de la concentration en $[H^+]$ de +80% en 2100

Les changements de saisonnalité projetés auraient tendance à exacerber les effets de l'augmentation de $[H^+]$ sur les organismes marins au cours de été.

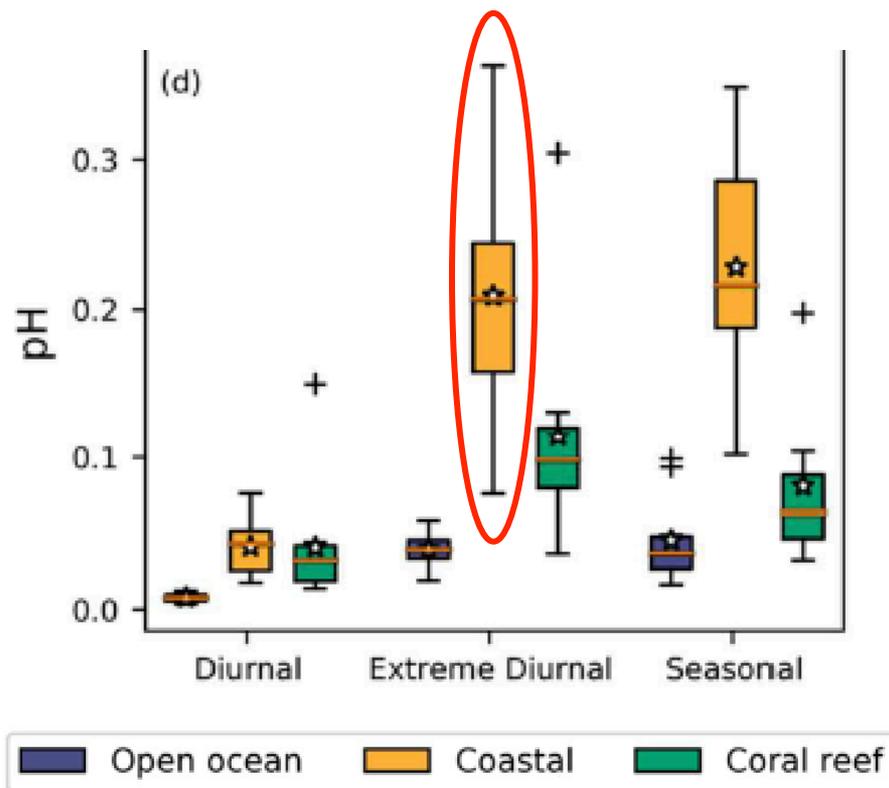
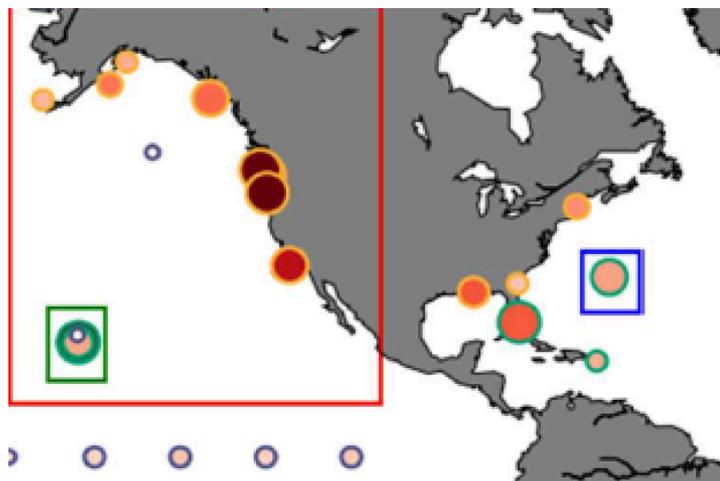
- ★ **Atténuation du cycle saisonnier de la saturation en aragonite** (sauf dans les subtropiques)



(Kwiatkowski and Orr, Nature Geosc., 2018)

(2) Prise en compte des variations **journalières** et **saisonnnières**

- ★ **Amplification du cycle saisonnier** de la concentration en $[H^+]$ de +80% en 2100
- ★ **Les cycles diurnes du pH peuvent être de très grande amplitude** (0.1 à 0.4 unité pH en site côtier)

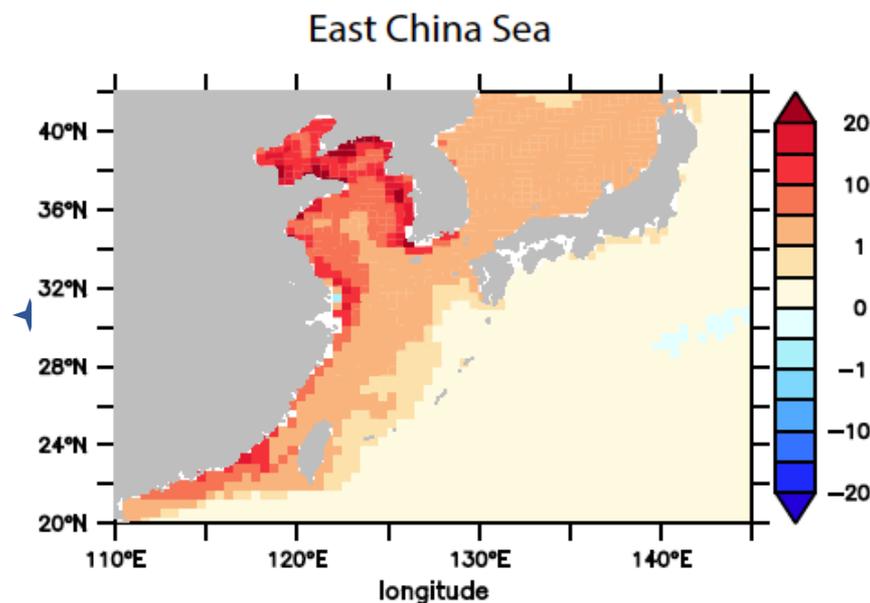


(Torres et al. GRL 2021)

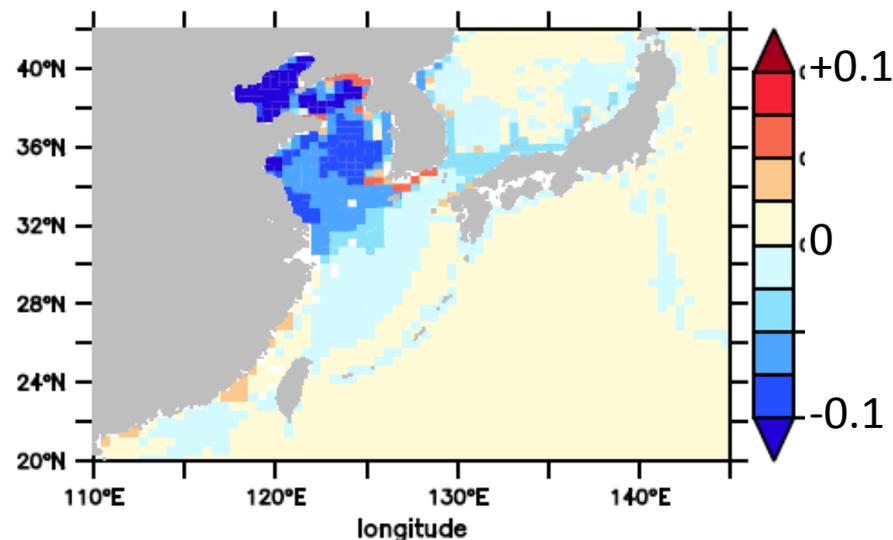
(3) Rôle des autres facteurs de l'acidification - **apports continentaux**

✦ **Amplification de l'acidification en zone côtière** – apports de nitrates / phosphates

Les apports de nutriments par les fleuves conduisent à une augmentation de la production biologique et à une exacerbation de l'acidification de fond – jusqu'à -0.1 unité pH en Mer de Chine Orientale



Production Phytoplanctonique
(liée à l'apport fluvial de 1970 à 2000)



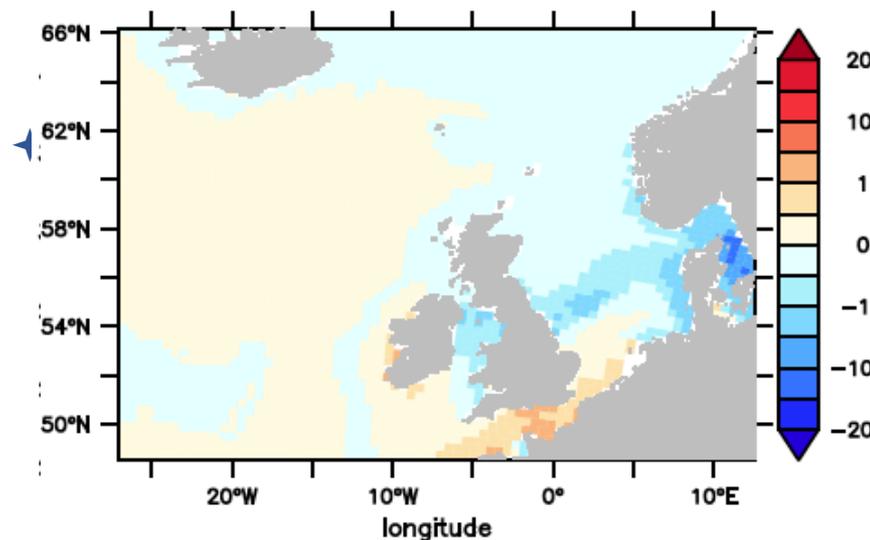
Acidification des eaux de fond
(liée à l'apport fluvial de 1970 à 2000)

(3) Rôle des autres facteurs de l'acidification - **apports continentaux**

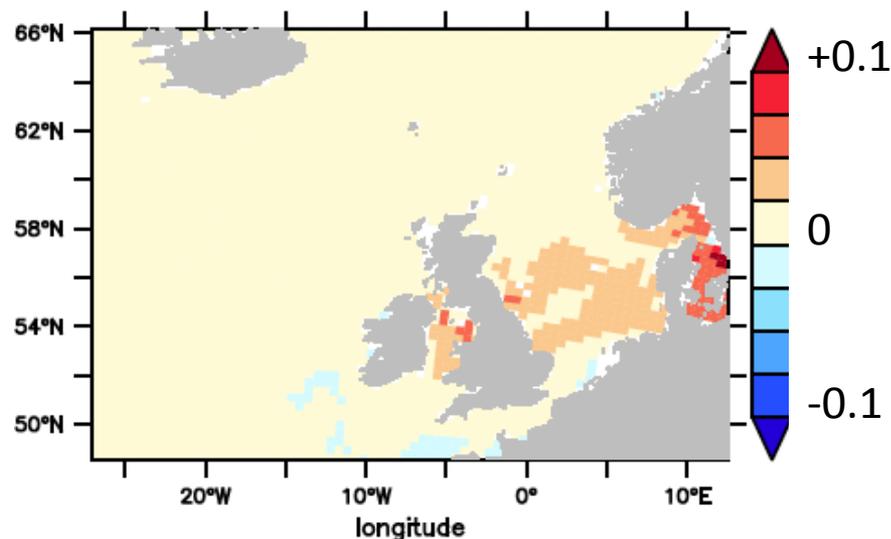
✦ **Amplification de l'acidification en zone côtière** – apports de nitrates / phosphates

Effets modérés sur la façade Ouest Européenne
Modélisation à plus haute résolution nécessaire.

North Sea



Production Phytoplanctonique
(liée à l'apport fluvial de 1970 à 2000)



Acidification des eaux de fond
(liée à l'apport fluvial de 1970 à 2000)

Quelques mot de conclusions

Projections / Régionalisation / Cartographie

- Scénarios d'acidification et modélisation du Système Terre
- Focus sur certaines zones spécifiques (eg. Océan Arctique)
- Au service de la communauté étudiant les impacts de l'acidification
- Valorisation dans le rapport du GIEC (AR6 WG1)
- Outil de visualisation sur le web

Un grand merci à : James Orr, Marion Gehlen, Patrick Brockman, Jorge Martinez-Rey, Jens Terhaar, Timothée Bourgeois, Lester Kwiatkowski, Olivier Torres, les groupes de modélisation du climat / CMIP, ...

Valorisations des résultats

Hopkins, F.E., et al. (2020). *Proceedings of the Royal Society* 476, 20190769.

Kwiatkowski, L., and Orr, J.C. (2018). *Nature Climate Change* 1.

Kwiatkowski, L., Torres, O., Bopp, L., et al. (2020). *Biogeosciences* 17, 3439–3470.

Terhaar, J., Orr, J.C., Gehlen, M., Ethé, C., and Bopp, L. (2019). *Biogeosciences* 1–36.

Terhaar, J., Orr, J.C., Ethé, C., Regnier, P., and Bopp, L. (2019). *Global Biogeochemical Cycles* 33, 1048–1070.

Terhaar, J., Tanhua, T., Stöven, T., Orr, J.C., and Bopp, L. (2020a). *Journal of Geophysical Research: Oceans* 125, e2020JC016124.

Terhaar, J., Kwiatkowski, L., and Bopp, L. (2020b). *Nature* 582, 379–383.

Terhaar, J., Lauerwald, R., Regnier, P., Gruber, N., and Bopp, L. (2021). *Nature Communications* 12, 169.

Torres, O., Kwiatkowski, L., Sutton, A.J., Dorey, N., and Orr, J.C. (2021). *Geophysical Research Letters* 48, e2020GL090228.

Dans le dernier rapport du GIEC (AR6 WGI)

Contributing Authors (Chapter 5) : L. Bopp , L. Kwiatkowski, J. Terhaar

Plusieurs publications utilisées / référencées

