

# Suivi décennal du cycle du CO<sub>2</sub> à partir de stations d'observations côtières fixes

16 septembre 2021

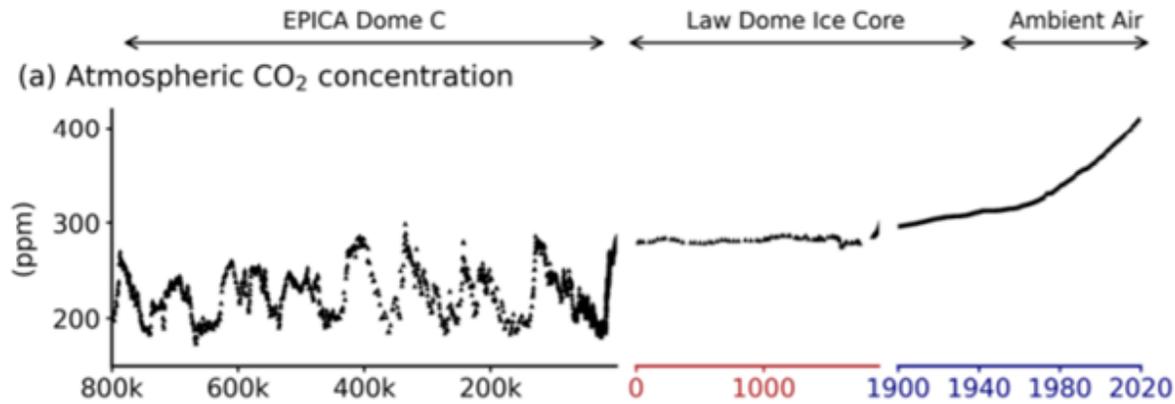
**Jean-Philippe Gac**, Pierre Marrec, Thierry Cariou, Emilie Grosstefan, Eric Macé,  
Peggy Rimmelin-Maury, Marc Vernet et Yann Bozec

Station biologique de Roscoff | Sorbonne Université | UMR 7144 AD2M | Equipe EDYCO



## Introduction

Contexte : le changement climatique et l'augmentation des gaz climatiquement actifs dans l'atmosphère.

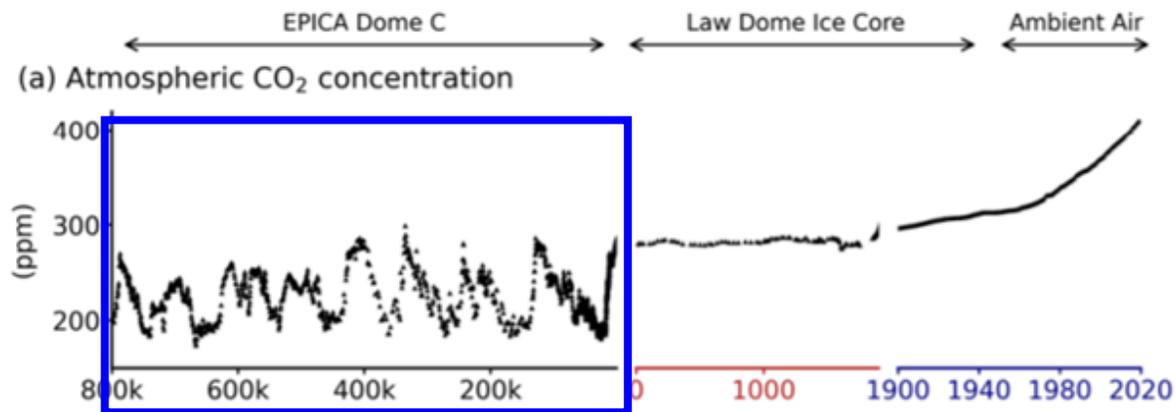


Reconstitution du CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> atmosphérique au cours du temps (Rapport Giec 2021)

## Introduction

Contexte : le changement climatique et l'augmentation des gaz climatiquement actifs dans l'atmosphère.

**Au cours des  
800.000 dernières  
années**

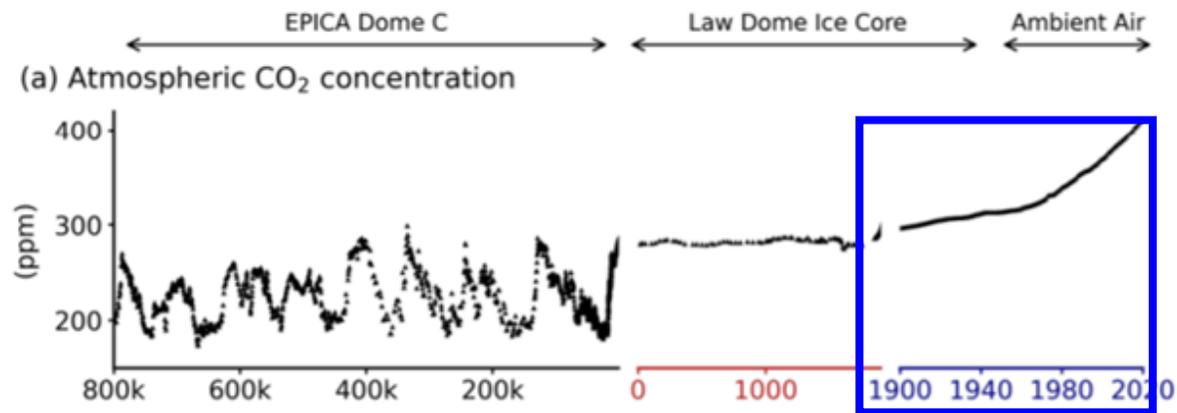


Reconstitution du CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> atmosphérique au cours du temps (Rapport Giec 2021)

- Stabilité du CO<sub>2</sub> atmosphérique [180 – 280] ppm.
- Corrélations entre gaz atmosphériques et température.

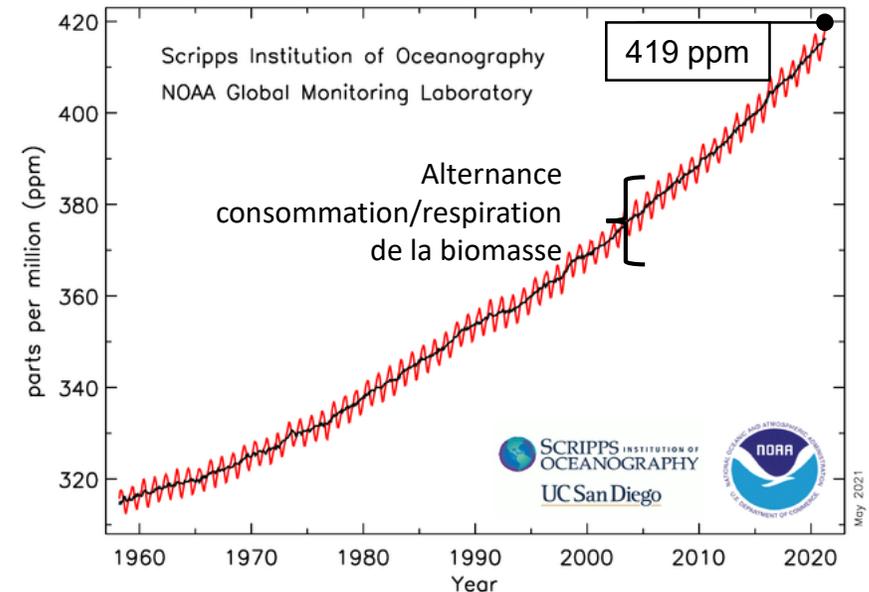
## Introduction

Contexte : le changement climatique et l'augmentation des gaz climatiquement actifs dans l'atmosphère.



Reconstitution du CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub> atmosphérique au cours du temps (Rapport Giec 2021)

## Depuis l'ère préindustriel



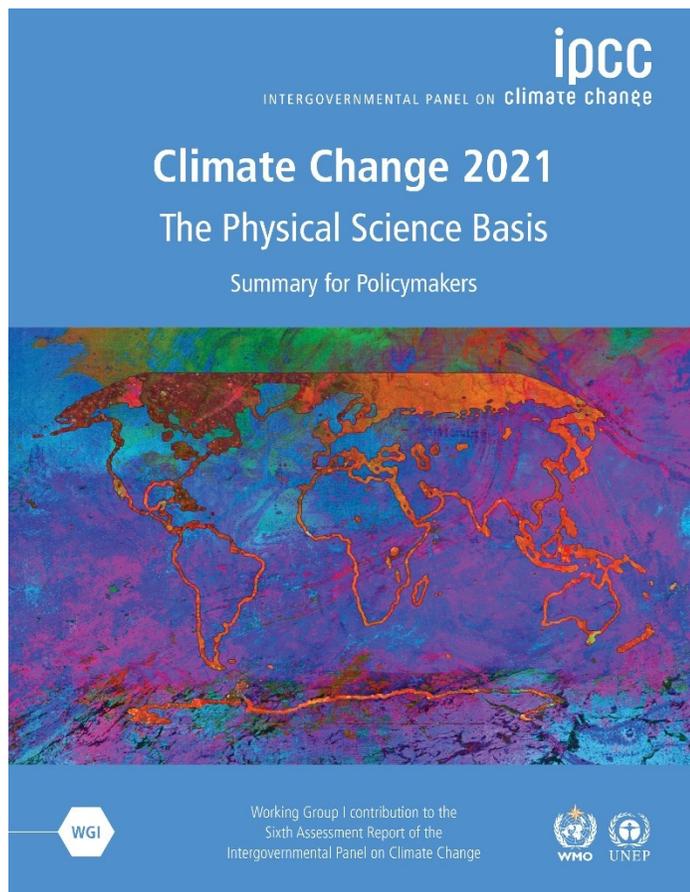
Augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique, de 280 ppm (1750) à 419 ppm (2021)

### Lien avec les apports anthropiques

- Combustibles fossiles
- Productions de ciments
- Modification des sols

## Introduction

# Conséquences : les scénarios du GIEC 2021

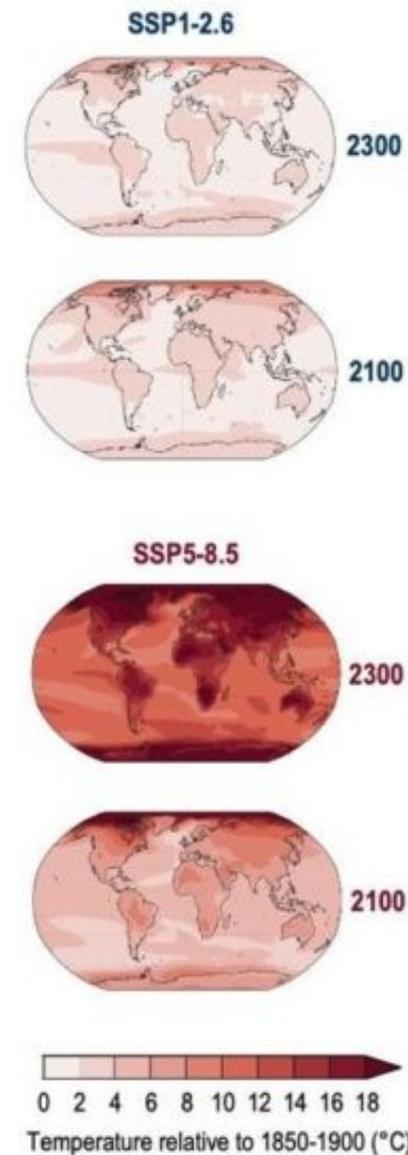


- **Conséquences sur la température :**

- Diminutions des émissions → + [1,5 2,5]°C
- Continuité de la trajectoire historique → +4°C

- **Conséquences climatiques :**

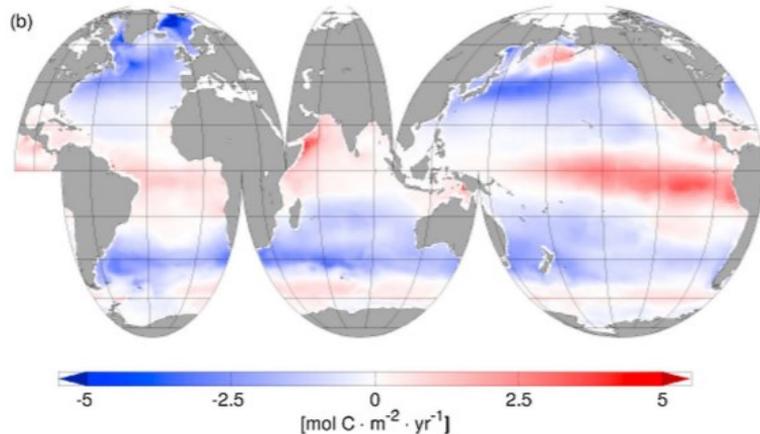
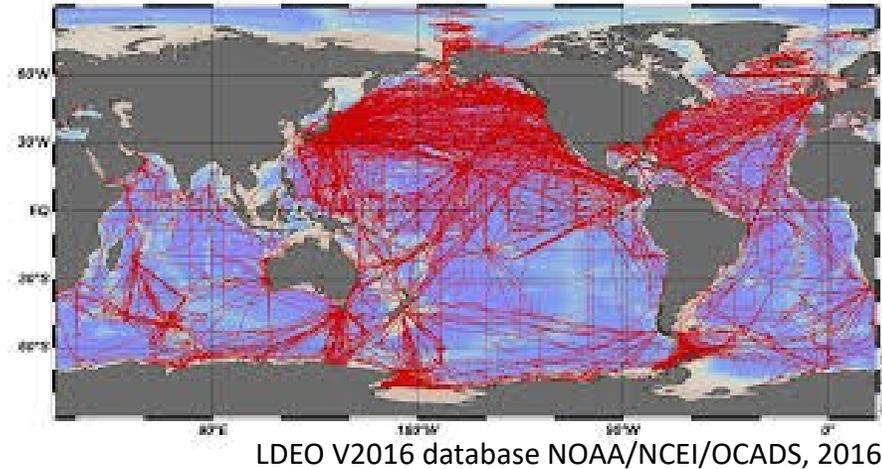
- Vagues de chaleurs
- Augmentation du niveau marin
- Intensification des épisodes météo et climatiques extrêmes inégalement répartis...



Estimation de la température mondiale en 2100 et 2300 (GIEC 2021)

## Introduction

# L'étude des gaz climatiquement actifs dissous



Flux net de  $\text{CO}_2$  ( $\text{mol C m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ ) (Landschützer *et al.*, 2014)

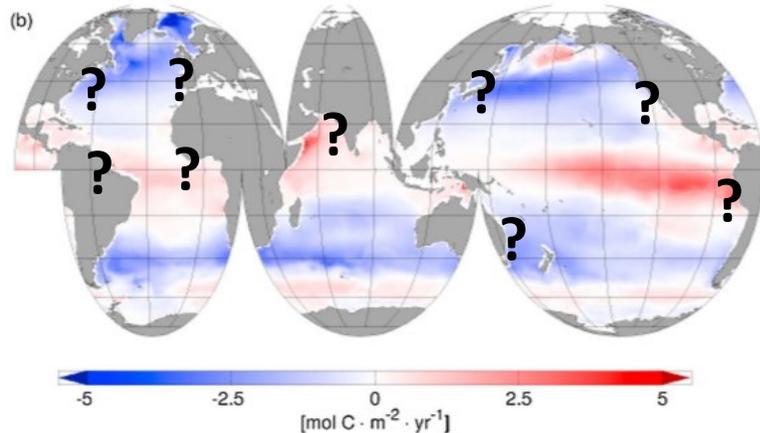
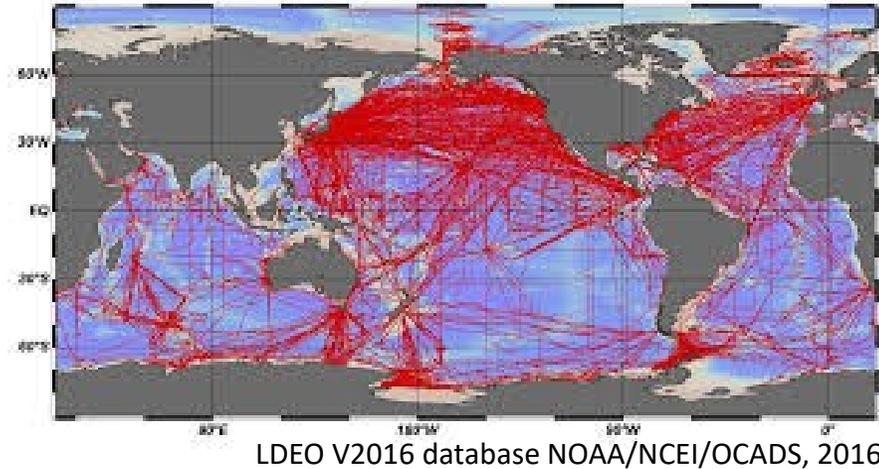
## L'océan

- Puits de  $\text{CO}_2$
- Absorbe  $\frac{1}{4}$  des émissions anthropiques.

Une bonne **connaissance des flux air-mer de  $\text{CO}_2$**  dans l'océan global grâce à une **grande base de donnée acquise** ces dernières décennies...

## Introduction

# L'étude des gaz climatiquement actifs dissous



Flux net de CO<sub>2</sub> (mol C m<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>) (Landschützer *et al.*, 2014)

## L'océan

- Puits de CO<sub>2</sub>
- Absorbe ¼ des émissions anthropiques.

Une bonne **connaissance des flux air-mer de CO<sub>2</sub>** dans l'océan global grâce à une **grande base de donnée acquise** ces dernières décennies...

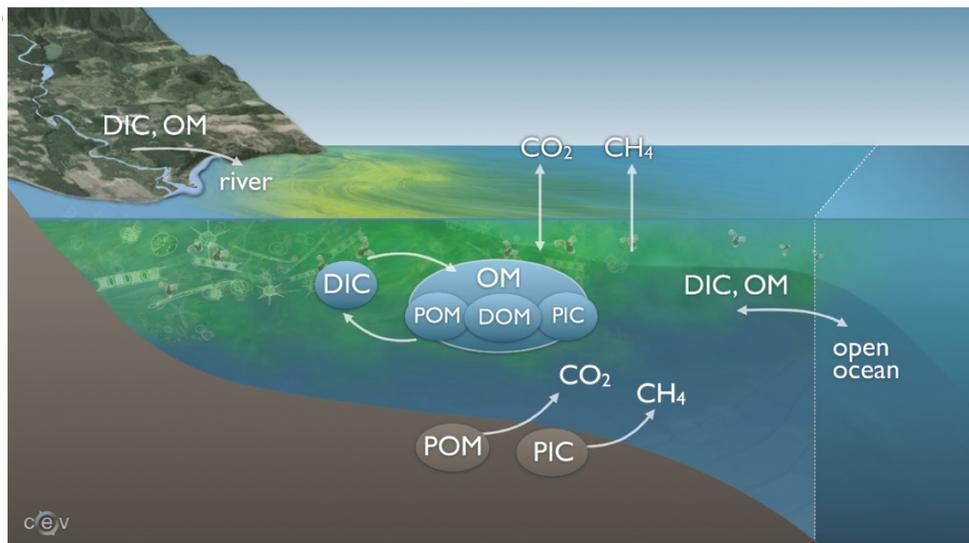
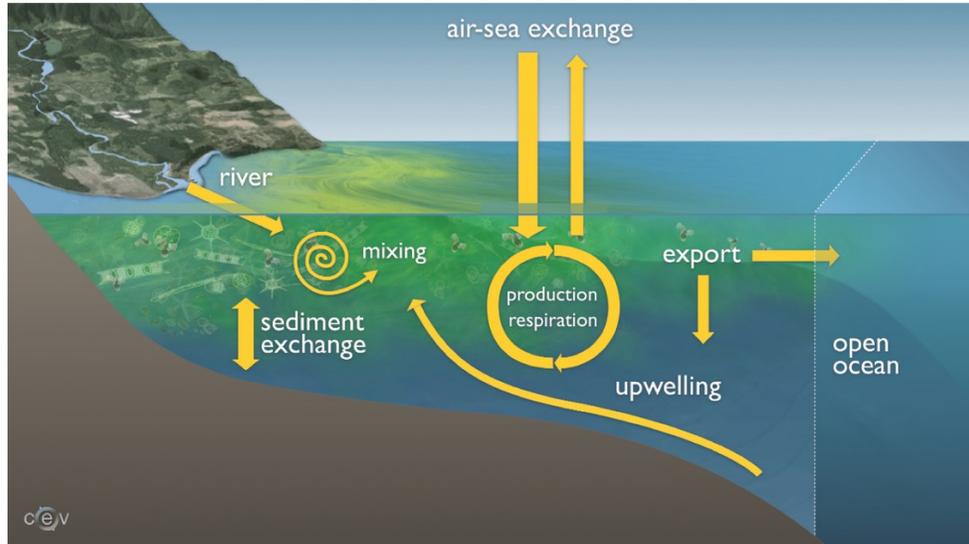
...mais de **fortes incertitudes** des flux de CO<sub>2</sub> côtiers.

## Introduction

### L'étude des écosystèmes côtiers encore mal définis

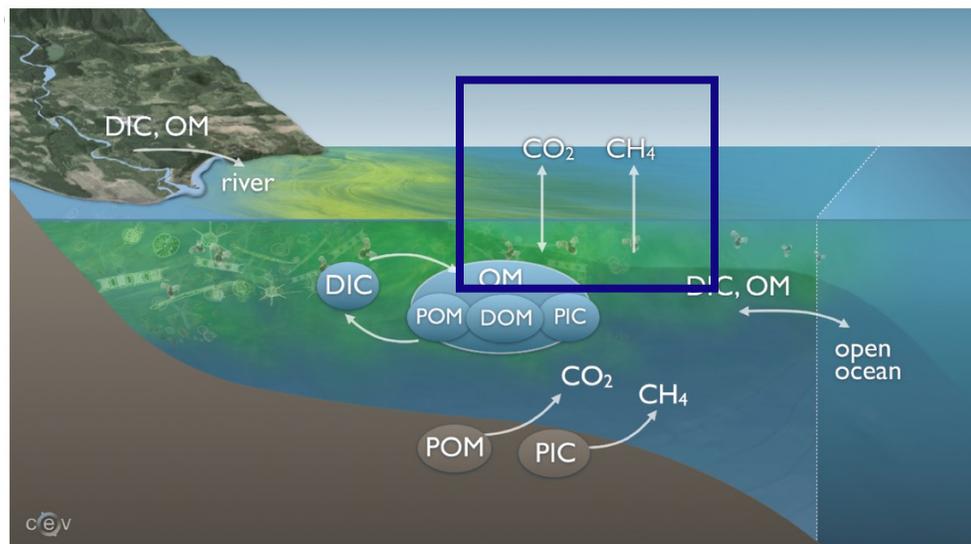
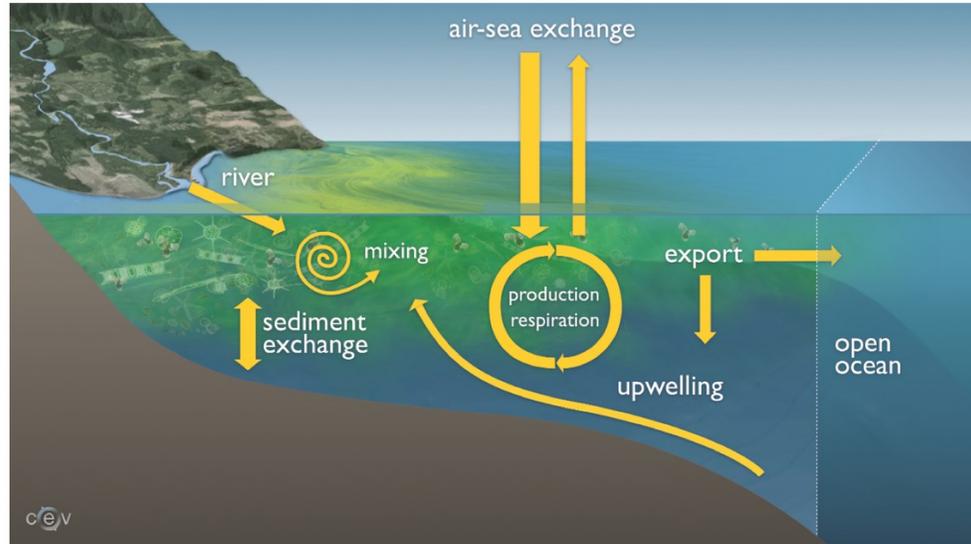
## Les écosystèmes côtiers

- 7 % de l'océan ouvert
- Très dynamique (variabilité liée au marnage, cycles diurnes, saisonniers, interannuels)
- Interface entre mer, air et continents
- 15/30% de la production primaire
- Très diversifiés (polaire, tropical, mangroves, estuaires...)
- Vulnérables aux forçages anthropiques (eutrophisation, acidification...)



## Introduction

### L'étude des écosystèmes côtiers encore mal définis



## Les écosystèmes côtiers

- 7 % de l'océan ouvert
- Très dynamique (variabilité liée au marnage, cycles diurnes, saisonniers, interannuels)
- Interface entre mer, air et continents
- 15/30% de la production primaire
- Très diversifiés (polaire, tropical, mangroves, estuaires...)
- Vulnérables aux forçages anthropiques (eutrophisation, acidification...)

**+ de données pour alimenter les modèles de prévision  
+ de données à longue et courte échelle temporelle**

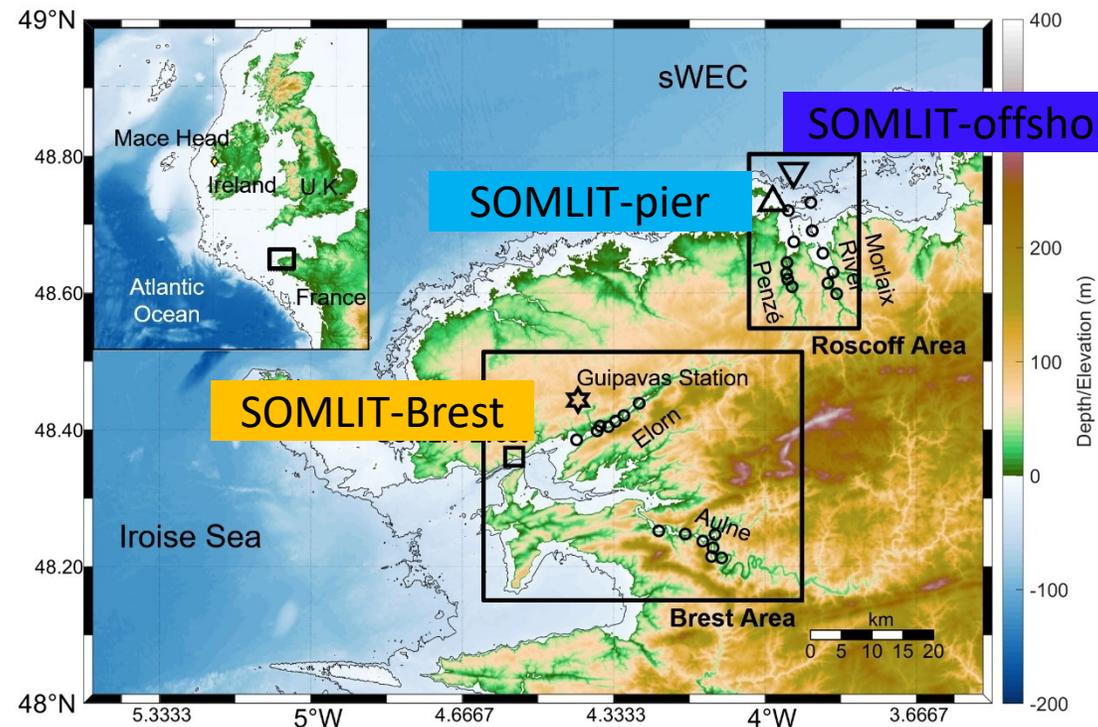
## Problématiques

- Comment **varie** les **paramètres physico-chimiques et le système du CO<sub>2</sub>** entre des stations proches ?
- Observe-t-on des **tendances sur 10 ans** d'observations ?
- Quels sont les **facteurs influençant** ces tendances ?
- Est-ce que ces tendances sont **comparables** à d'autres stations/d'autres périodes ?

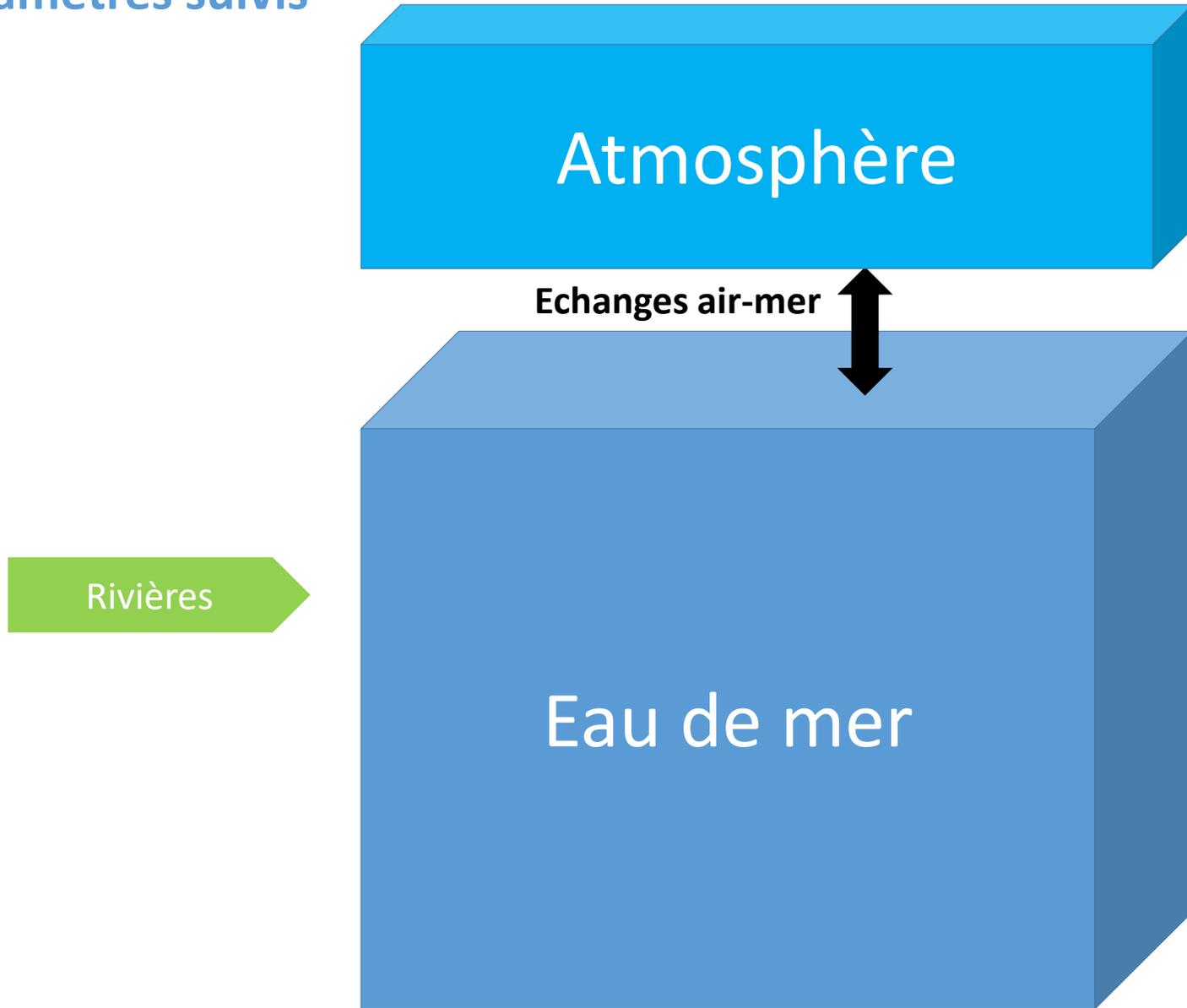
## Matériel et Méthode

### Milieu d'étude

Station d'étude	Caractéristiques	Distance à la côte	Influence terrigène (Lessivage...)	Influence des rivières
<b>SOMLIT-pier (Roscoff)</b>	Station proximale	Proche	Important	Faible
<b>SOMLIT-offshore (Roscoff)</b>	Station distale	Large	Faible	Faible
<b>SOMLIT-Brest</b>	Baie semi-fermée	Proche	Important	Important

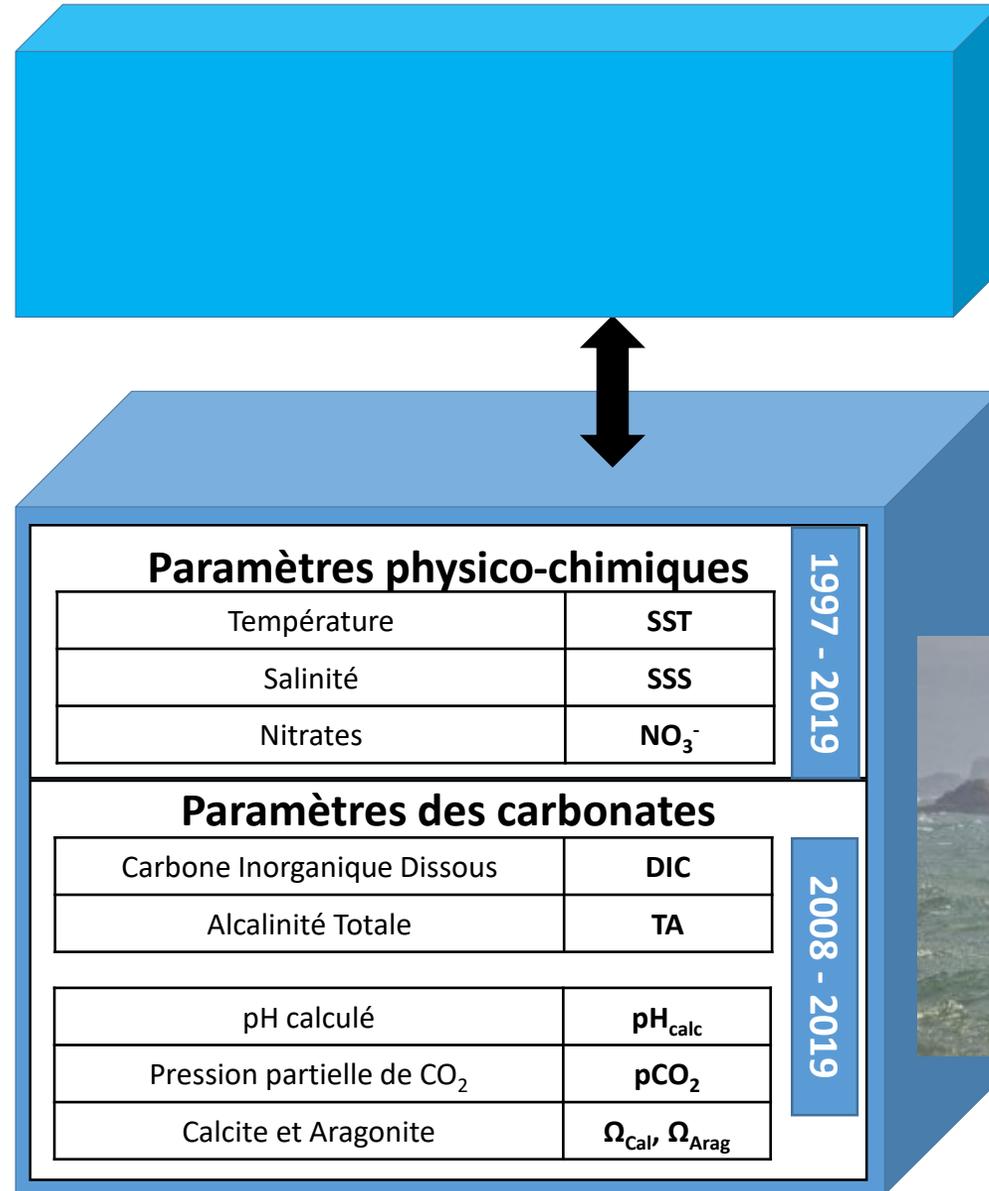


Matériel et Méthode  
Paramètres suivis



Matériel et Méthode  
Paramètres suivis

Rivières

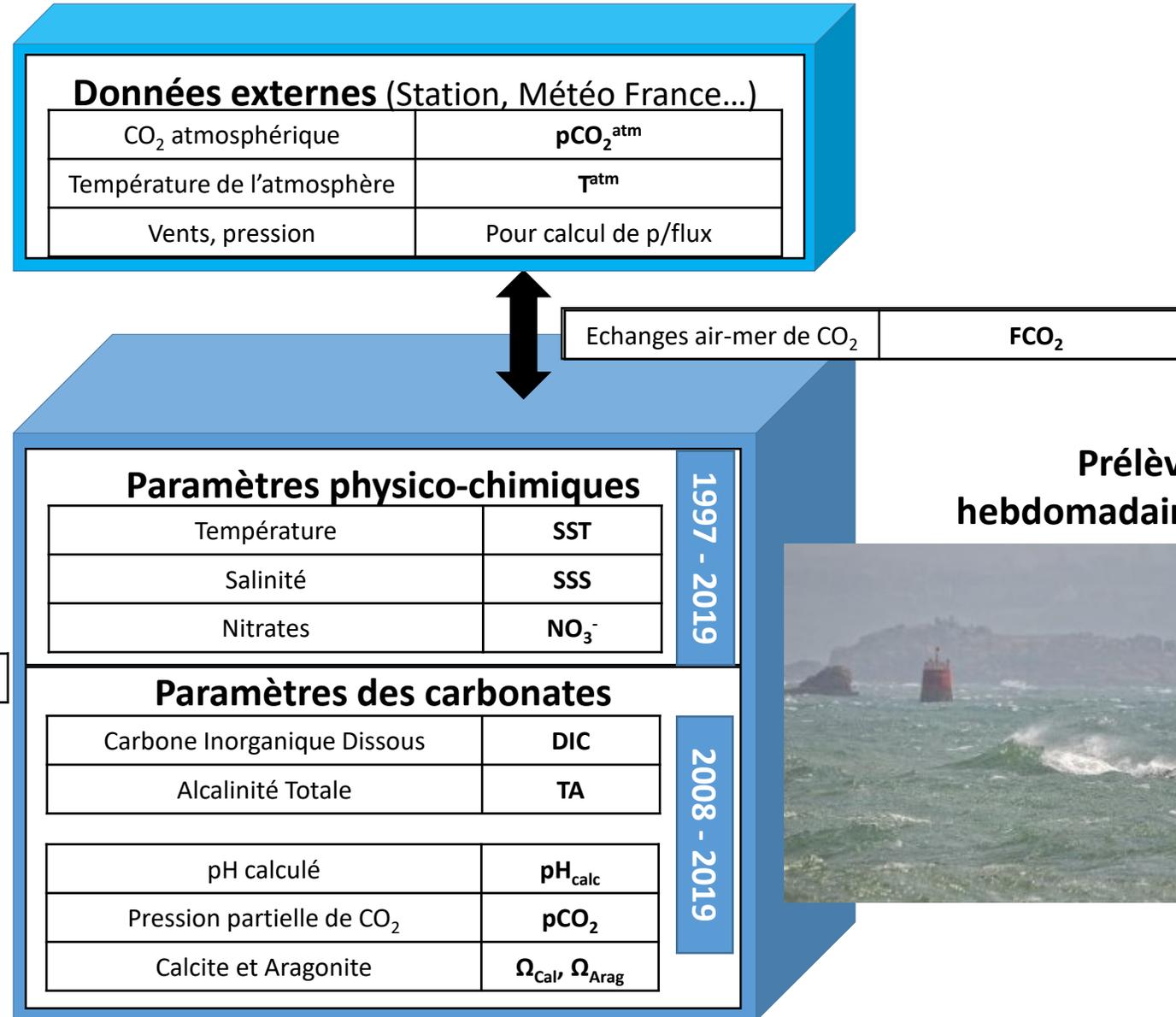


Prélèvements  
hebdomadaires/bimensuels



# Matériel et Méthode

## Paramètres suivis



Rivières

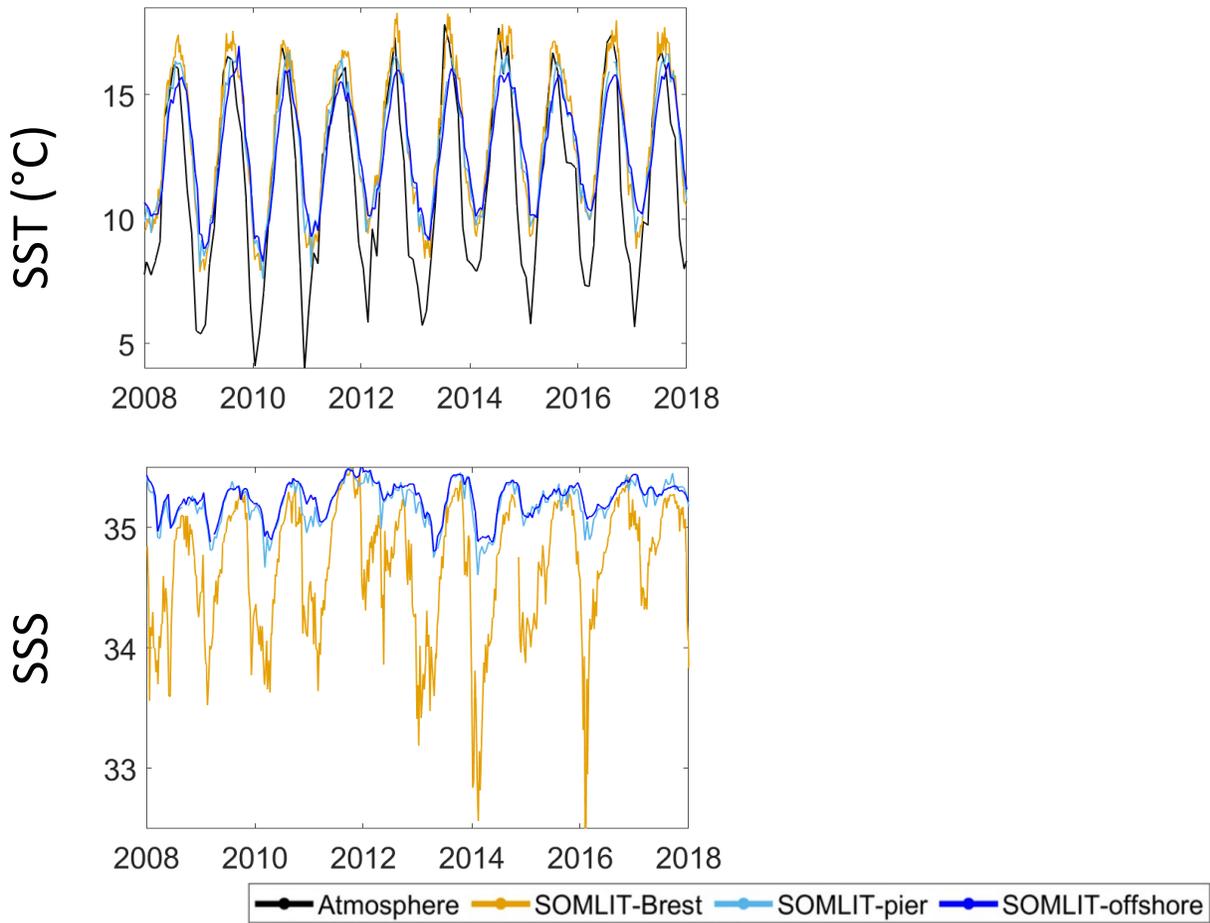
Débit de Rivière	Débit
------------------	-------

Prélèvements  
hebdomadaires/bimensuels



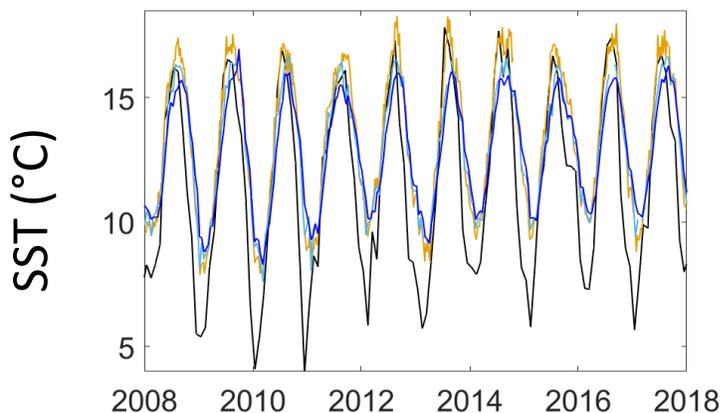
## Evolution des paramètres physiques entre 2008 et 2018

### Données brut

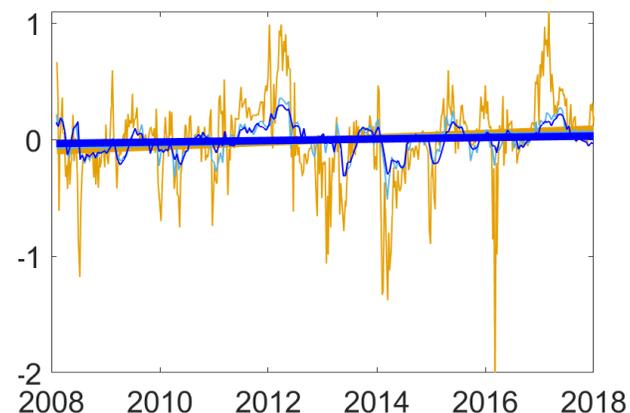
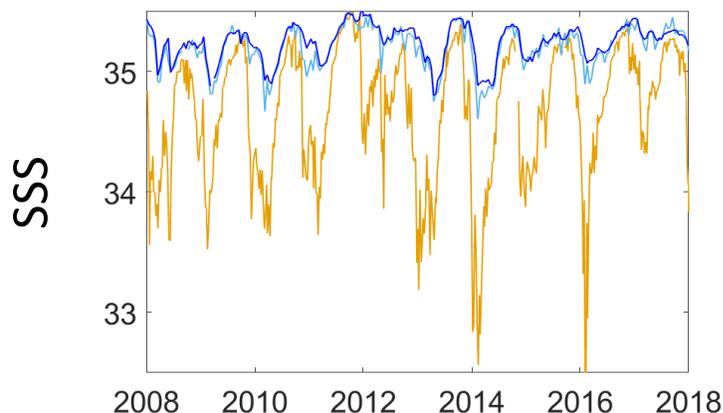
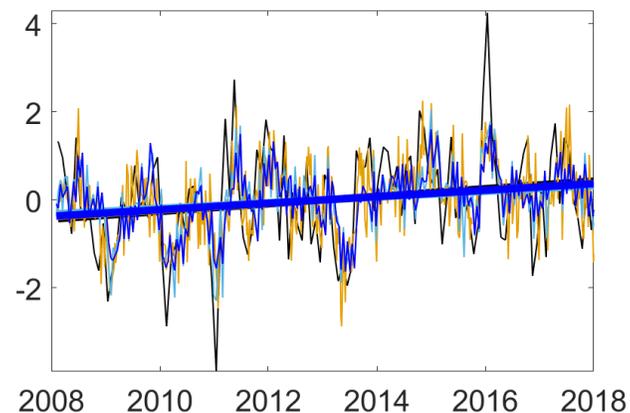


## Evolution des paramètres physiques entre 2008 et 2018

Données brut



Anomalie mensuelle +  
Régression linéaire



Tendances

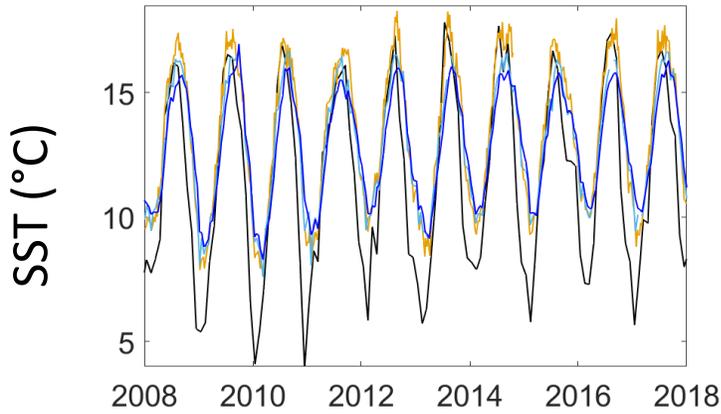
$p$ -value < 0.05

	Brest	Pier	Offshore
$T^{\text{atm}} : +0.07$			
	+0.08	+0.06	+0.07
$^{\circ}\text{C yr}^{-1}$			
Débit : x Pluviométrie : x			
	+0.02	+0.01	x
$\text{yr}^{-1}$			

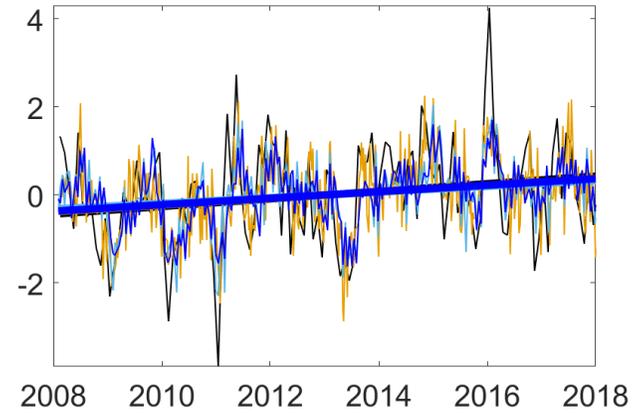
— Atmosphere — SOMLIT-Brest — SOMLIT-pier — SOMLIT-offshore

## Evolution des paramètres physiques entre 2008 et 2018

Données brut



Anomalie mensuelle +  
Régression linéaire



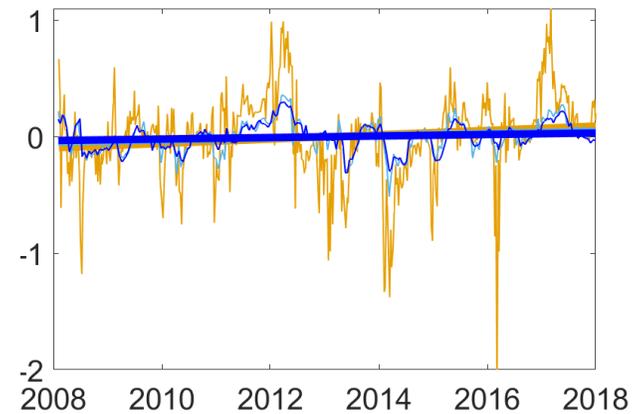
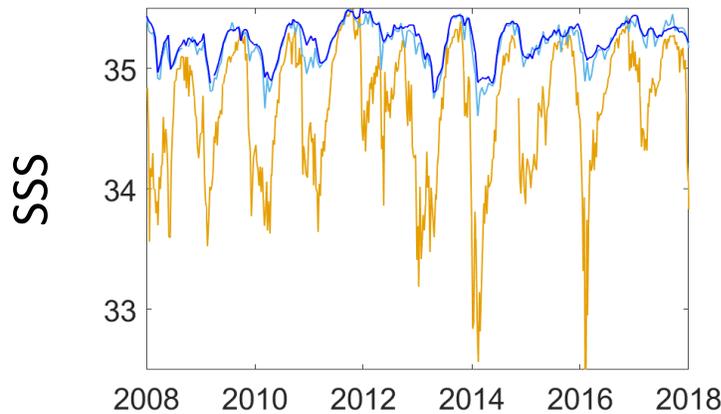
Tendances

$p$ -value < 0.05

	Brest	Pier	Offshore
$T^{\text{atm}}$ : +0.07			
+0.08	+0.06	+0.07	
$^{\circ}\text{C yr}^{-1}$			
Débit : x			
Pluviométrie : x			
+0.02	+0.01	x	
$\text{yr}^{-1}$			

Tendance **positive**  
**réchauffement**

Pas de tendance  
**stable**

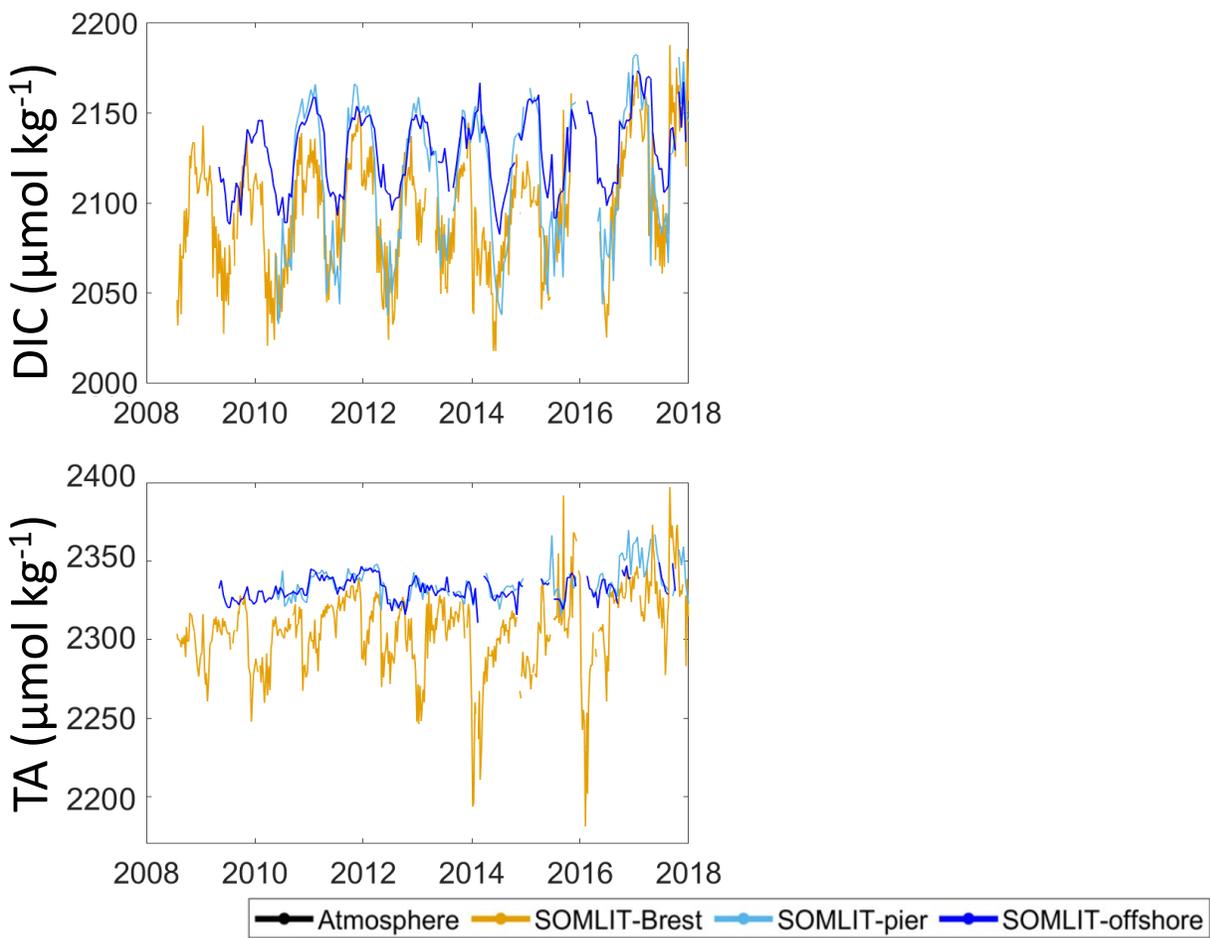


— Atmosphere — SOMLIT-Brest — SOMLIT-pier — SOMLIT-offshore

## Résultats

# Evolution des paramètres des carbonates entre 2008 et 2018

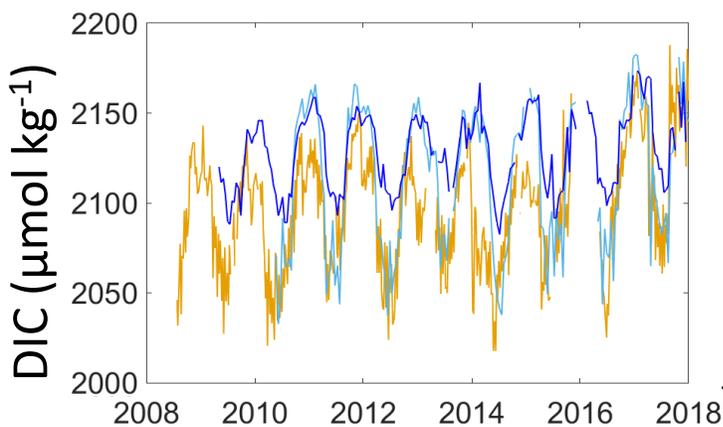
## Données brut



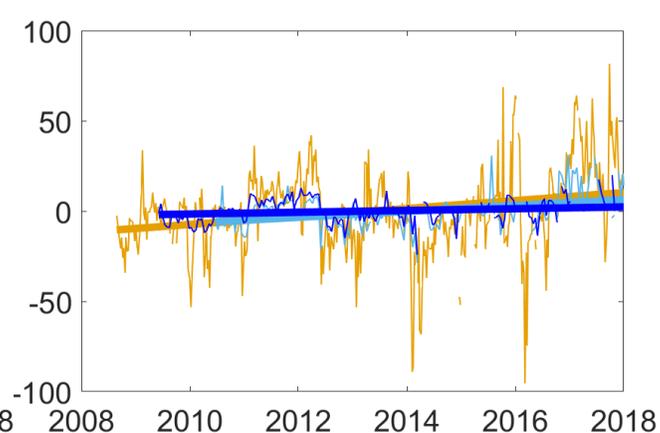
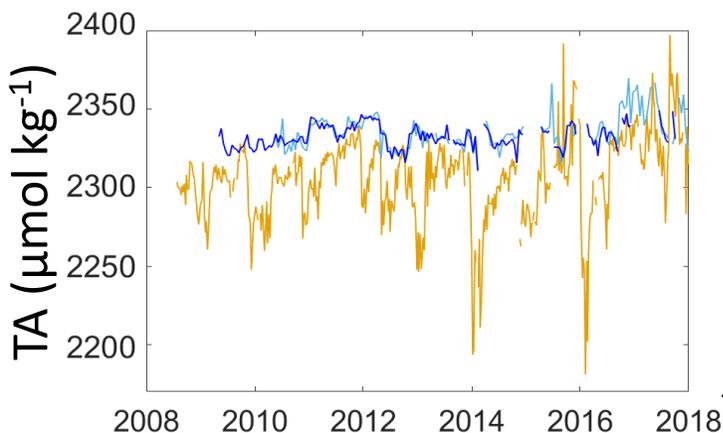
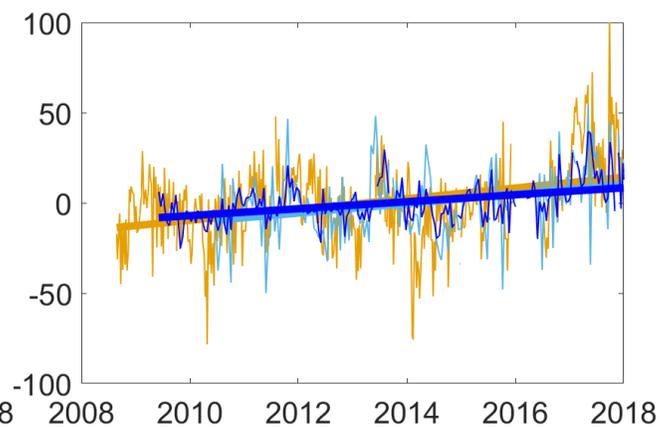
## Résultats

# Evolution des paramètres des carbonates entre 2008 et 2018

### Données brut



### Anomalie mensuelle + Régression linéaire



### Tendances

$p$ -value < 0.05

	Brest	Pier	Offshore	
	+2.98	+2.61	+1.93	Tendance <b>positive</b>
	$\mu\text{mol kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$			
	+2.21	+1.64	+0.49	Tendance <b>positive</b>
	$\mu\text{mol kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$			

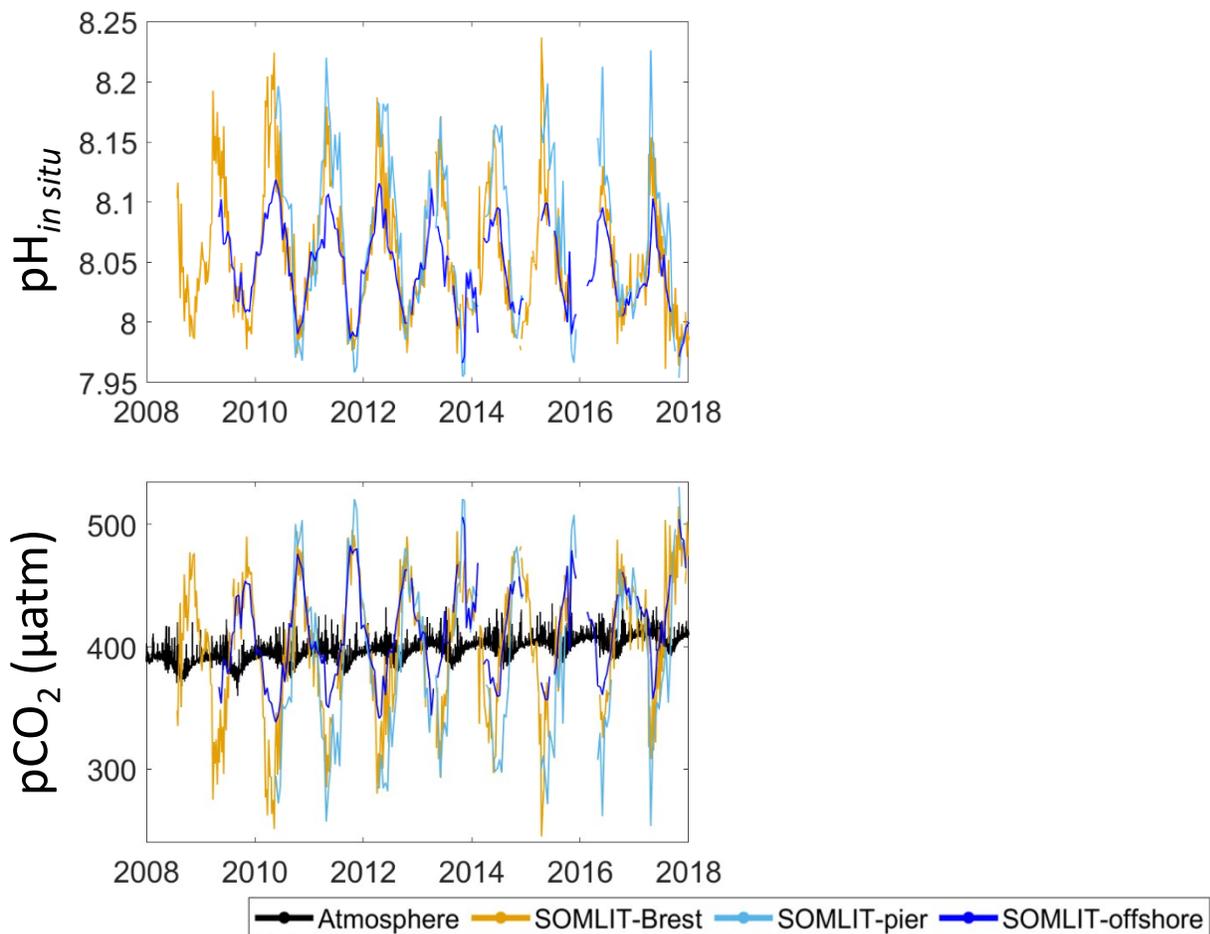
Proximal > Distal

— Atmosphere — SOMLIT-Brest — SOMLIT-pier — SOMLIT-offshore

## Résultats

# Evolution des paramètres des carbonates calculés entre 2008 et 2018

## Données brut



# Résultats

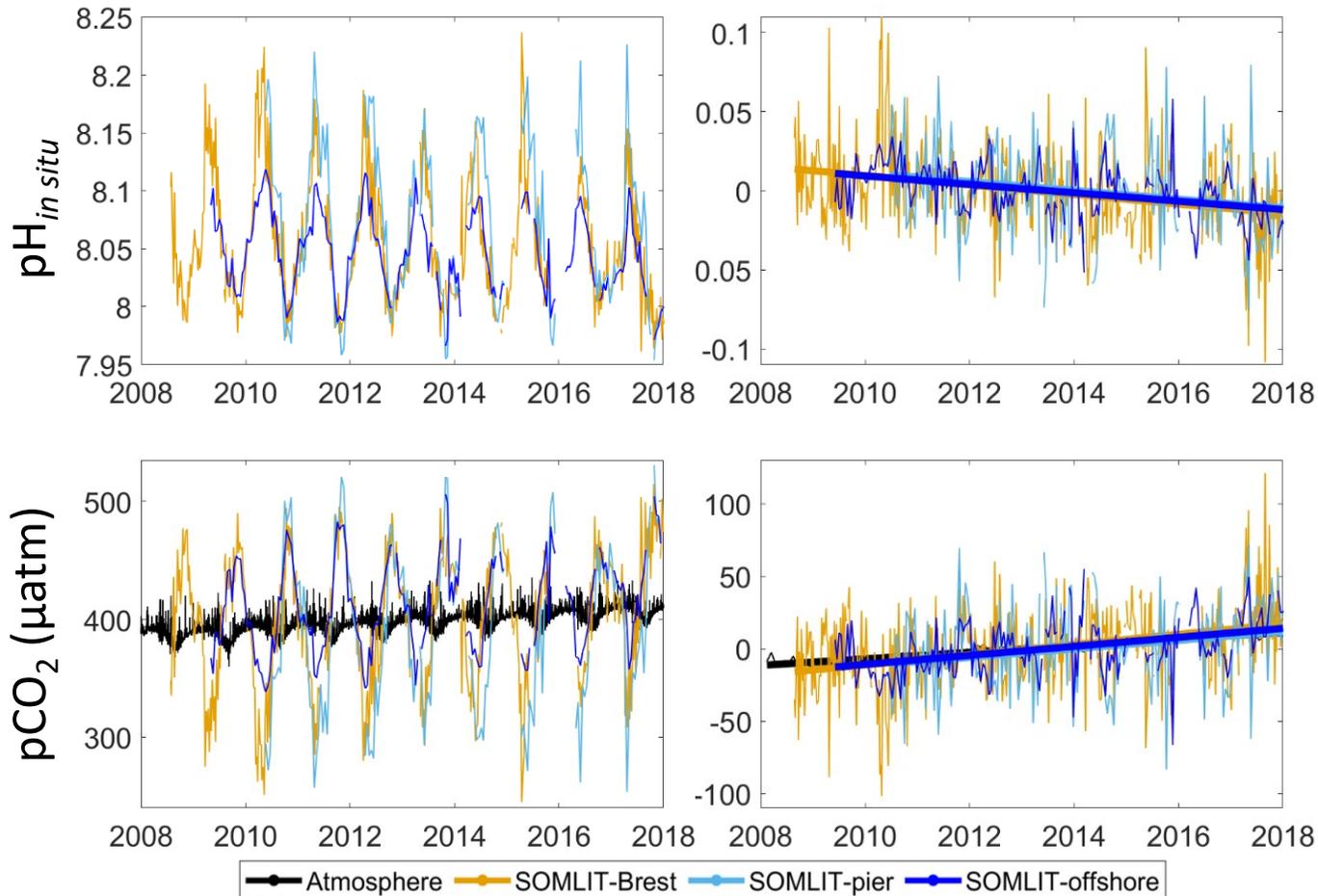
## Evolution des paramètres des carbonates calculés entre 2008 et 2018

Données brut

Anomalie mensuelle +  
Régression linéaire

Tendances

$p$ -value < 0.05



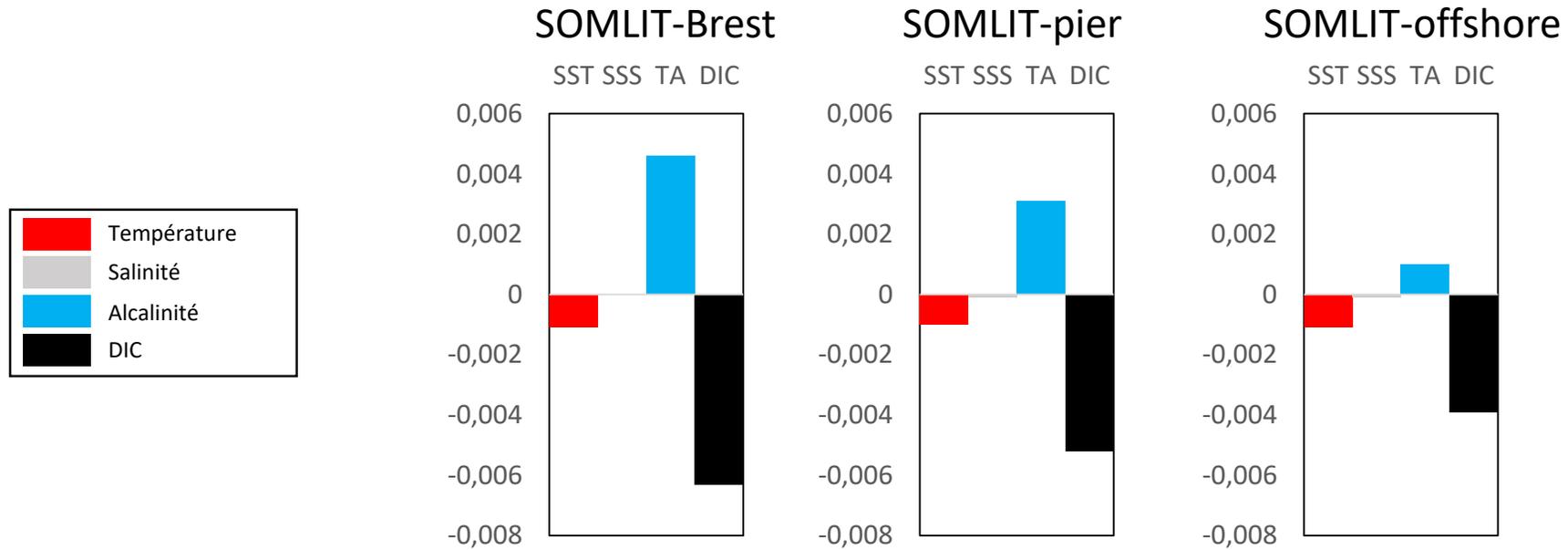
Brest	Pier	Offshore
$\Omega_{Arag} = \sim -0.005$ $\Omega_{Cal} = \sim -0.009$		
-0.0029	-0.0028	-0.0027
$yr^{-1}$		
$pCO_2^{atm}: +2.27 \mu atm yr^{-1}$ $FCO_2 = x$		
+3.52	+2.95	+3.11
$\mu atm yr^{-1}$		

Tendance **négative**  
**acidification**

Tendance **positive**

## Discussion

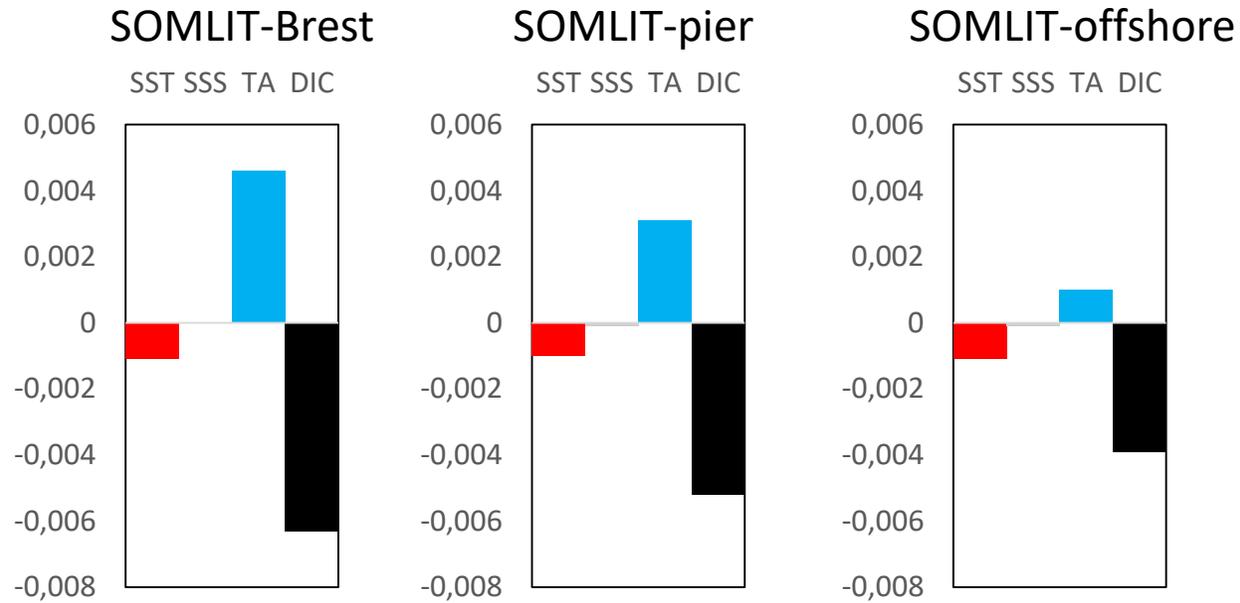
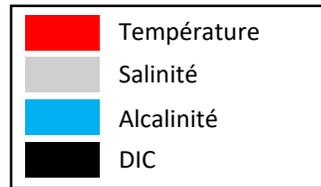
### Paramètres influençant les tendances du pH



<b>Total</b> <i>Méthode Kapsenberg et al. 2017</i>	-0.003	-0.0032	-0.0041
<b>Estimé</b> <i>Méthode anomalie mensuelle</i>	-0.0029	-0.0028	-0.0027

## Discussion

### Paramètres influençant les tendances du pH



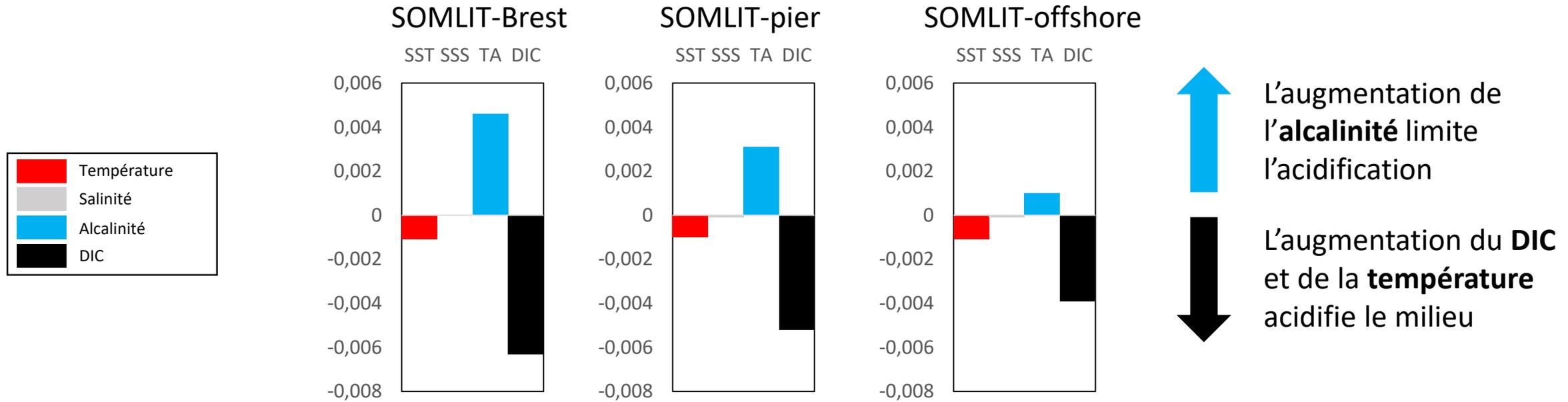
L'augmentation de l'**alcalinité** limite l'acidification

L'augmentation du **DIC** et de la **température** acidifie le milieu

<b>Total</b> <i>Méthode Kapsenberg et al. 2017</i>	-0.003	-0.0032	-0.0041
<b>Estimé</b> <i>Méthode anomalie mensuelle</i>	-0.0029	-0.0028	-0.0027

## Discussion

### Paramètres influençant les tendances du pH

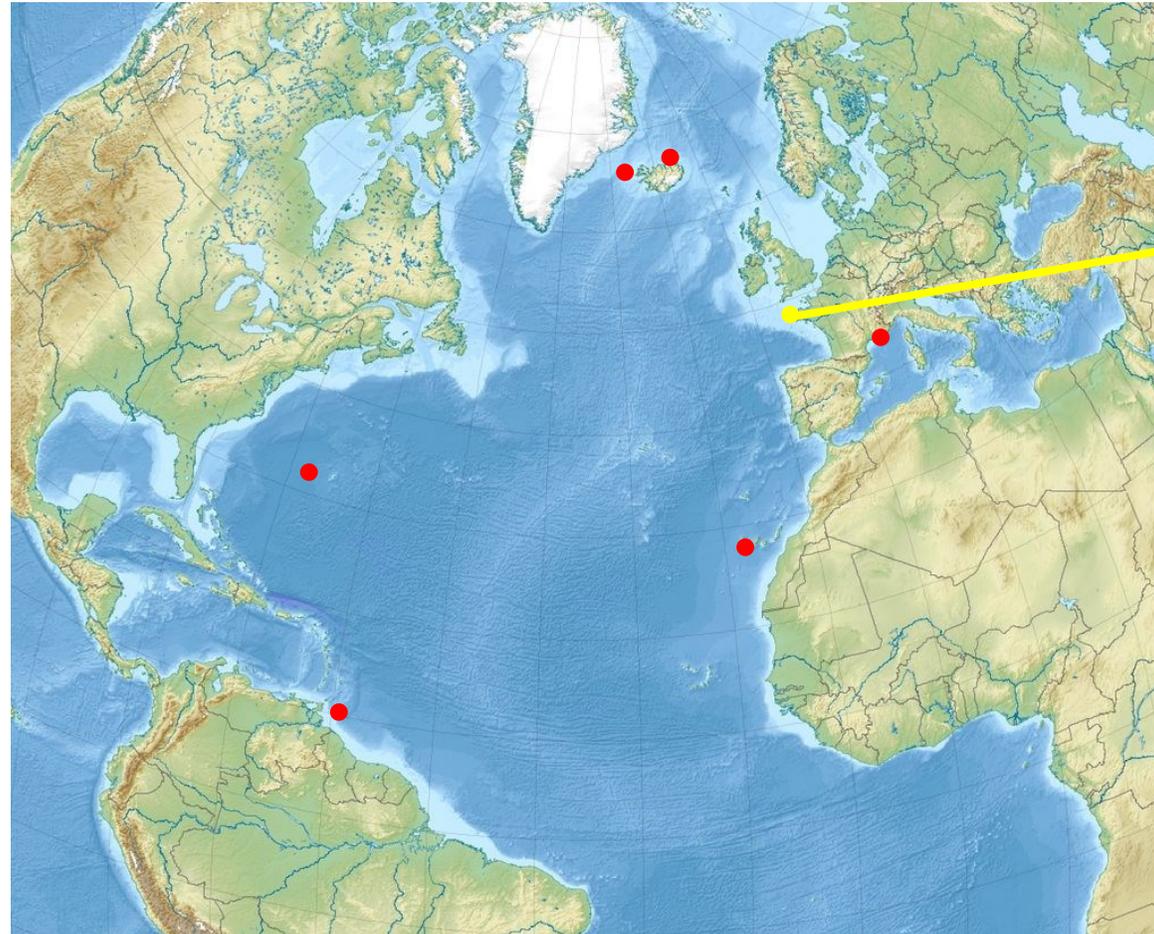


Total <i>Méthode Kapsenberg et al. 2017</i>	-0.003	-0.0032	-0.0041
Estimé <i>Méthode anomalie mensuelle</i>	-0.0029	-0.0028	-0.0027

**Les forçages de l'acidification** : ~60% lié au CO<sub>2</sub> atmosphérique, ~30% lié à la température et ~5% à la salinité.

## Discussion

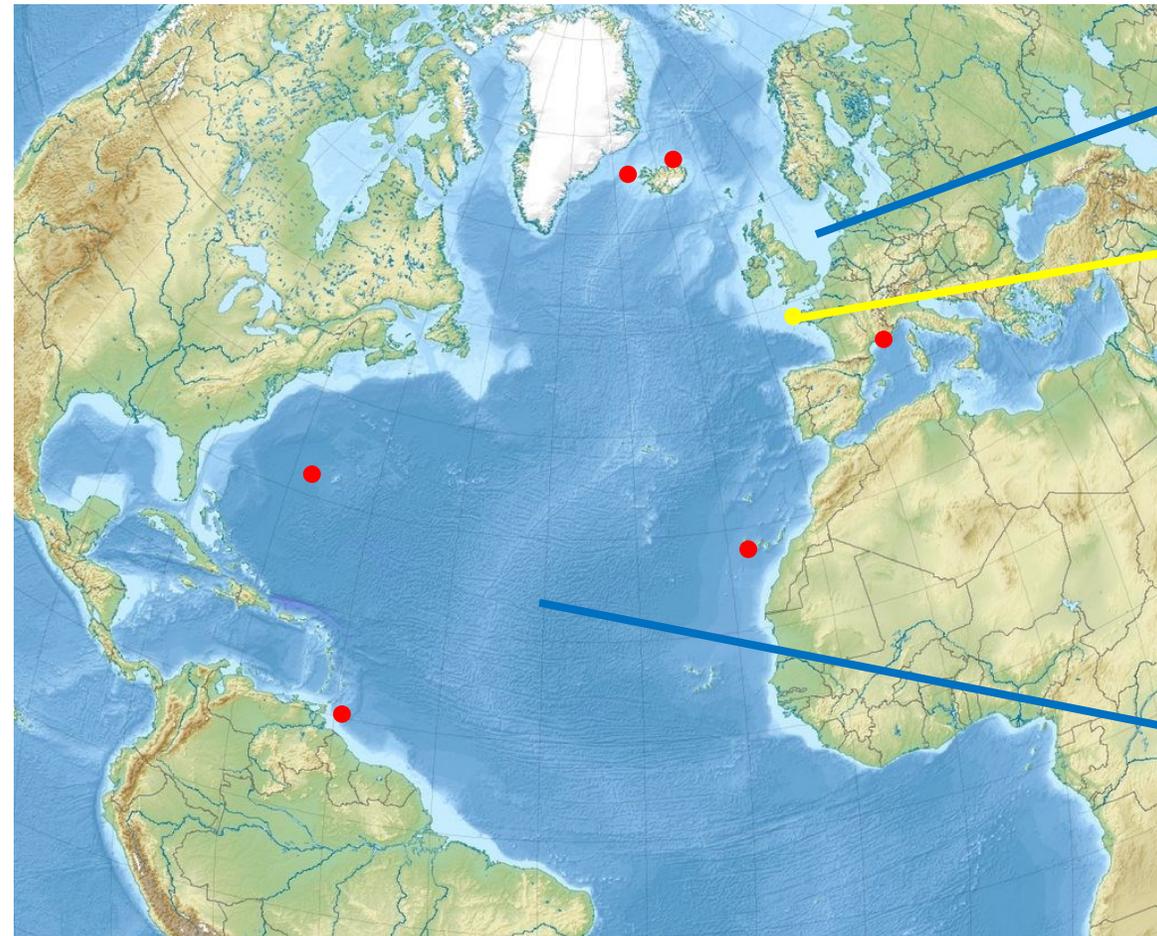
# Comparaison des tendances mondiales de pH



**Roscoff/Brest**  
 $\sim -0.0028 \text{ yr}^{-1}$   
(Cette étude)

## Discussion

# Comparaison des tendances mondiales de pH



### North Sea

-0.0022 -> -0.0035 yr<sup>-1</sup>  
(Clargo *et al.*, 2015; Ostle *et al.*, 2016)

### Roscoff/Brest

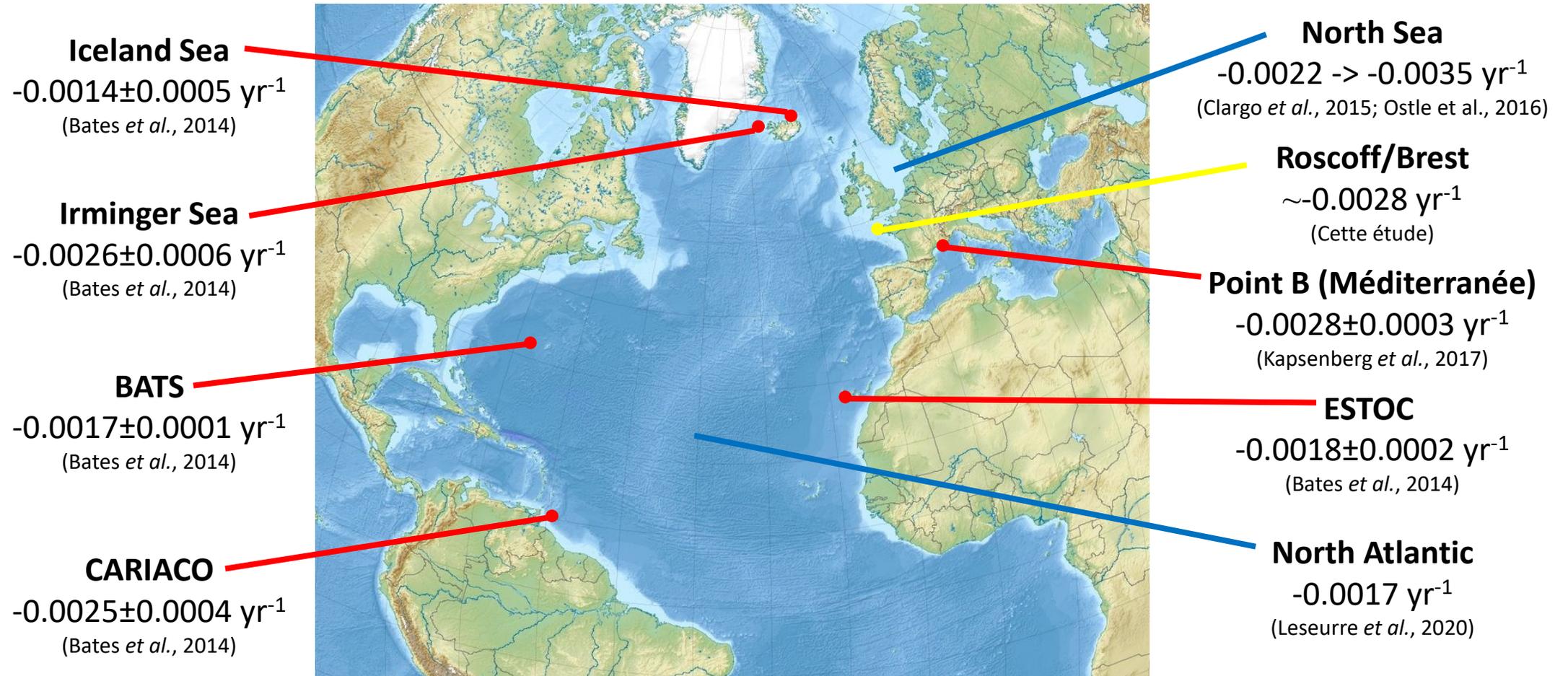
~-0.0028 yr<sup>-1</sup>  
(Cette étude)

### North Atlantic

-0.0017 yr<sup>-1</sup>  
(Leseurre *et al.*, 2020)

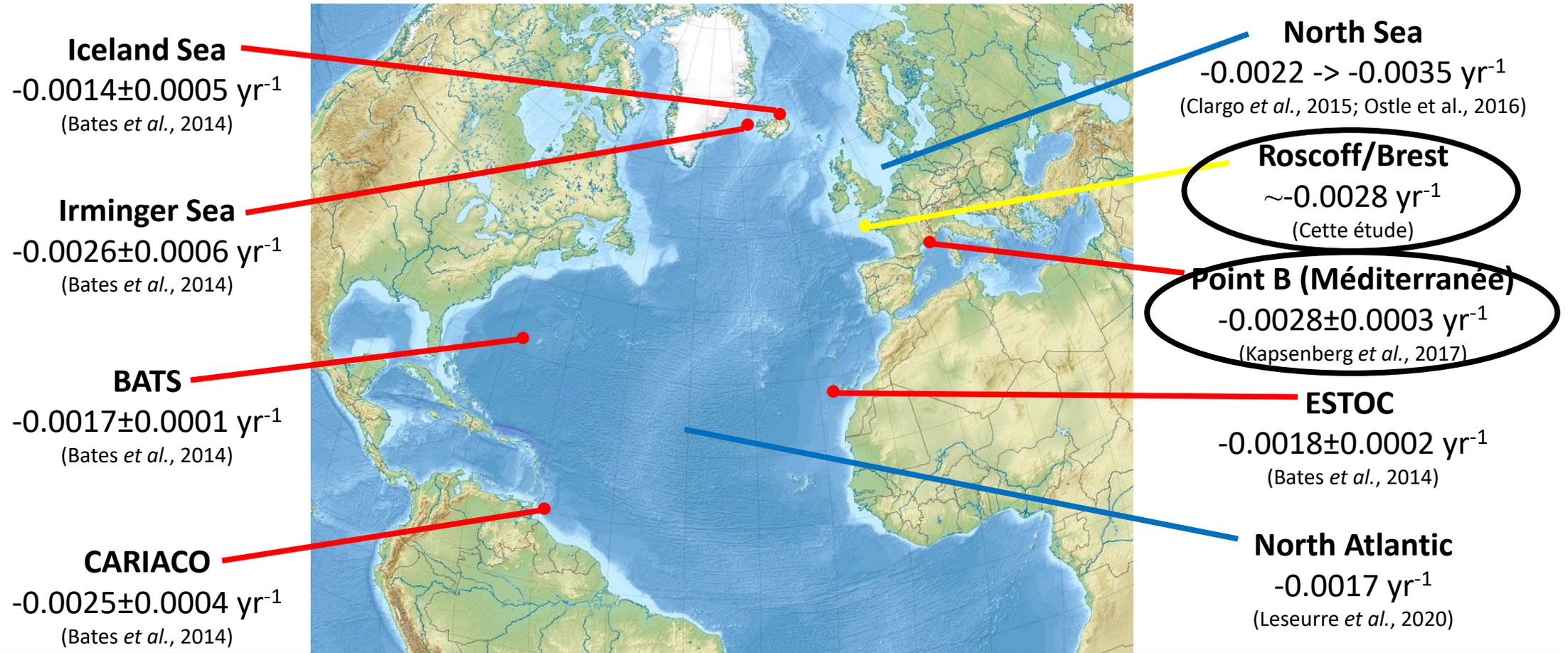
## Discussion

# Comparaison des tendances mondiales de pH



## Discussion

# Comparaison des tendances mondiales de pH



**Les premiers suivis longue durées côtiers montrent une acidification important, comparable aux autres stations.**

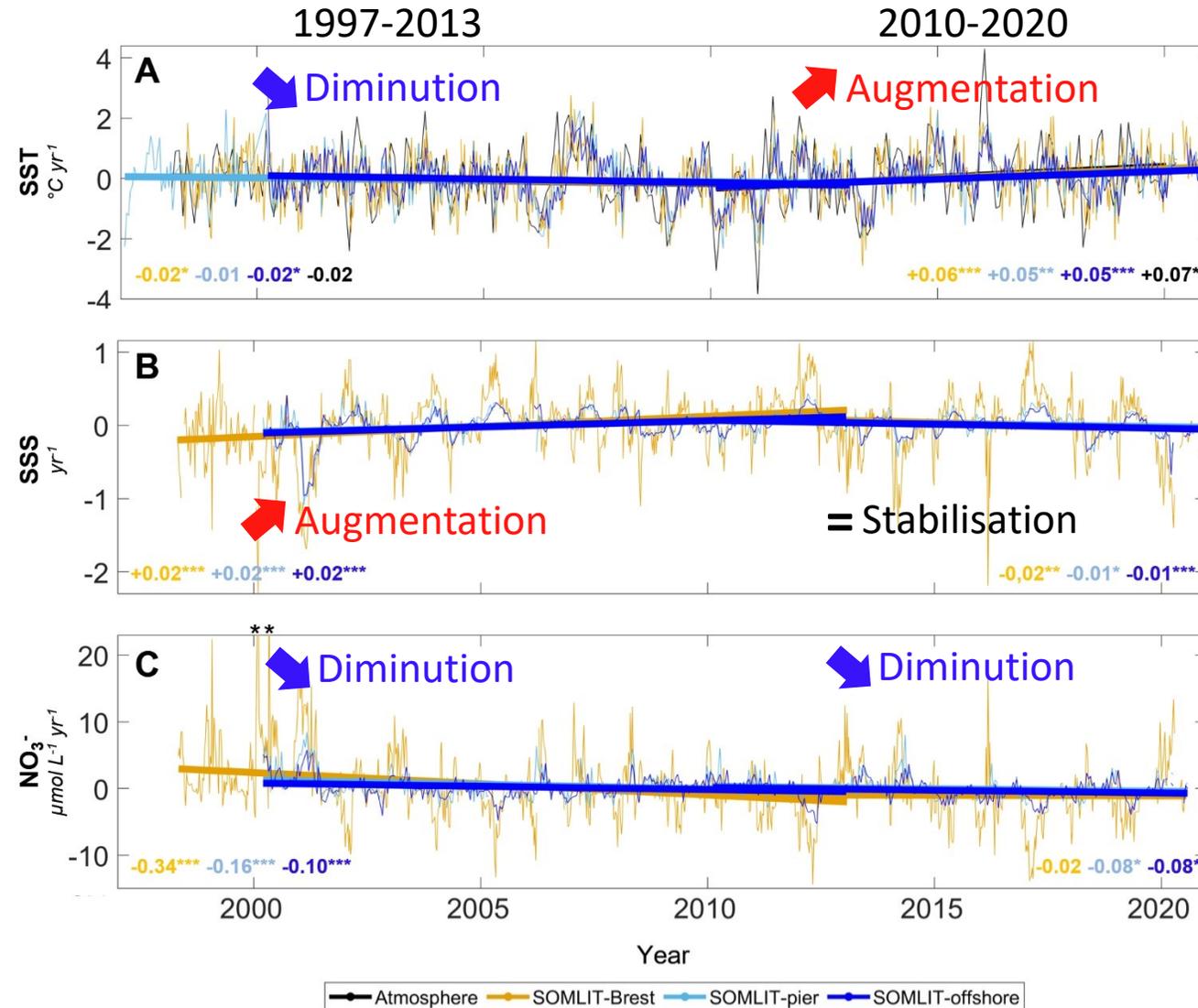
Discussion

Période exceptionnelle ou tendance confirmée ?

**Période exceptionnelle ou tendance confirmée ?  
De 10... à 20 ans**

## Discussion

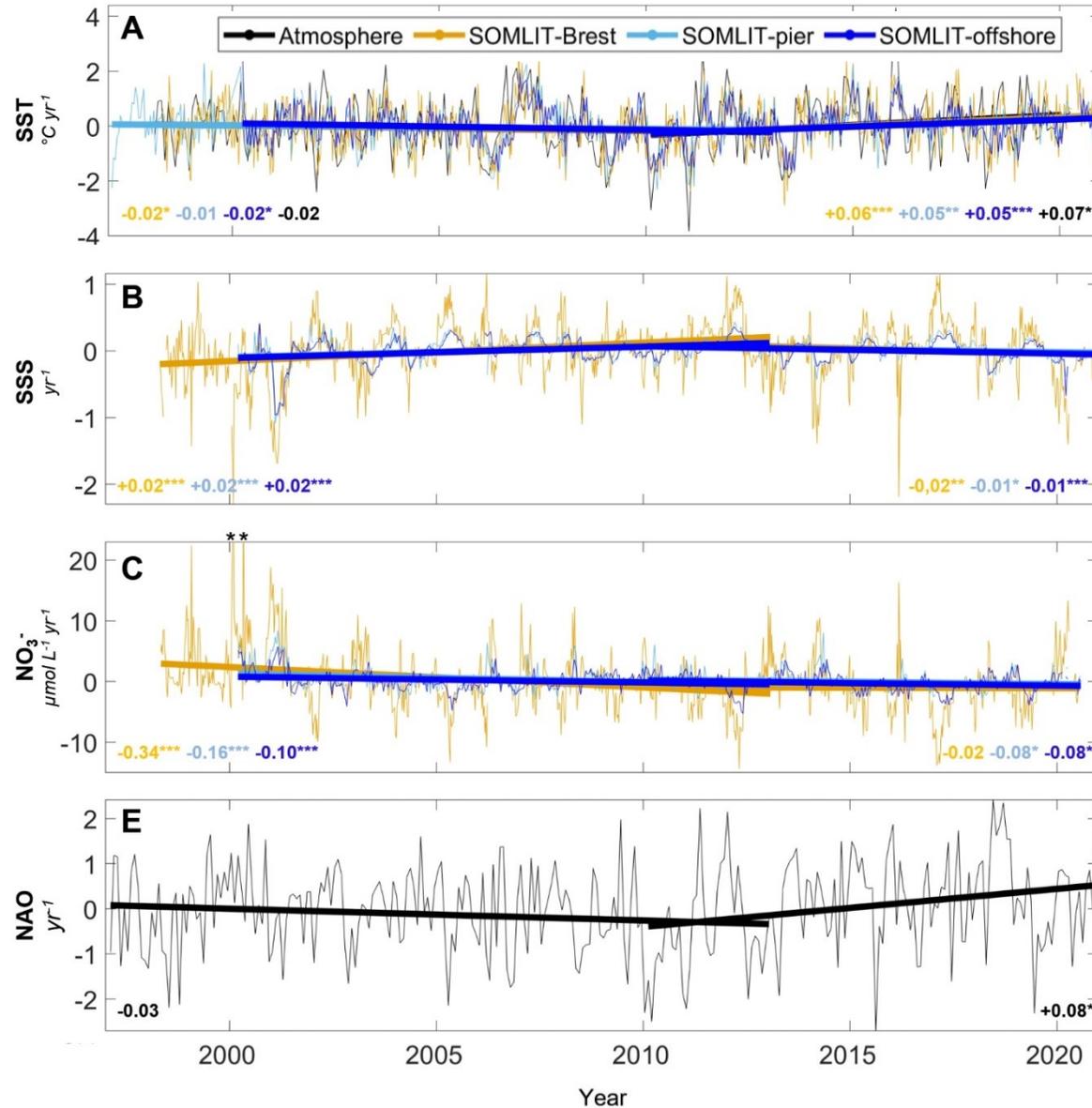
### Période exceptionnelle ou tendance confirmée ?



Qu'est-ce qui explique ce changement de pente ?

## Discussion

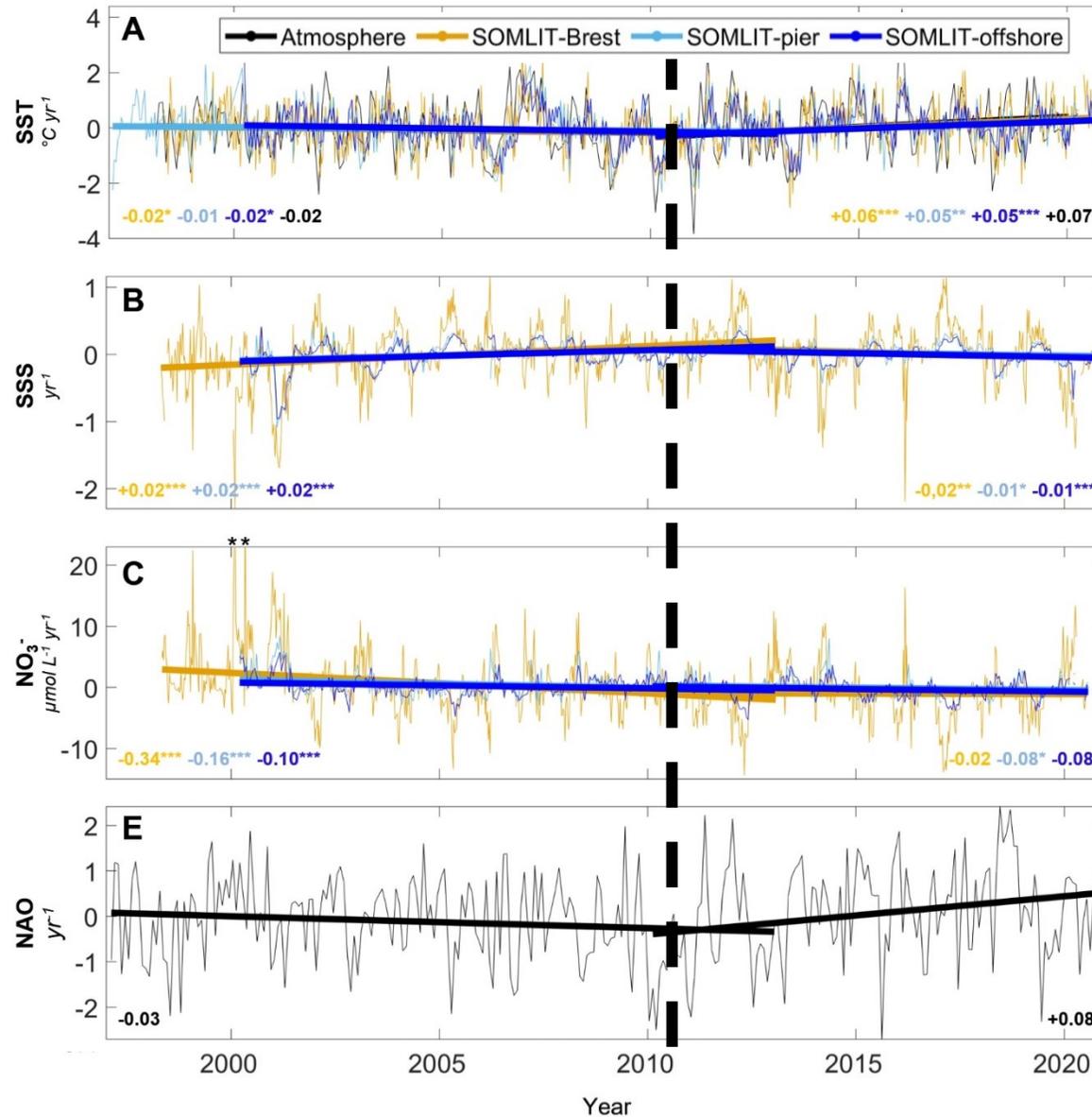
### Période exceptionnelle ou tendance confirmée ?



**North Atlantic Oscillation (NAO):** Différence de pression entre l'Islande et les Açores.

## Discussion

### Période exceptionnelle ou tendance confirmée ?



**Même rupture de pente**

**Confirmé par STL**  
*Seasonal and Trend decomposition using Loess*

**North Atlantic Oscillation (NAO):** Différence de pression entre l'Island et les Açores.

## Discussion

### Période exceptionnelle ou tendance confirmée ?

**1997-2013**

Corrélation de Pearson significatives  
entre les paramètres et la NAO  
(Treguer *et al.*, 2014)

r	SOMLIT-Brest	SOMLIT-offshore
SST	0.48	0.56

**2010-2020**

Corrélation de Pearson significatives entre les  
paramètres et la NAO

r	SOMLIT-Brest	SOMLIT-pier	SOMLIT-offshore
SST	0.59	0.64	0.56
pCO <sub>2</sub> <sup>therm</sup>	0.59	0.53	0.56

**Corrélation entre NAO, température : influence sur la part thermique du pCO<sub>2</sub>**

## Conclusion

## Conclusion

- Entre 2008 et 2018, on observe une **augmentation** de la **température**, du **pCO<sub>2</sub>** et une **acidification**.
- L'acidification, **comparable** à de nombreuses stations fixes, est liée à l'**augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique et de la température**, et limitée par l'augmentation de l'**alcalinité**.
- Dans le **contexte de l'acidification**, on observe des **différences de pentes de la température lié à la NAO**, pouvant **impacter la pCO<sub>2</sub>**.

**Merci de votre attention**

## Conclusion

## Pour aller plus loin

Etude multi-échelles des échanges air-mer de CO<sub>2</sub> et de l'acidification océanique en Manche Occidentale.

Article publié en 2021 dans Fontiers in Marine science 8 :

Longue  
échelle de  
temps



### **Decadal Dynamics of the CO<sub>2</sub> System and Associated Ocean Acidification in Coastal Ecosystems of the North East Atlantic Ocean**

*Jean-Philippe Gac<sup>1</sup>, Pierre Marrec<sup>2</sup>, Thierry Cariou<sup>1</sup>, Emilie Grosstefan<sup>3</sup>, Éric Macé<sup>1</sup>, Peggy Rimmelin-Maury<sup>3</sup>, Marc Vernet<sup>1</sup> and Yann Bozec<sup>1\*</sup>*

Article publié en 2020 dans Fontiers in Marine science 7 :

Courte  
échelle de  
temps



### **Cardinal Buoys: An Opportunity for the Study of Air-Sea CO<sub>2</sub> Fluxes in Coastal Ecosystems**

*Jean-Philippe Gac<sup>1</sup>, Pierre Marrec<sup>2</sup>, Thierry Cariou<sup>1</sup>, Christophe Guillerm<sup>3</sup>, Éric Macé<sup>1</sup>, Marc Vernet<sup>1</sup> and Yann Bozec<sup>1\*</sup>*