

Évolution décennale des paramètres climatiques et biogéochimiques en Méditerranée

Mégane Ballin

Frédéric Gazeau, Steeve Comeau, Samir Alliouane, Emmanuelle Uher, Laure Mousseau, Carla Larvor, Nuria Teixido, Jean-Michel Grisoni, Jean-Pierre Gattuso, Laurent Coppola



Série basse-fréquence au Point B

Série commencée en 2007
Fréquence : 1 mesure / semaine (mardi matin à 09h)
Mesures à 1 et 50m



Paramètres mesurés : température, salinité (depuis 1993), silicates et phosphates, pH mesuré par spectrophotométrie (depuis 2014)
Sonde multiparamétrique (CTD)

Disponibilité données : somlit.fr

Série haute-fréquence à EOL

Série commencée en 2013
Fréquence : 1 mesure / heure
Mesures uniquement en surface

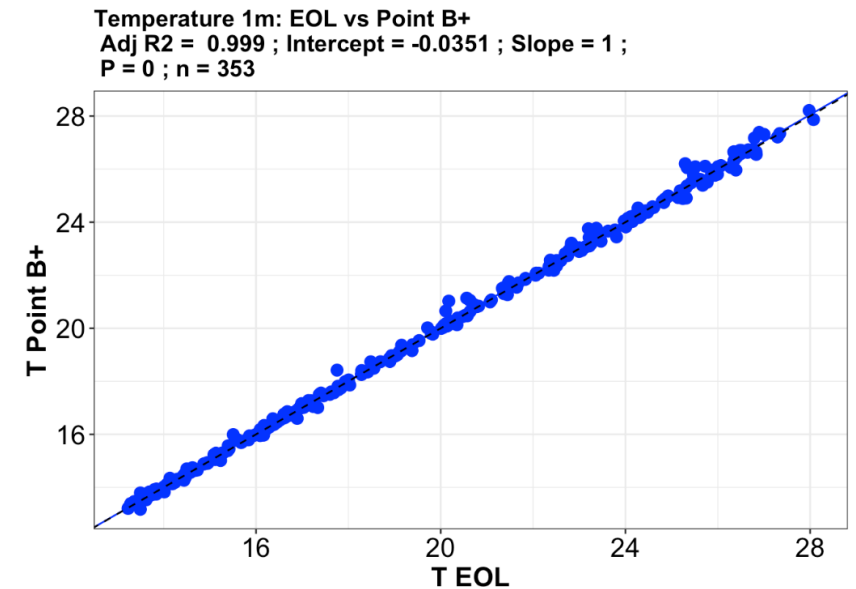
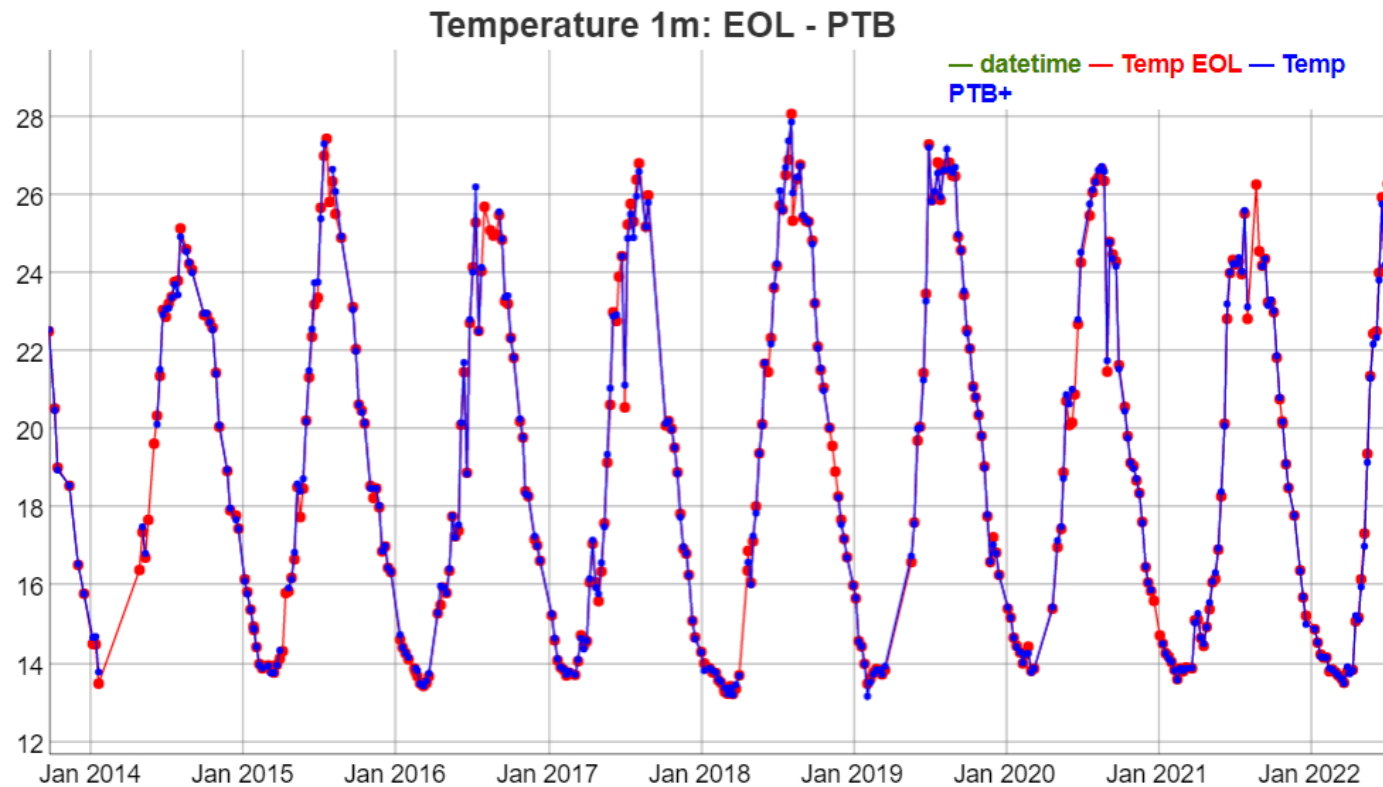


Paramètres mesurés : température, salinité et oxygène dissous (depuis 2017)
CTD Sea-bird (SBE37 SMP-ODO)

Disponibilité données : seano.org



Comparaison température au Point B vs température à EOL



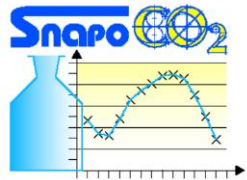
↳ **Température** : pas de correction nécessaire

↳ **Salinité** : données corrigées par période de déploiement (vs cast CTD SOMLIT à 1 m)

↳ **Oxygène** : données corrigées avec les données discrètes par méthode Winkler

Comparaison pH calculé (basé sur A_T et C_T) vs pH mesuré (spectrophotométrie)

Prélèvements A_T et C_T (Point B)
envoyés au SNAPO



SCIENCES
SORBONNE
UNIVERSITÉ



Service national d'analyses des paramètres
océanographiques du CO_2

SERVICE LABELLISÉ D'ANALYSE ÉCHANTILLONS EAU DE MER

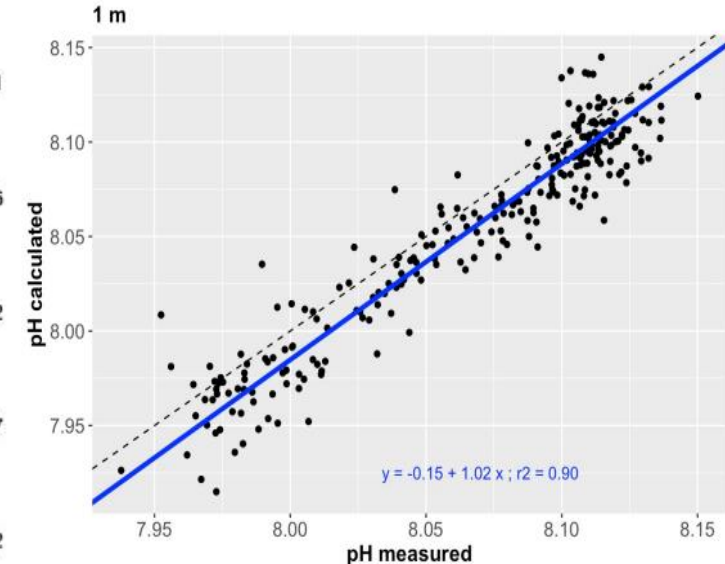
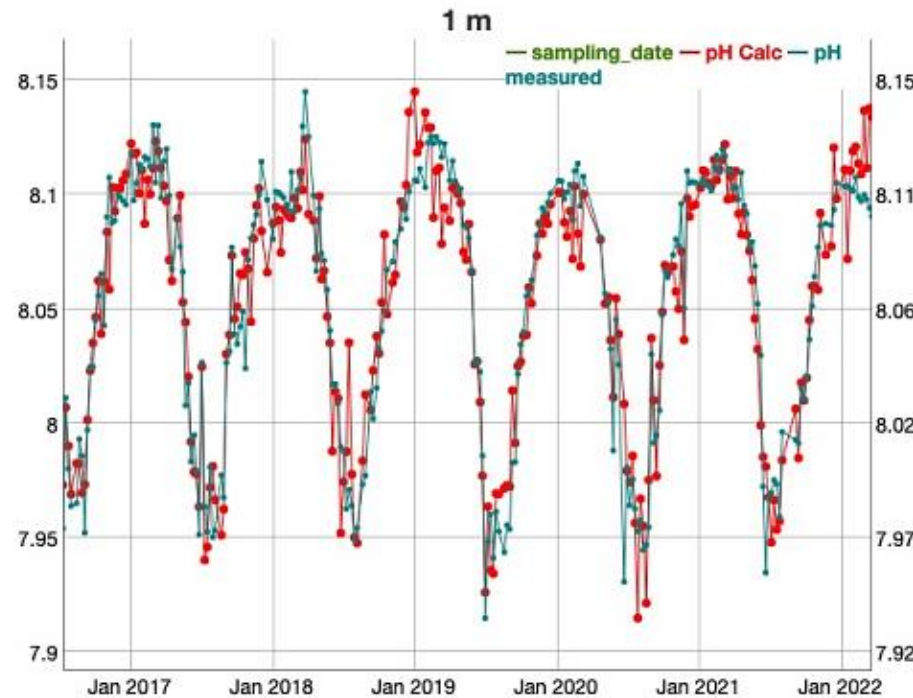
↳ analyse des échantillons d'eau de mer
(alcalinité et carbone inorganique dissous)

Données de température ($^{\circ}C$) +
salinité + A_T et C_T ($\mu mol/kg$)



Package R Seacarb 3.1 (Gattuso et al. 2016)

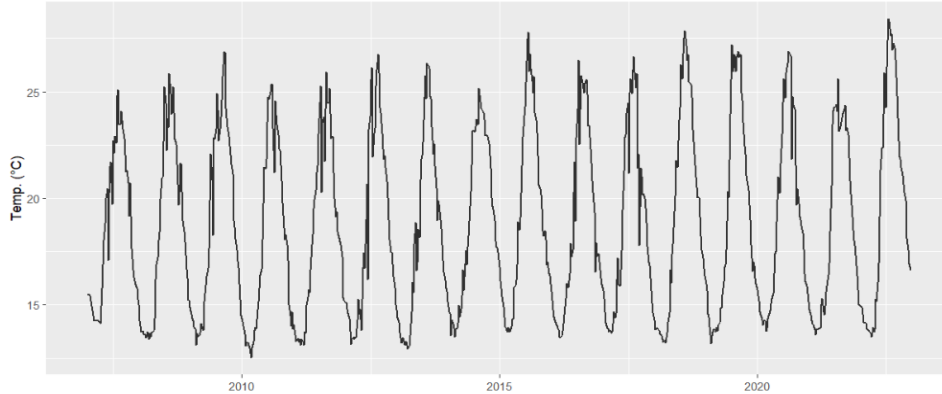
↳ calcul des paramètres du système carbonate :
pH calculé + pH normalisé (18 ou 25 $^{\circ}C$)
 CO_2 , pCO_2
 HCO_3^- , CO_3^{2-}



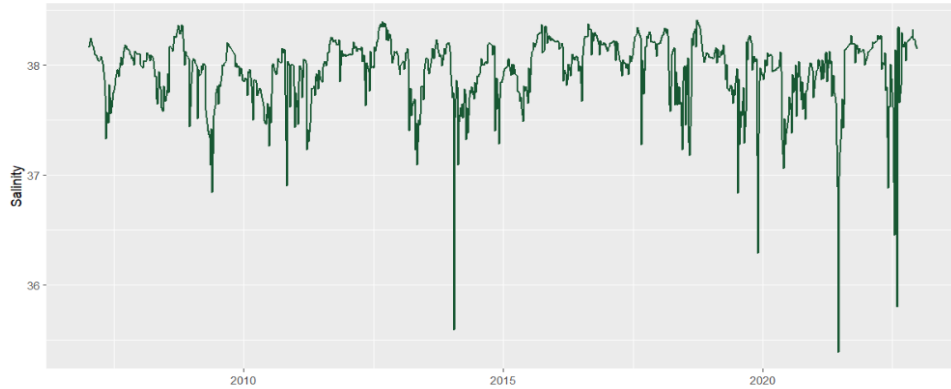
Surface

Profondeur

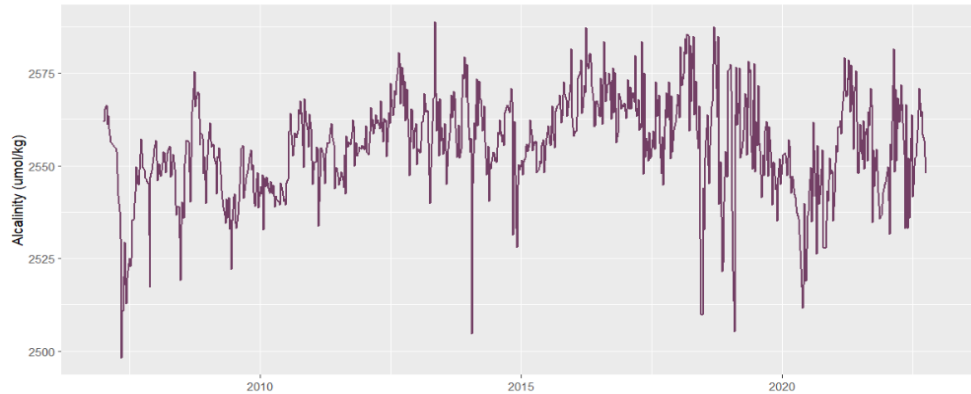
Surface temperature time series (2007-2022)



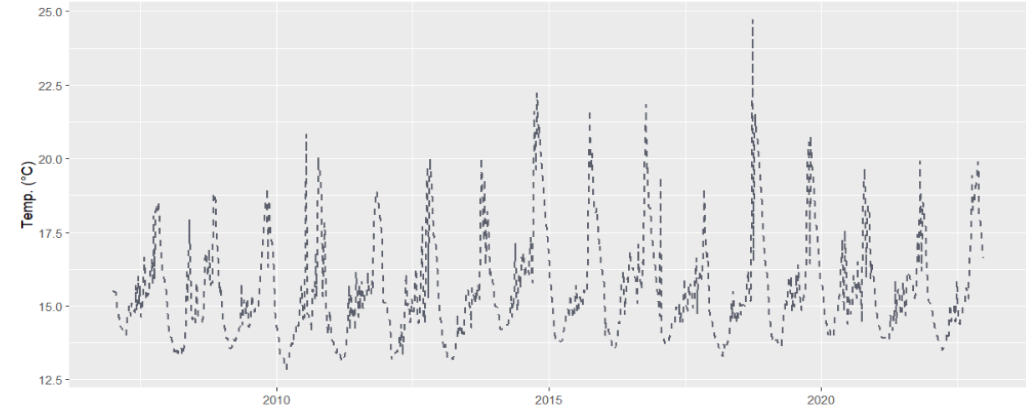
Surface salinity time series at Point B (2007-2022)



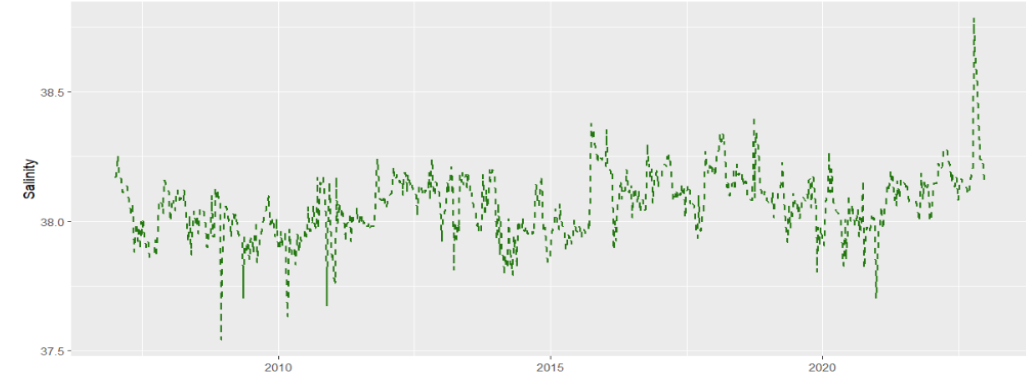
Surface total alkalinity time series (2007-2022)



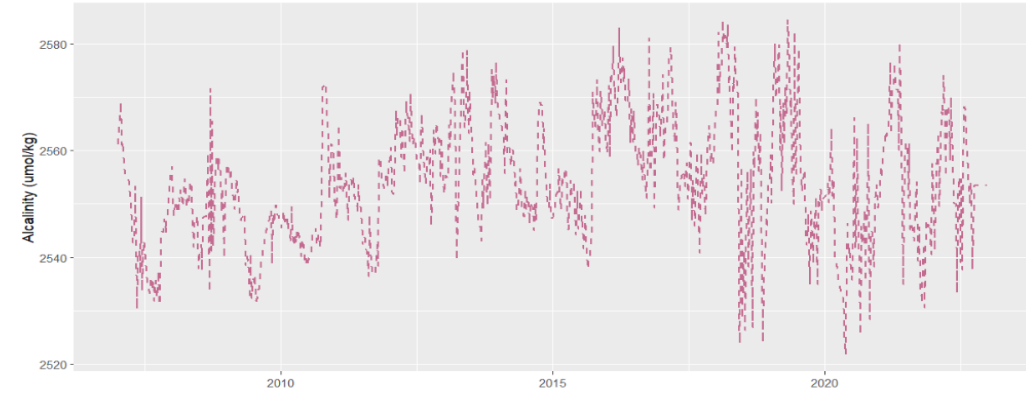
50m temperature time series (2007-2022)



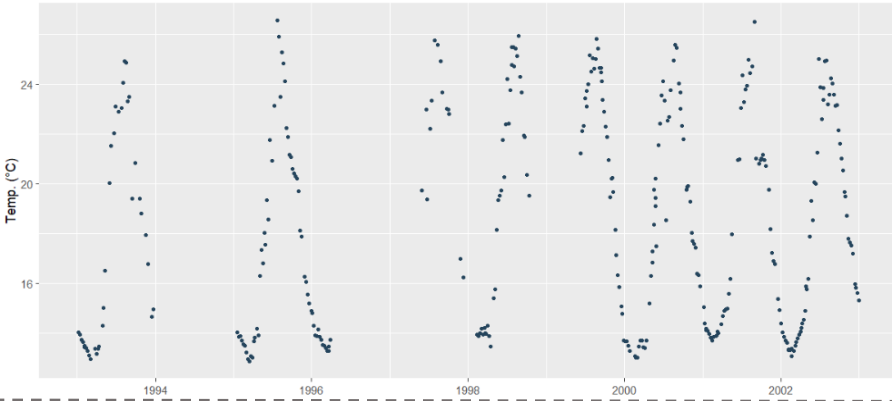
50m salinity time series (2007-2022)



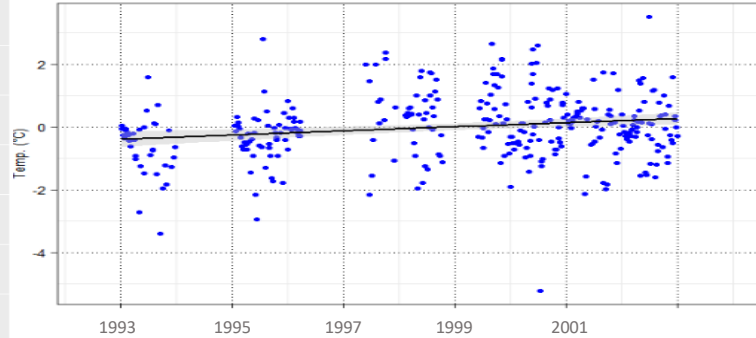
50m total alkalinity time series (2007-2022)



Surface temperature time series (1993-2002)



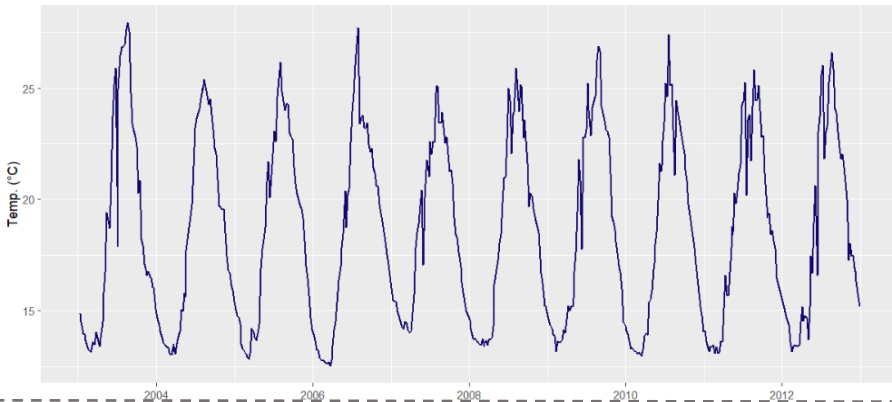
Anomalies trend for temperature (1993-2002)



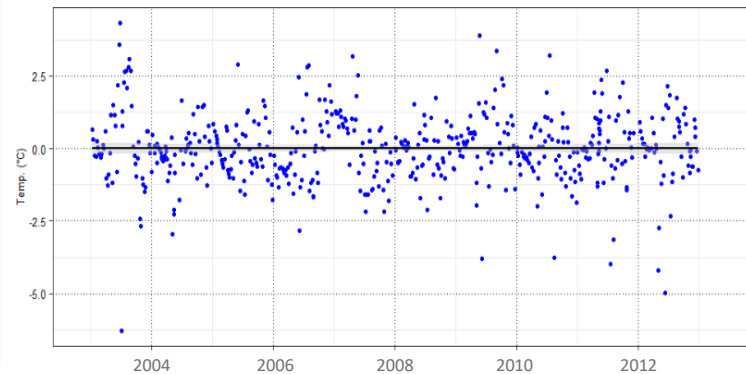
→ Méthode de calcul des anomalies :
Bates et al. (2014)

Janvier 1993 à décembre 2002 :
+ 0.066 °C par an

Surface temperature time series (2003-2012)

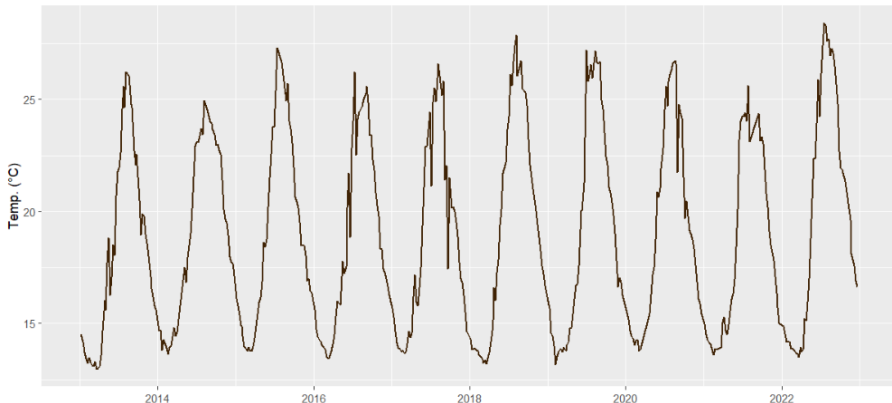


Anomalies trend for temperature (2003-2012)

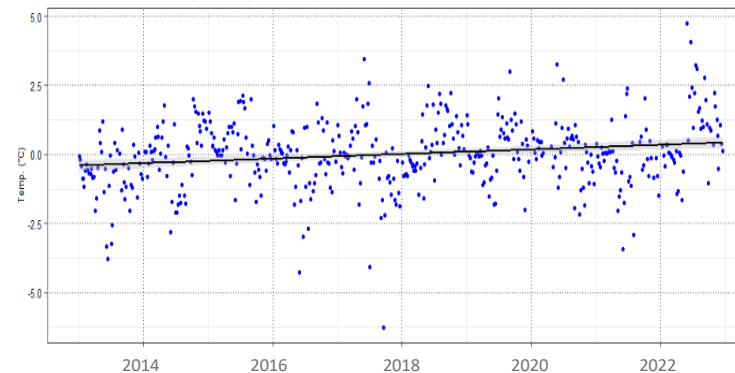


Janvier 2003 à décembre 2012 :
- 0.0003 °C par an

Surface temperature time series (2013-2022)

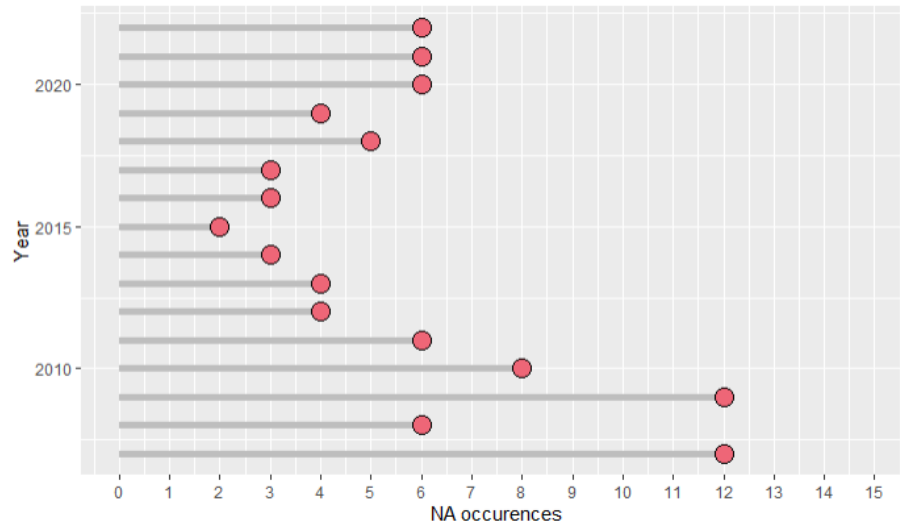


Anomalies trend for temperature (2013-2022)



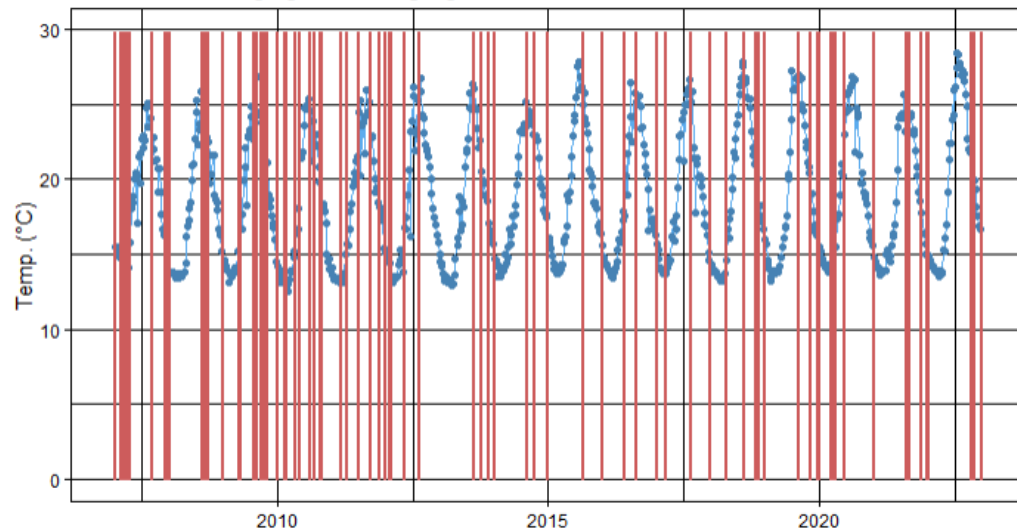
Janvier 2013 à décembre 2022 :
+ 0.083 °C par an

NA occurrences by year for temperature time series (2007-2022)



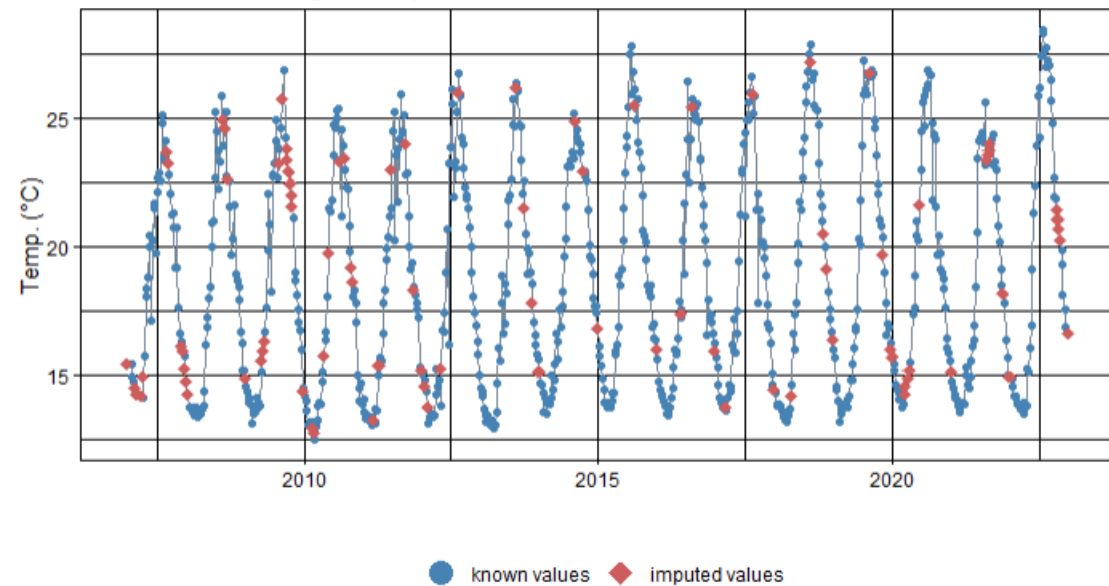
Temperature (2007-2022)

Time Series with highlighted missing regions

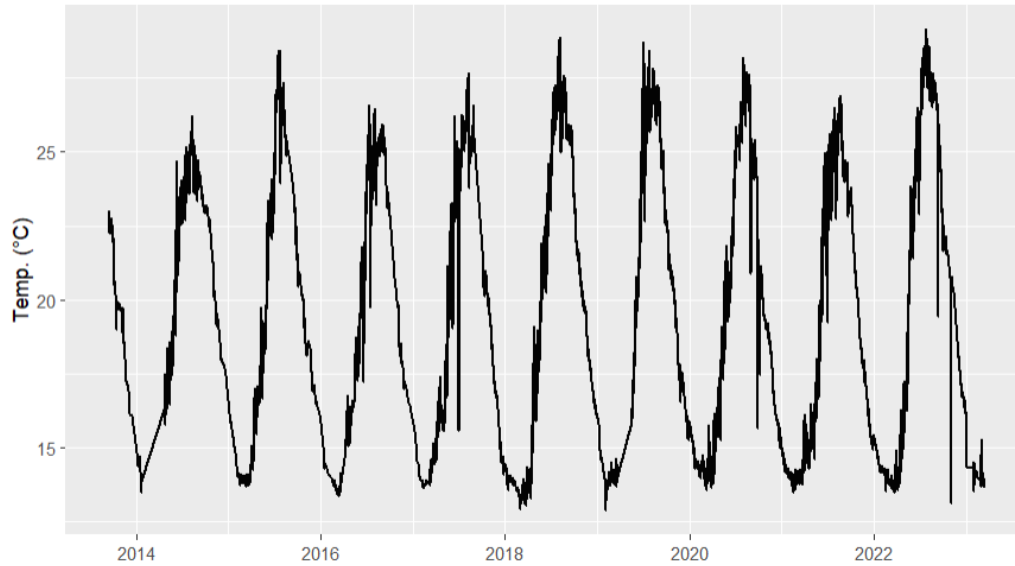


Point B - Temperature time series (°C) - period 2007-2022

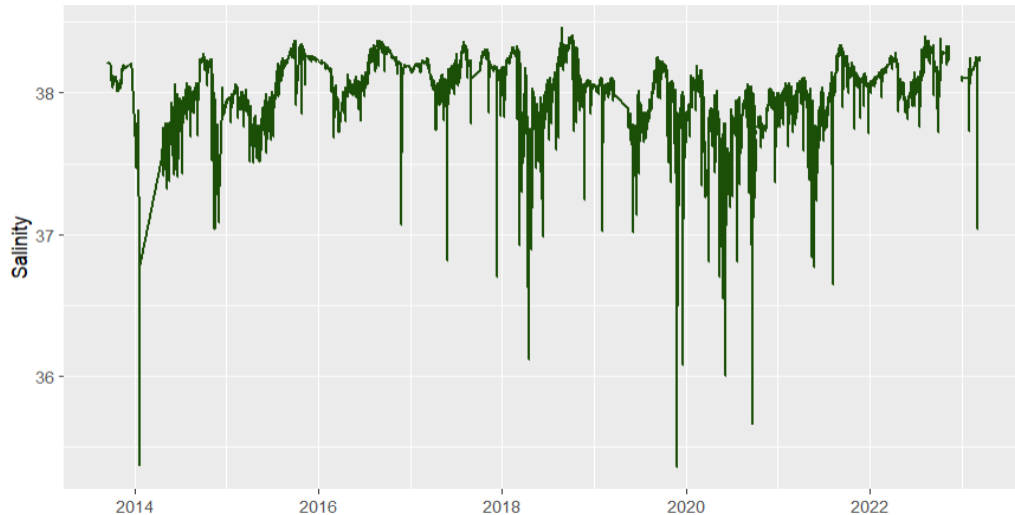
Visualization of missing value replacements



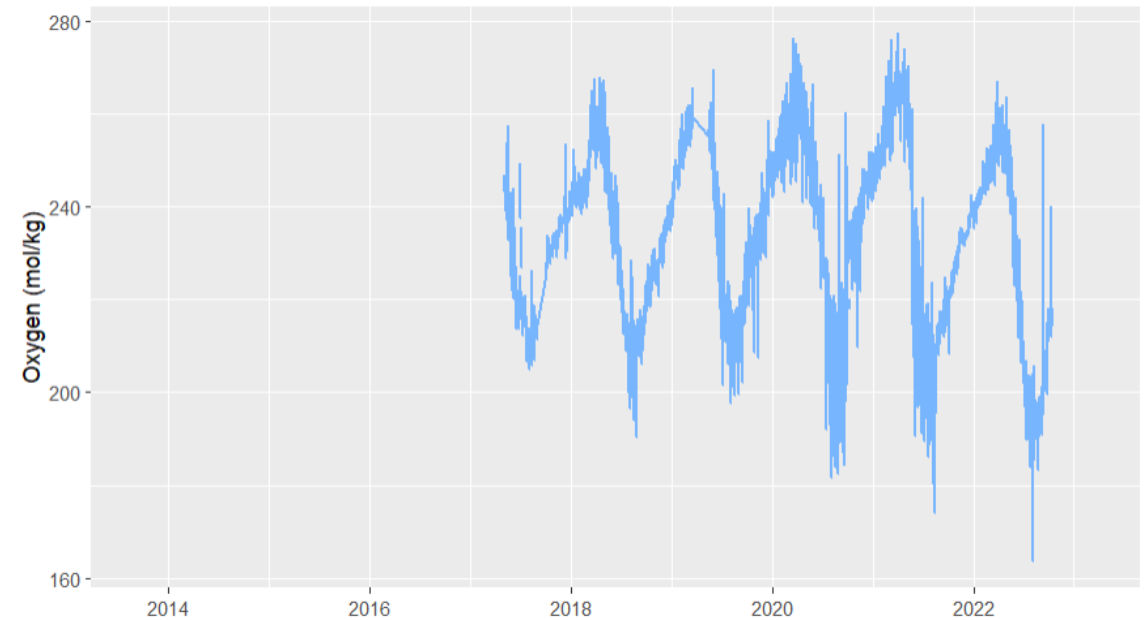
EOL temperature time series (°C) 2013-2022



EOL salinity time series (2013-2022)



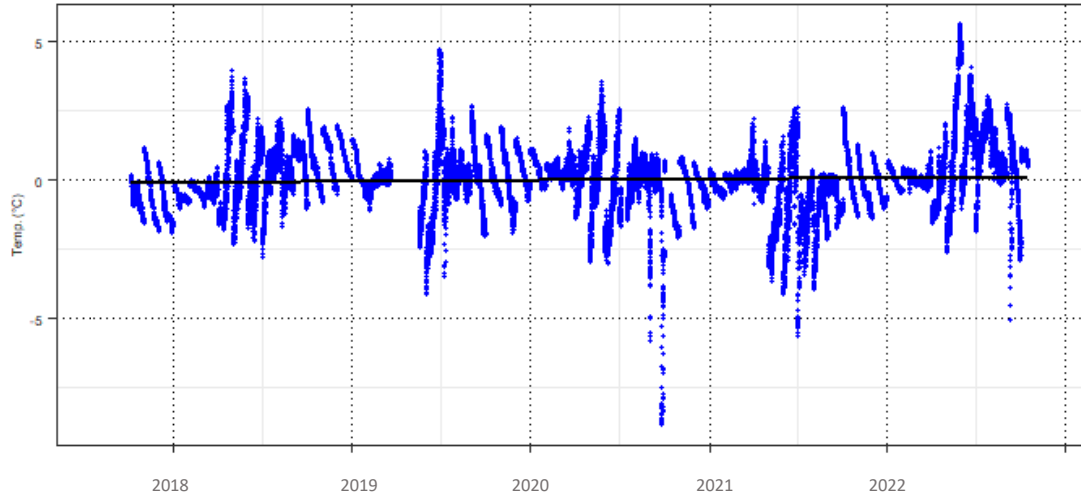
EOL oxygen time series (2017-2022)



Alliouane Samir, Grisoni Jean-Michel, Gazeau Frédéric (2022). Environmental Observatory of the Littoral (EOL) biogeochemical data from the Northwestern Mediterranean sea. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/91965>

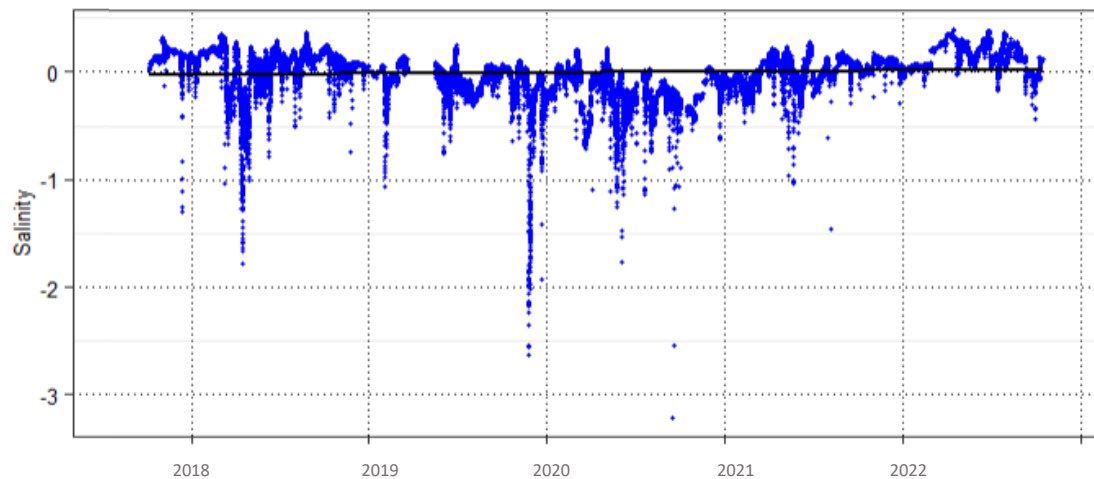
Evolution de la température et de la salinité en surface sur 6 ans

Anomalies trend for temperature (2017-2022) - EOL



Comparaison résultats basse-fréquence / haute-fréquence

Anomalies trend for salinity (2017-2022) - EOL



Point B
314 obs

EOL
> 40 000 obs

Salinité

* -0.0075 ± 0.009

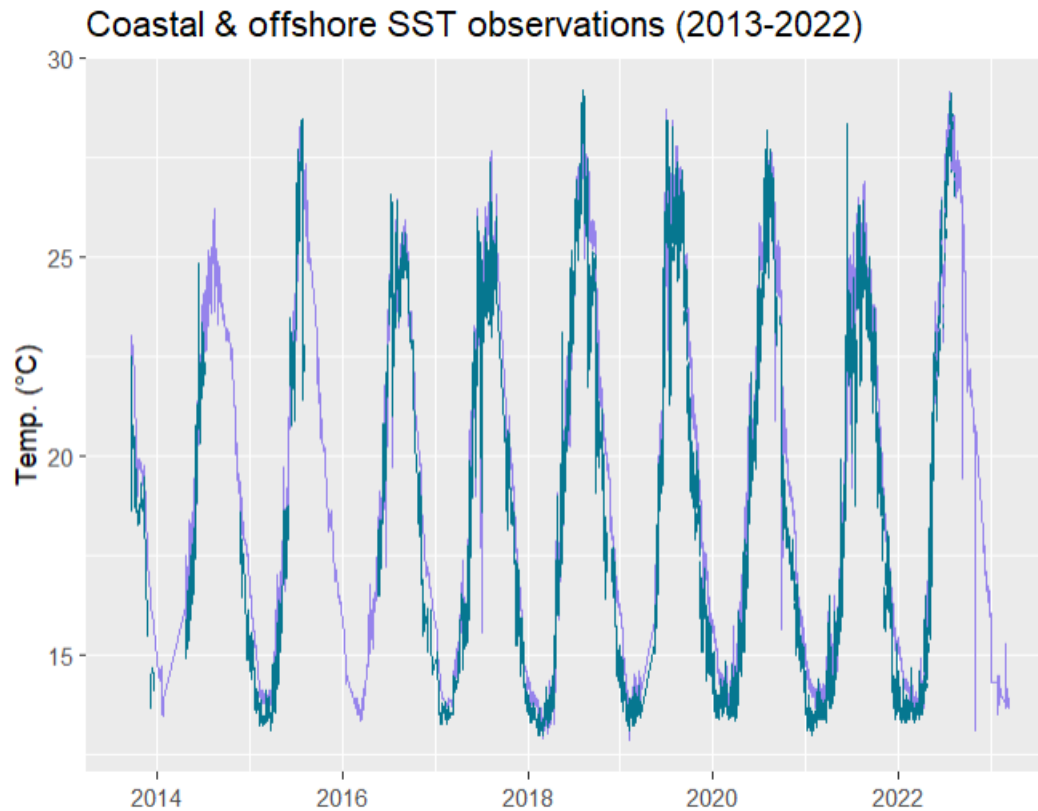
* 0.010 ± 0.0007

Température
(°C)

* 0.069 ± 0.033

* 0.043 ± 0.004

Kapsenberg et al. (2017)
Bates et al. (2014)

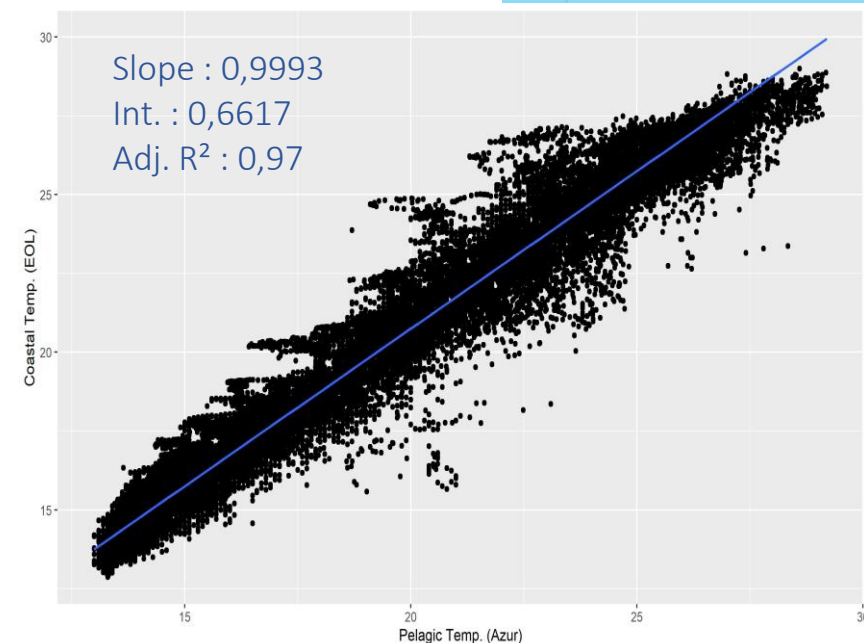
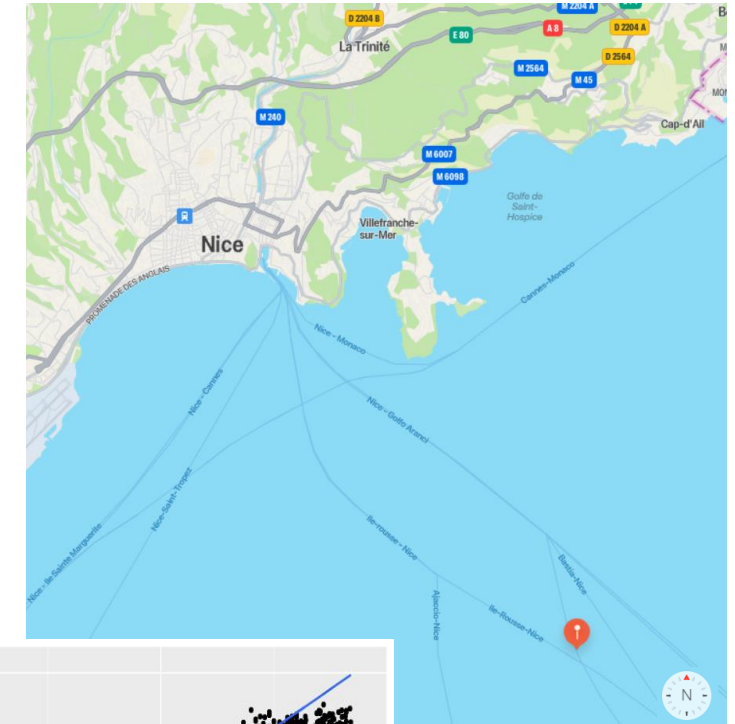
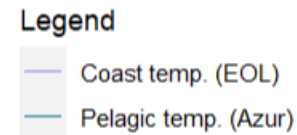


Bouée Azur :

Données de température de surface (°C)
Fréquence : 30 min (depuis septembre 2011)
Disponibilité données : mistrals.sedoo.fr

<https://doi.org/10.6096/HYMEX.AZURBUOY.THERMOSALINOGRAPH.20100308>

À venir : calcul de
tendance pour
données du large
Difficultés avec les
data manquantes
Calcul du r adjust ?



Coastal ocean acidification and increasing total alkalinity in the northwestern Mediterranean Sea

Lydia Kapsenberg¹, Samir Alliouane¹, Frédéric Gazeau¹, Laure Mousseau¹, and Jean-Pierre Gattuso^{1,2}

¹Sorbonne Universités, Université Pierre et Marie Curie-Paris 6, CNRS-INSU, Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, 06230 Villefranche-sur-Mer, France

²Institute for Sustainable Development and International Relations, Sciences Po, 27 rue Saint Guillaume, 75007 Paris, France

→ Méthode de calcul des anomalies : Bates et al. (2014)

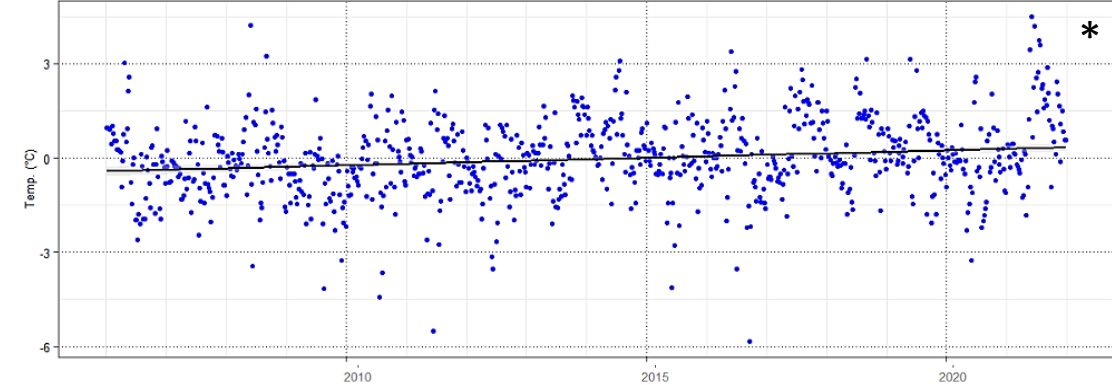
2007-2015

Depth (m)	Variable	Slope \pm SE
1	<i>S</i>	-0.0017 ± 0.0044
	* <i>T</i> (°C)	0.072 ± 0.022
	* <i>C_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	2.97 ± 0.20
	* <i>A_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	2.08 ± 0.19
	pH _T	-0.0028 ± 0.0003
	pH _{T25}	-0.0017 ± 0.0002
	pCO ₂ (μatm)	3.53 ± 0.39
50	* <i>S</i>	0.0063 ± 0.0020
	* <i>T</i> (°C)	0.088 ± 0.019
	* <i>C_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	2.16 ± 0.21
	* <i>A_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	1.59 ± 0.15
	pH _T	-0.0026 ± 0.0002
	pH _{T25}	-0.0013 ± 0.0003
	pCO ₂ (μatm)	2.79 ± 0.25

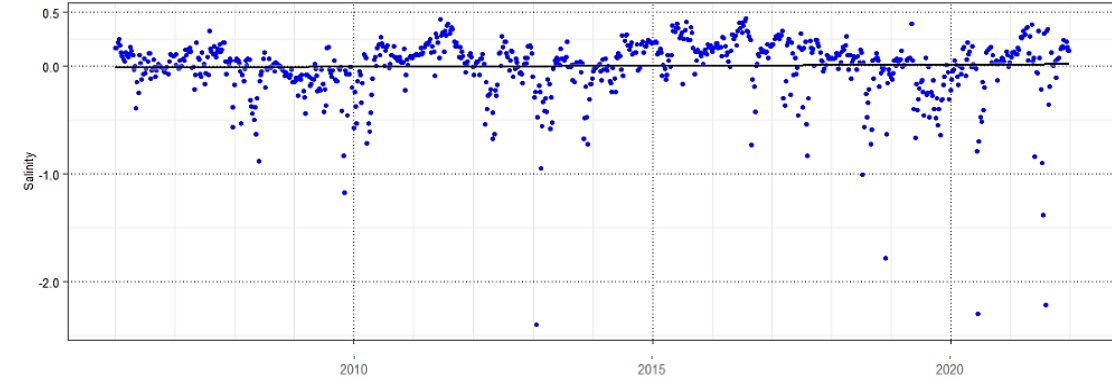
2007-2022

Depth (m)	Variable	Slope \pm SE
1	<i>S</i>	0.0020 ± 0.0017
	* <i>T</i> (°C)	0.047 ± 0.007
	* <i>C_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	1.71 ± 0.09
	* <i>A_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	-0.008 ± 0.08
	pH _T	-0.0040 ± 0.0002
	pH _{T25}	-0.0032 ± 0.0001
	pCO ₂ (μatm)	5.09 ± 0.21
50	* <i>S</i>	0.0096 ± 0.0008
	* <i>T</i> (°C)	0.026 ± 0.007
	* <i>C_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	2.25 ± 0.10
	* <i>A_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	0.53 ± 0.08
	pH _T	-0.0035 ± 0.0001
	pH _{T25}	-0.0030 ± 0.0002
	pCO ₂ (μatm)	3.50 ± 0.12

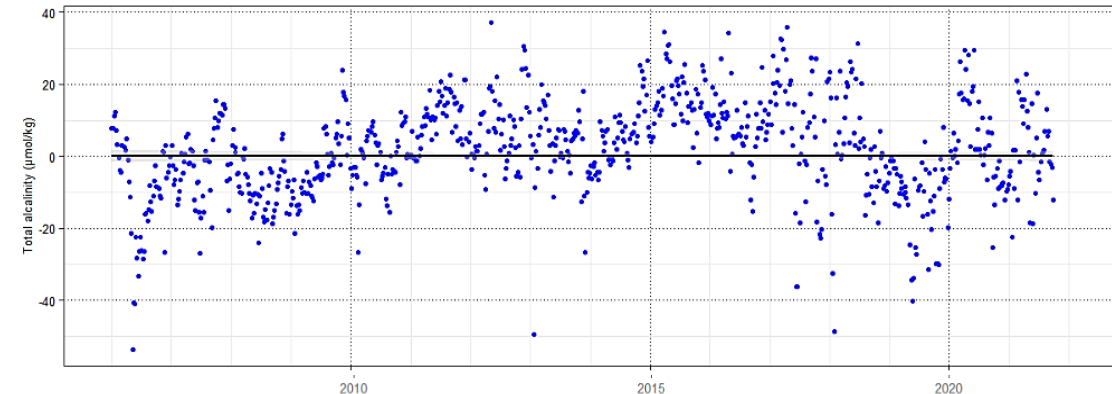
Anomalies trend for temperature (2007-2022) - 1 m



Anomalies trend for salinity (2007-2022) - 1 m



Anomalies trend for AT (2007-2022) - 1 m



Kapsenberg et al. (2017)
Bates et al. (2014)

2007-2015

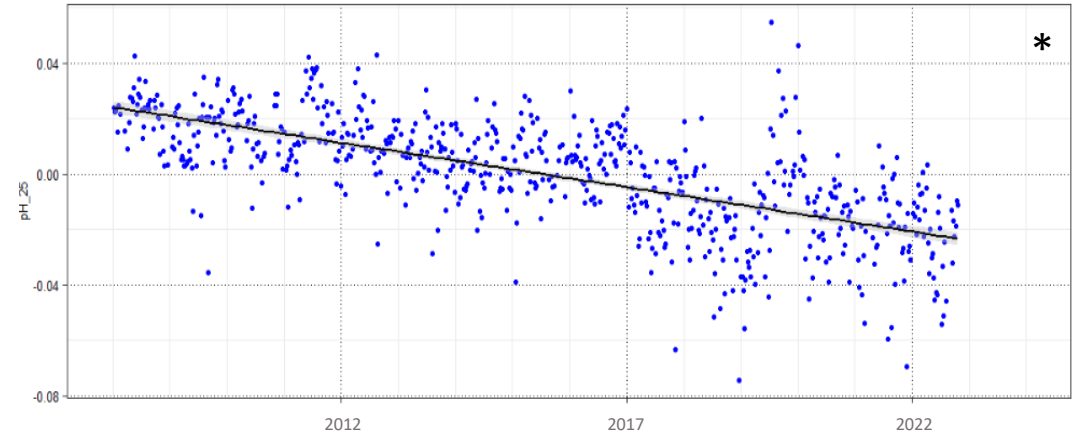
Depth (m)	Variable	Slope \pm SE
1	<i>S</i>	-0.0017 ± 0.0044
	<i>T</i> (°C)	0.072 ± 0.022
	<i>C_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	2.97 ± 0.20
	<i>A_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	2.08 ± 0.19
	* <i>pH_T</i>	-0.0028 ± 0.0003
	* <i>pH_{T25}</i>	-0.0017 ± 0.0002
	* <i>pCO₂</i> (μatm)	3.53 ± 0.39
50	<i>S</i>	0.0063 ± 0.0020
	<i>T</i> (°C)	0.088 ± 0.019
	<i>C_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	2.16 ± 0.21
	<i>A_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	1.59 ± 0.15
	* <i>pH_T</i>	-0.0026 ± 0.0002
	* <i>pH_{T25}</i>	-0.0013 ± 0.0003
	* <i>pCO₂</i> (μatm)	2.79 ± 0.25

2007-2022

Depth (m)	Variable	Slope \pm SE
1	<i>S</i>	0.0020 ± 0.0017
	<i>T</i> (°C)	0.047 ± 0.007
	<i>C_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	1.71 ± 0.09
	<i>A_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	-0.008 ± 0.08
	* <i>pH_T</i>	-0.0040 ± 0.0002
	* <i>pH_{T25}</i>	-0.0032 ± 0.0001
	* <i>pCO₂</i> (μatm)	5.09 ± 0.21
50	<i>S</i>	0.0096 ± 0.0008
	<i>T</i> (°C)	0.026 ± 0.007
	<i>C_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	2.25 ± 0.10
	<i>A_T</i> ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)	0.53 ± 0.08
	* <i>pH_T</i>	-0.0035 ± 0.0001
	* <i>pH_{T25}</i>	-0.0030 ± 0.0002
	* <i>pCO₂</i> (μatm)	3.50 ± 0.12

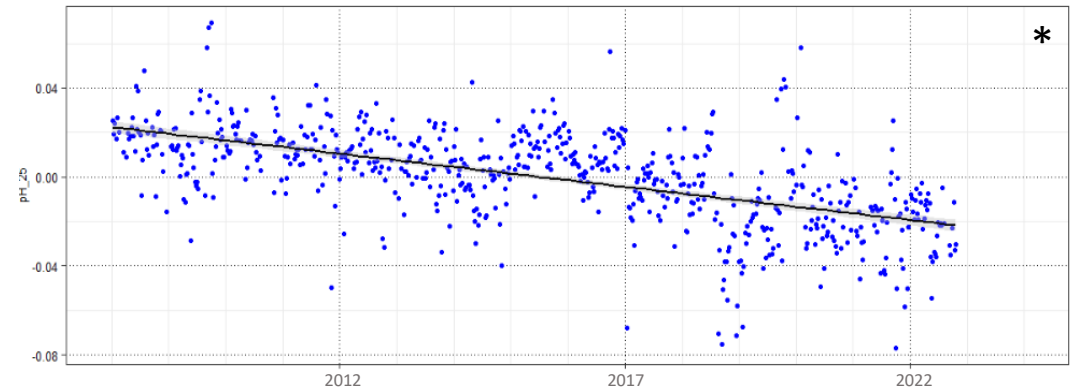
Surface

Anomalies trend for pH normalized (2007-2022)



50 m

Anomalies trend for pH normalized (2007-2022)

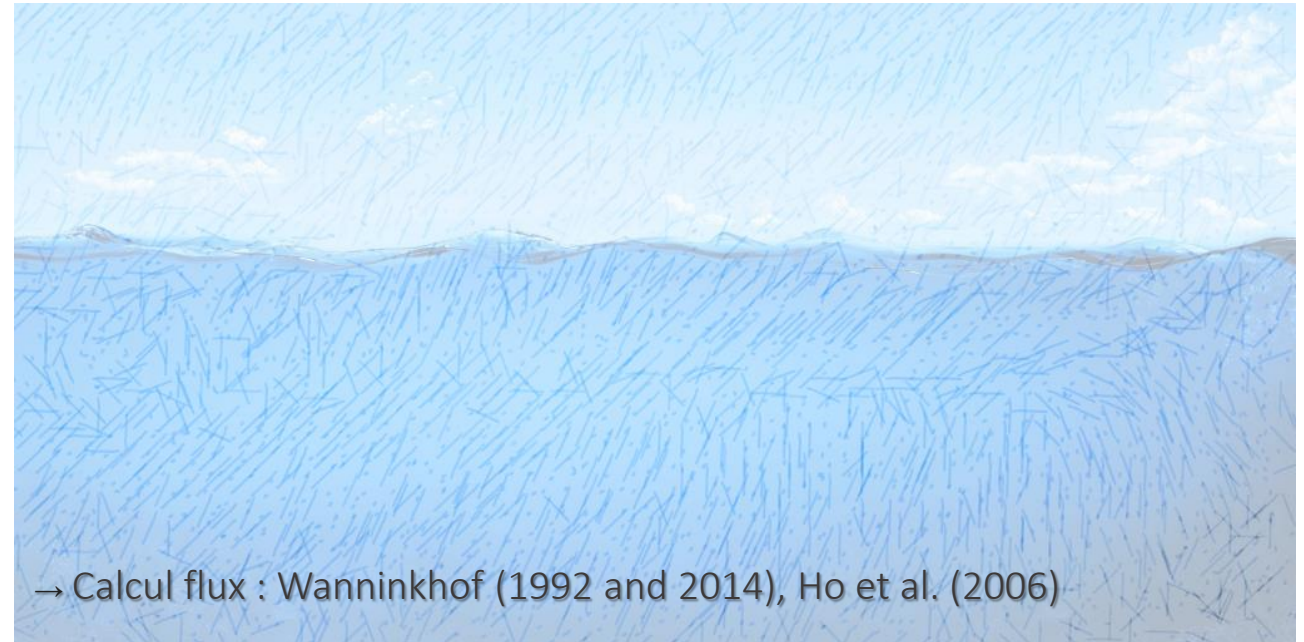


Carbonate Chemistry and Air–Sea CO₂ Flux in a NW Mediterranean Bay Over a Four-Year Period: 2007–2011

Eric Heinen De Carlo • Laure Mousseau • Ornella Passafiume •
Patrick S. Drupp • Jean-Pierre Gattuso

Paramètres :

- ↳ Vitesse du vent à 10 m (m/s)
- ↳ pCO₂ atmosphérique (μatm)
- ↳ pCO₂ océanique (μatm) ✓



→ Calcul flux : Wanninkhof (1992 and 2014), Ho et al. (2006)

Formule : $F = K\alpha\Delta p\text{CO}_2$

K vitesse de transfert du gaz
 α solubilité du gaz
 $\Delta p\text{CO}_2$ pCO_{2(sw)} – pCO_{2(air)}

$$k = K_{(600)} \times (Sc/600)^{-1/2}$$

$$K_{(600)} = 0.266 \times (U_{10})^2$$



Disponibilité data : icos-cp.eu (données de $p\text{CO}_2$ atmosphérique)

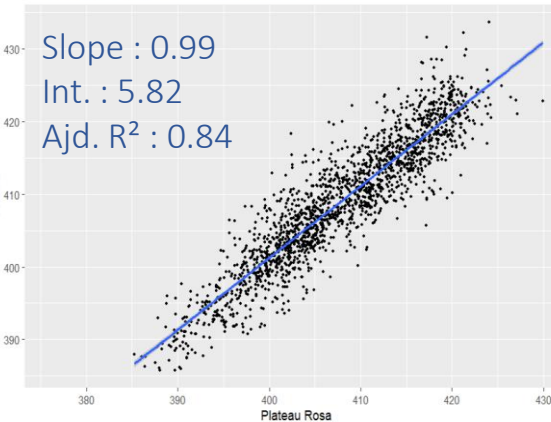
Fréquence : par heure

Corse : 2013-2020, Plateau Rosa : 2007-2022, Lampedusa : 2006-2022

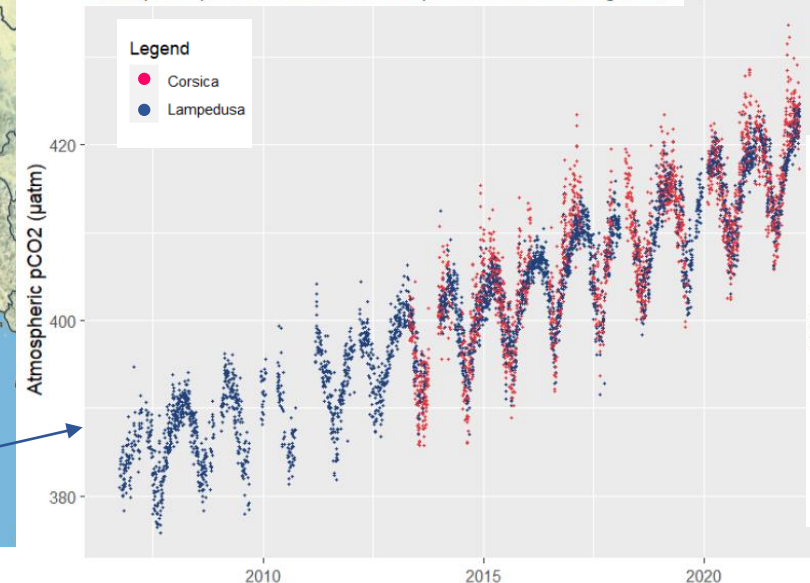
Atmospheric $p\text{CO}_2$ of Corsica and Plateau Rosa sites according to time



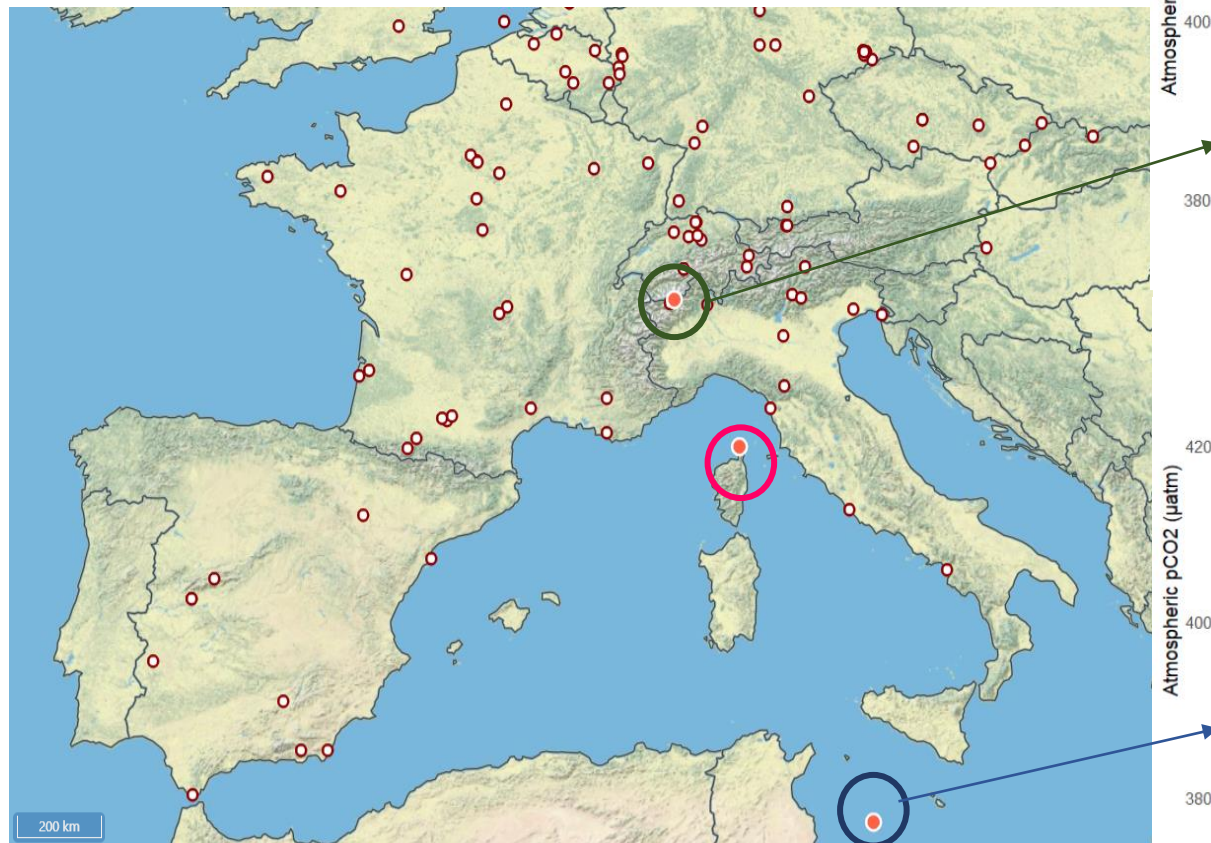
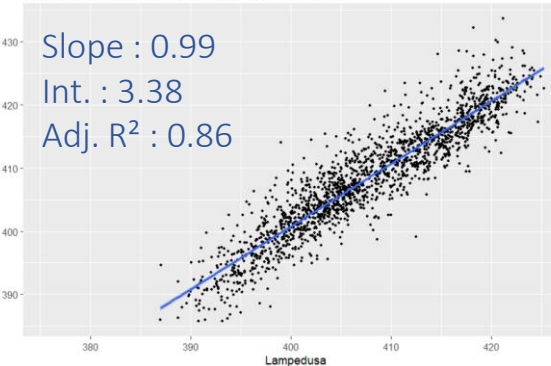
Relationship between Corsica and Plateau Rosa sites



Atmospheric $p\text{CO}_2$ of Corsica and Lampedusa sites according to time



Relationship between Corsica and Lampedusa sites



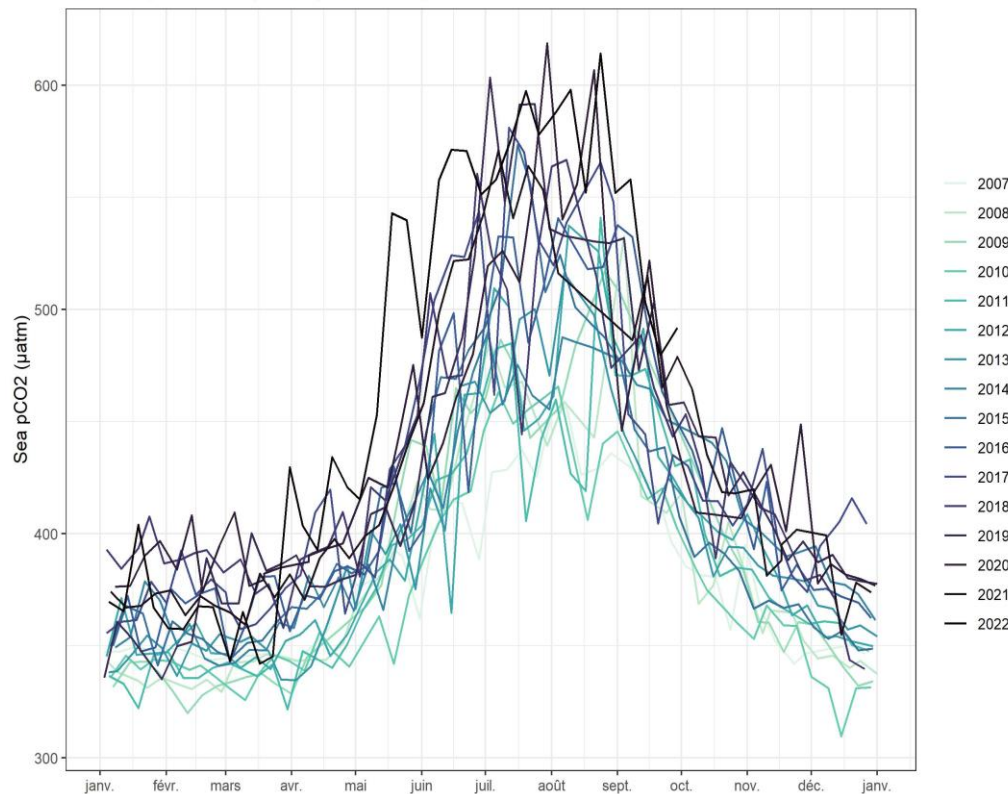
Données atmosphériques : fortes valeurs les hivers

Données océaniques : fortes valeurs les étés ➤

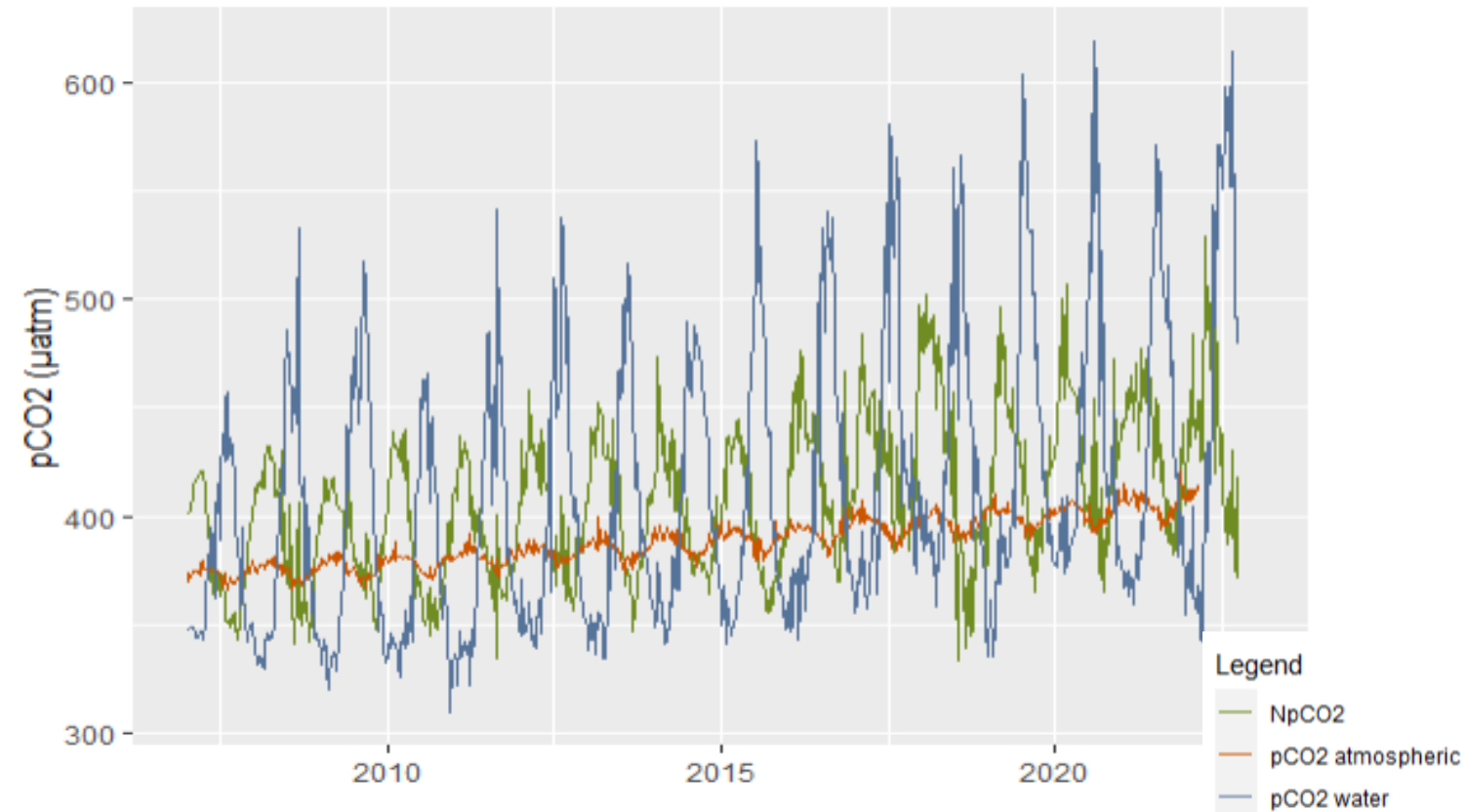
Représentation annuelle des données de $p\text{CO}_2$ océaniques

↳ oscillations saisonnières

Annual cycle of sea $p\text{CO}_2$ (2007-2022)



Complete time series of $p\text{CO}_2$ (µatm)



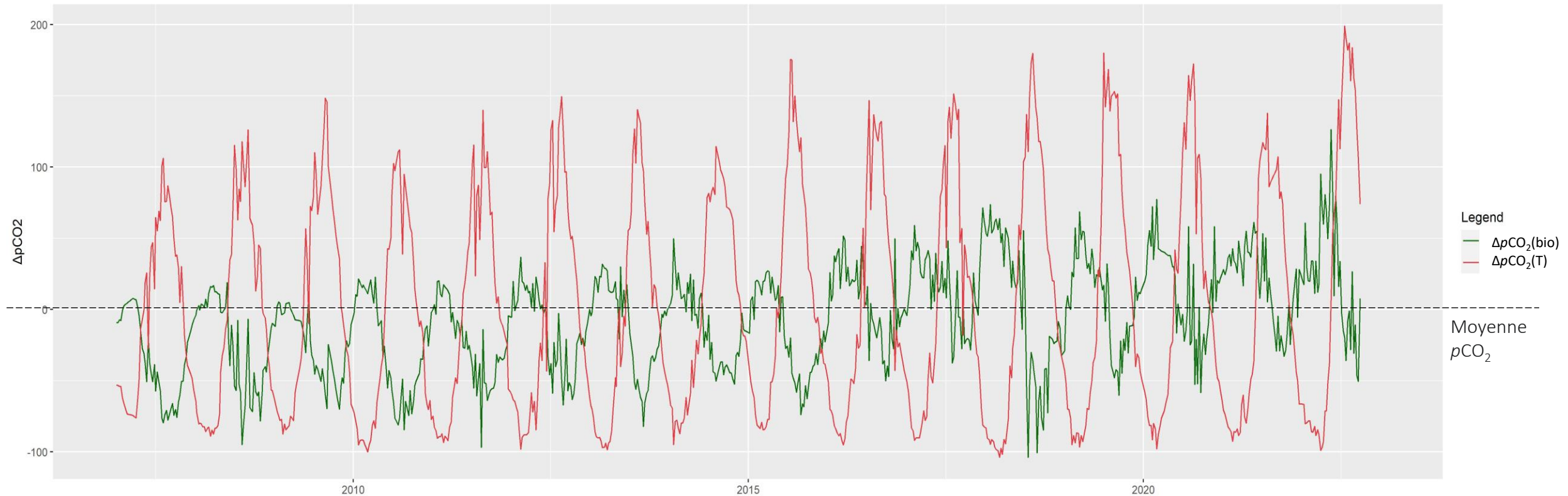
NpCO_2 = normalisation de la $p\text{CO}_2$ à température moyenne (18.8)

↳ synchronisation NpCO_2 et $p\text{CO}_2$ atmosphérique

↳ cycle saisonnier production primaire

Temperature and biological effects on $p\text{CO}_2$ variations (2007-2022)

Takahashi et al. (1993 et 2002)



Variations de $p\text{CO}_2$ au Point B = combinaison de processus physiques et biologiques

- ↳ variations expliquées uniquement par les fluctuations de température : $\Delta p\text{CO}_2(\text{T})$
- ↳ variations expliquées par la contribution des activités biologiques : $\Delta p\text{CO}_2(\text{bio})$

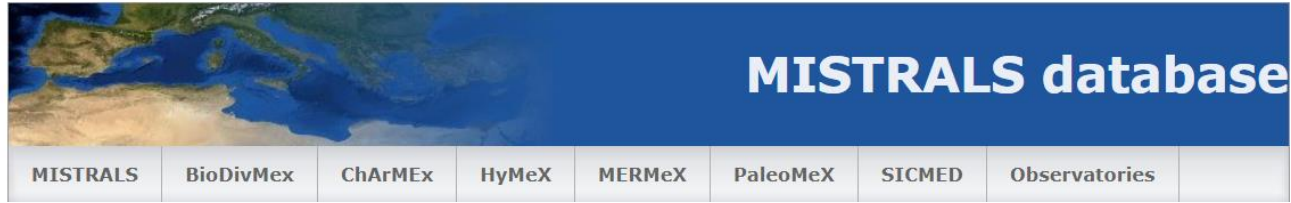
$\Delta p\text{CO}_2(\text{bio})$:

max : + 126 μatm en hiver
min : - 103 μatm en été

229 μatm



$\frac{1}{3}$ $p\text{CO}_2$ variation

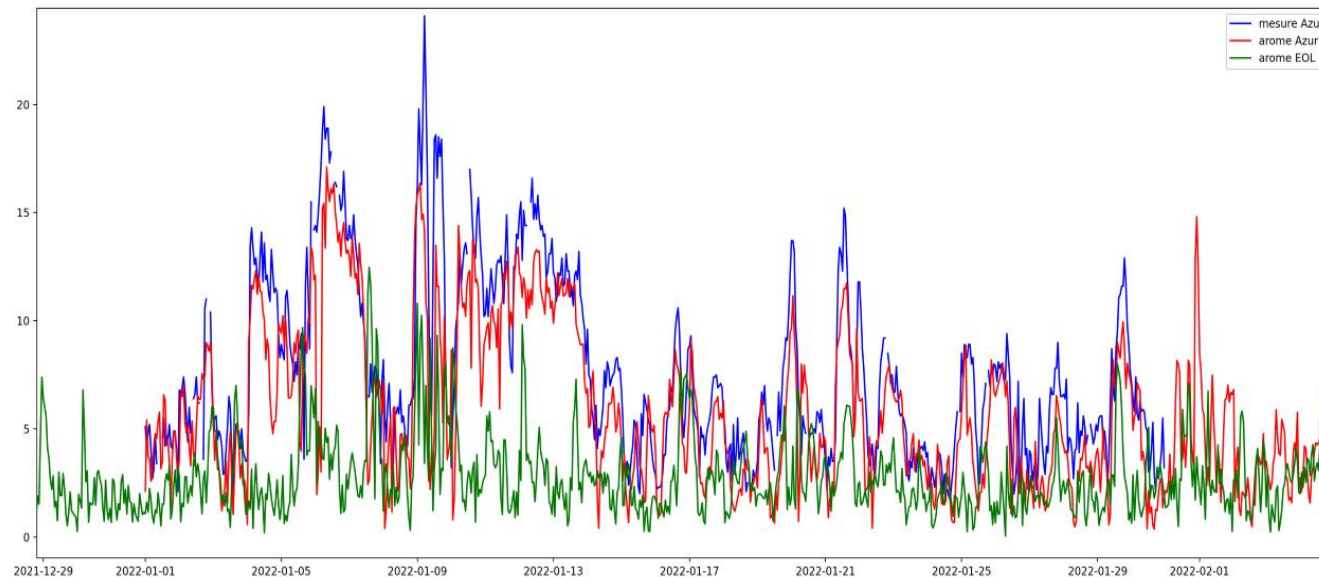


Disponibilité données : mistrals.sedoo.fr

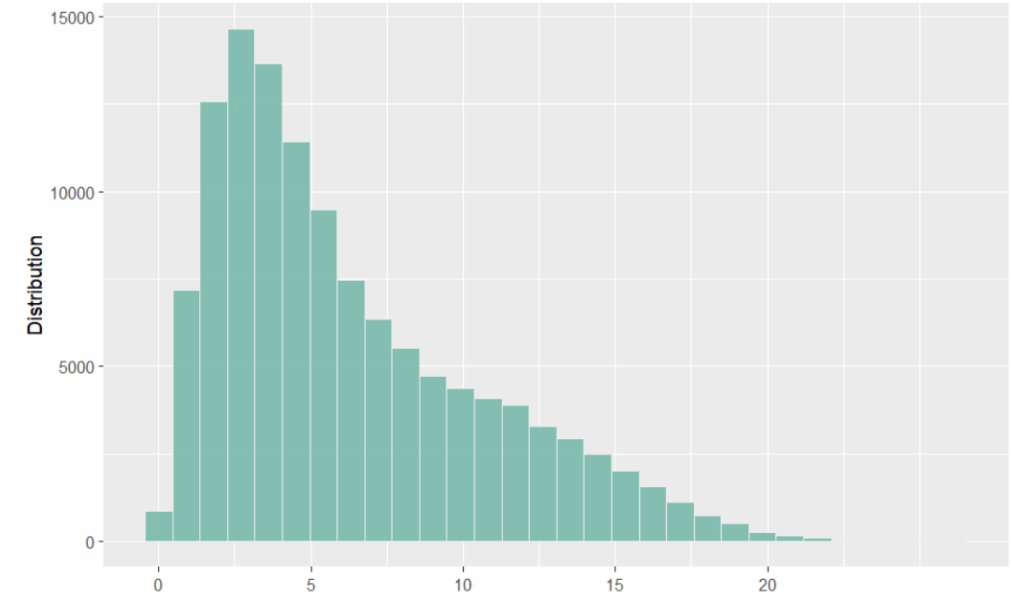
Bouée Azur, fréquence : par heure

Période vents EOL : janvier 2009 – décembre 2022

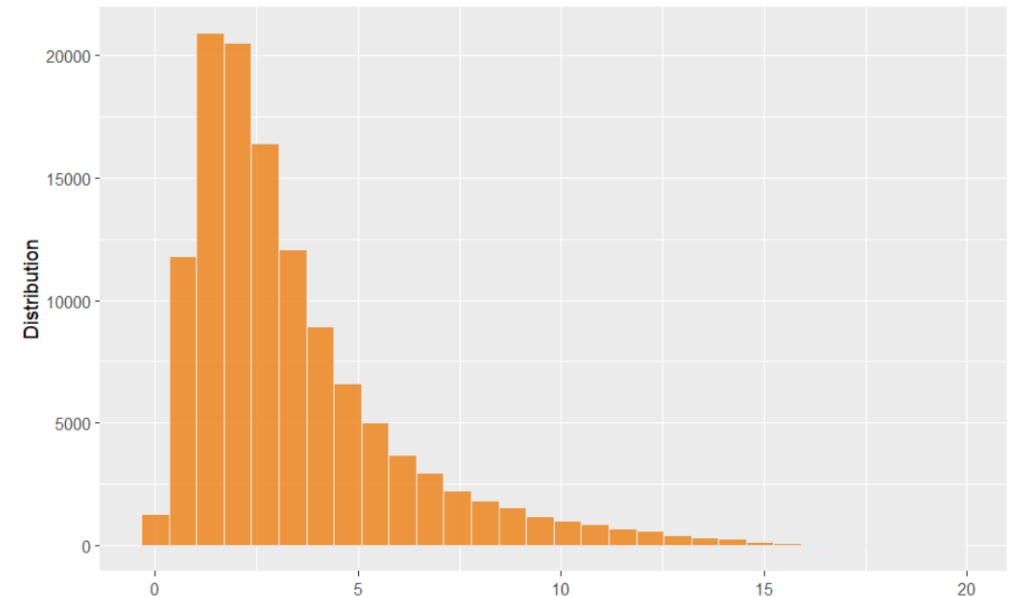
Modélisation Météo France



Wind speed distribution (Azur buoy)



Wind speed distribution (EOL buoy)



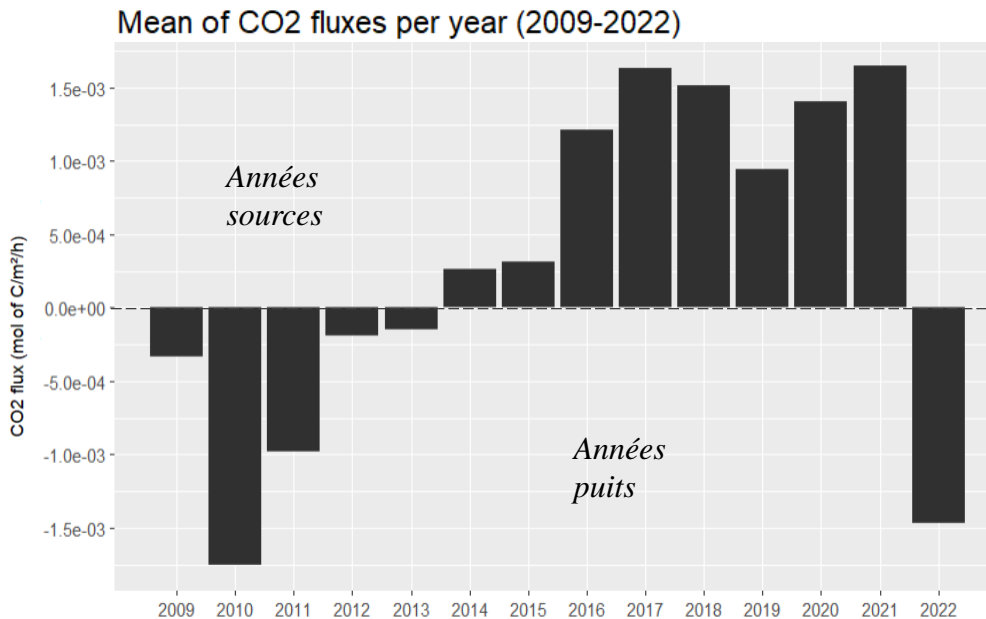
Carbonate Chemistry and Air–Sea CO₂ Flux in a NW Mediterranean Bay Over a Four-Year Period: 2007–2011

Eric Heinen De Carlo • Laure Mousseau • Ornella Passafiume •
Patrick S. Drupp • Jean-Pierre Gattuso

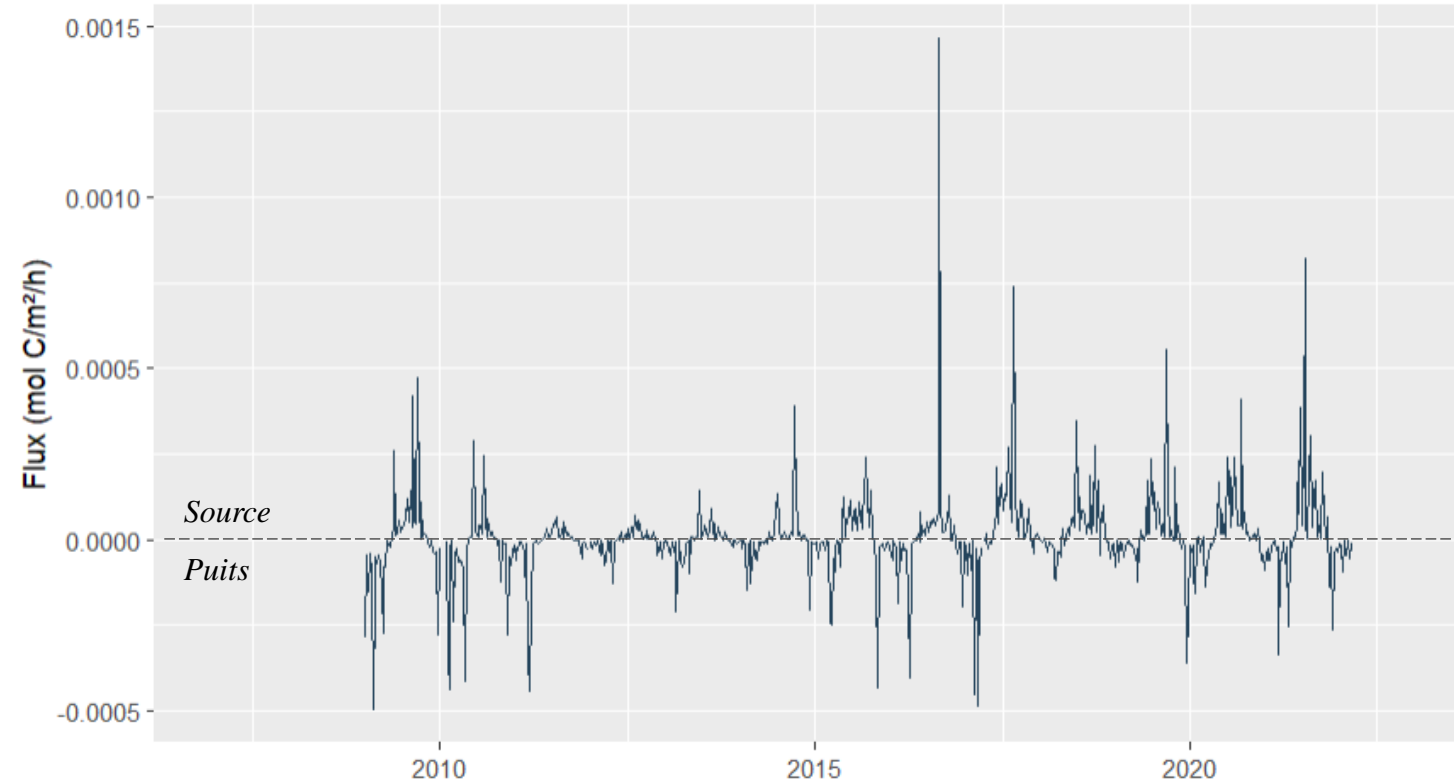
→ Calcul flux : Wanninkhof (1992 and 2014), Ho et al. (2006)

Formule : $F = K\alpha\Delta pCO_2$

K vitesse de transfert du gaz
 α solubilité du gaz
 ΔpCO_2 $pCO_{2(sw)} - pCO_{2(air)}$



CO₂ fluxes between ocean and atmosphere at Point B (2009-2022)



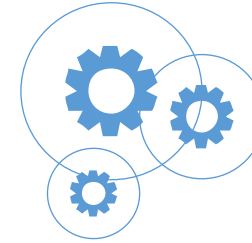


Oxygène dissous

Données haute fréquence sur 5 ans

Tendances

Variations journalières (importance biologie)



Comparaison autres sites méditerranéens

Comparaison des tendances



Autres méthodes d'analyses statistiques

Autocorrélation

Transformée de Fourier



Apports de la mesure à haute-fréquence

Temps nécessaire à la détection de tendances



MERCI

