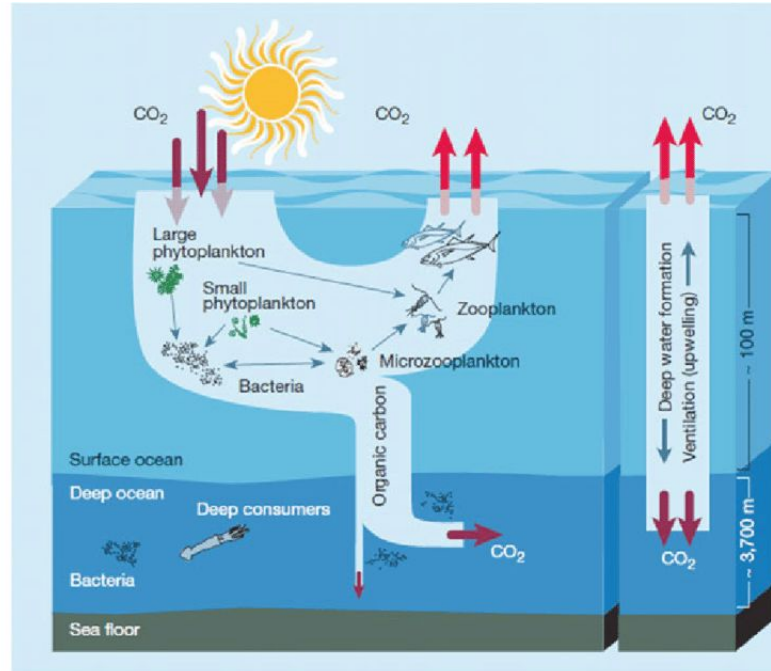


Dynamique et bilan du carbone inorganique dissous dans la zone de convection profonde de Med. NO

Caroline Ulses, Claude Estournel, Patrick Marsaleix, Karlina Soetaert, Marine Fourrier, Laurent Coppola, Dominique Lefèvre, Fayçal Kessouri, Franck Touratier, Catherine Goyet, Véronique Guglielmi, Pierre Testor, Xavier Durrieu de Madron - Soumis



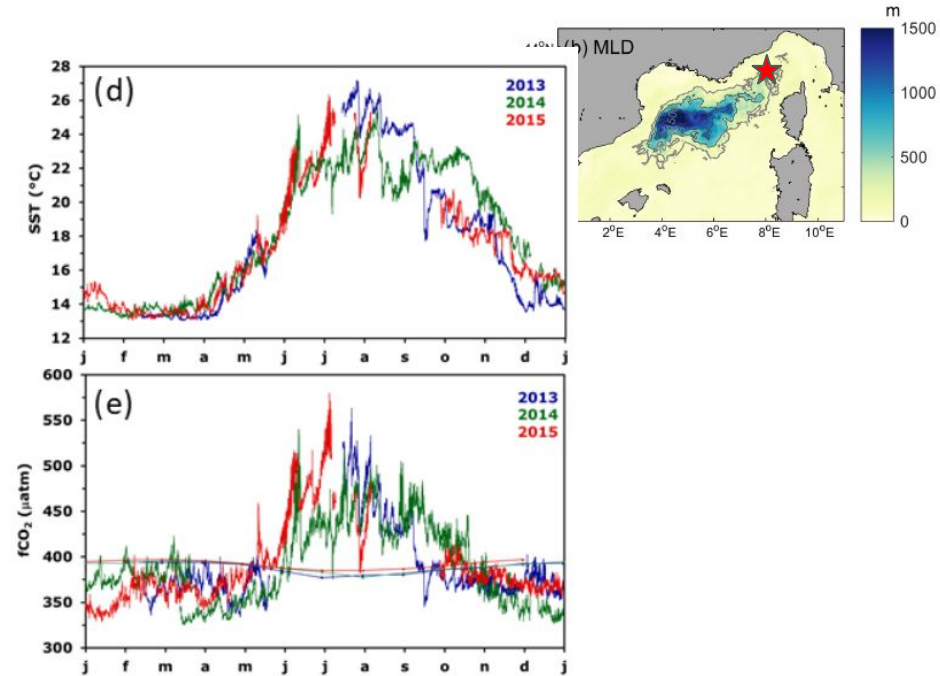
Les échanges air-mer de CO₂



Chisholm (2000)

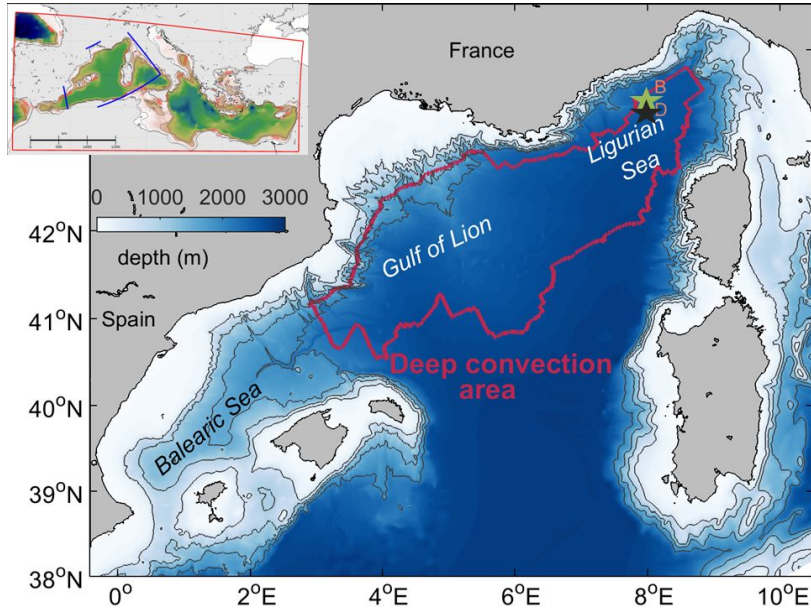
Cycle du carbone inorganique dissous

- La majorité des études sur le DIC ont été menées en mer Ligure où la convection est modérée
- Le cycle de $p\text{CO}_2$ en surface suit généralement celui de la température en surface
- En hiver : épisodes d'excès en CO_2 par rapport à l'atmosphère
- Pendant le bloom : déficit en CO_2 marqué



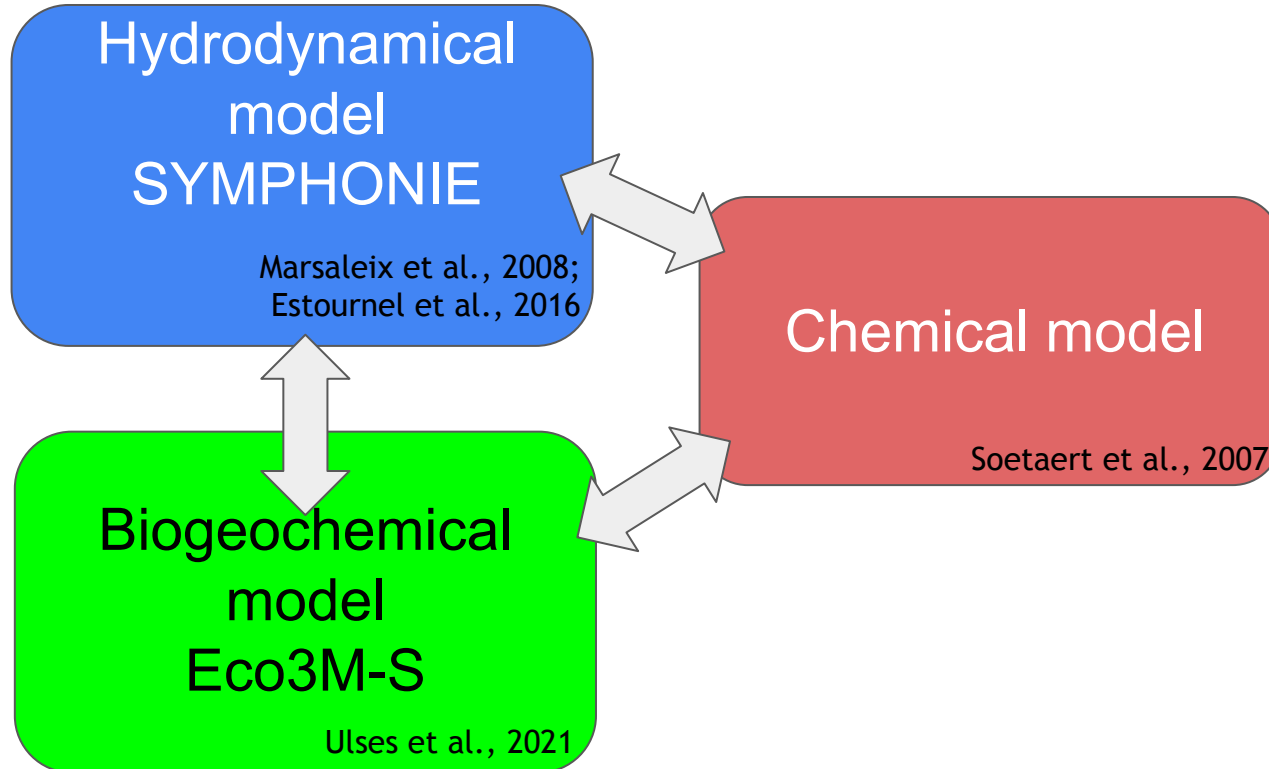
Merlivat et al. (2018), Hood and Merlivat (2001), Copin-Montégut et al. (2004), Mémery et al. (2002); Raick (2005)

Objectifs



- Etudier la dynamique du carbone inorganique dissous dans l'ensemble de la zone de convection profonde
- Quantifier la contribution des flux physiques, biogéochimiques et air-mer dans le bilan de carbone inorganique dissous

Modélisation couplée physique-bgc-chimique 3D

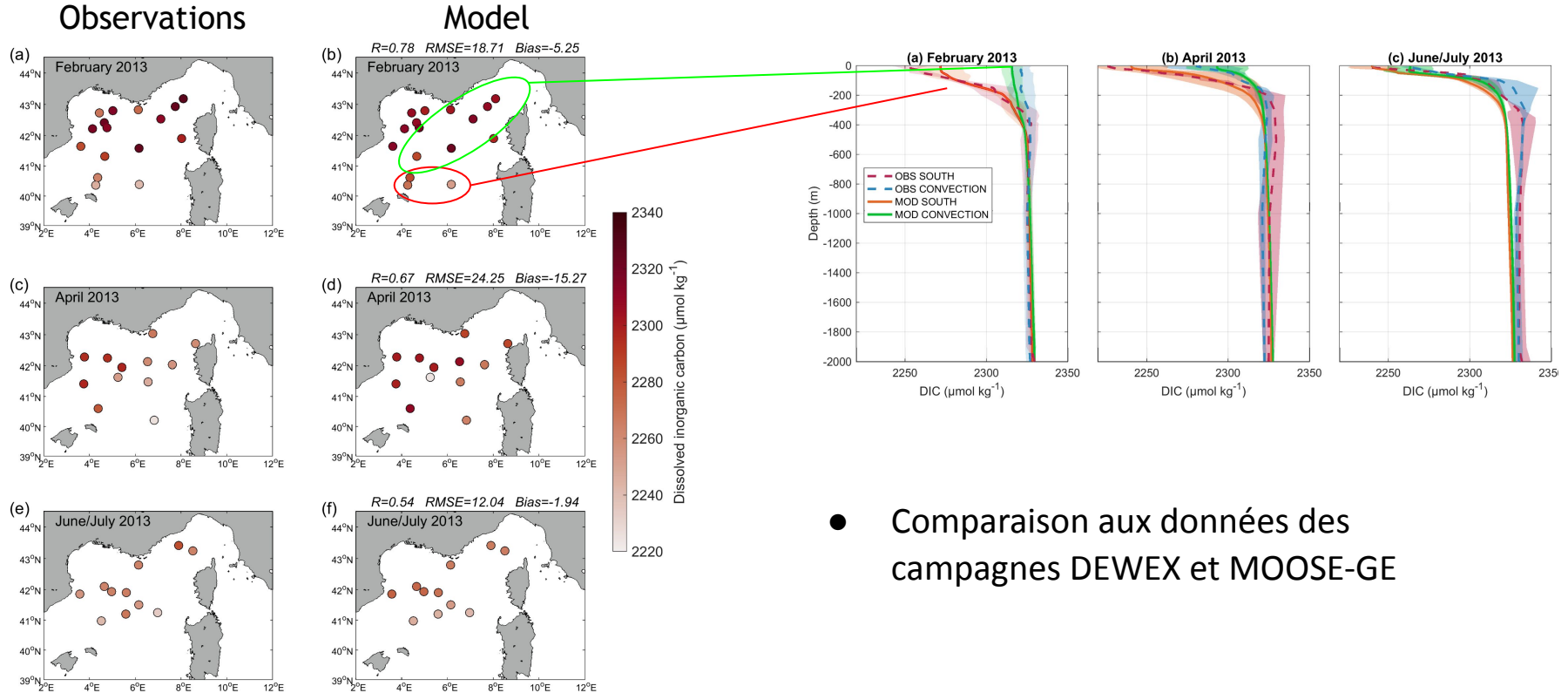


Evaluation du modèle

- Comparaison aux données des sites BOUSSOLE et DYFAMED



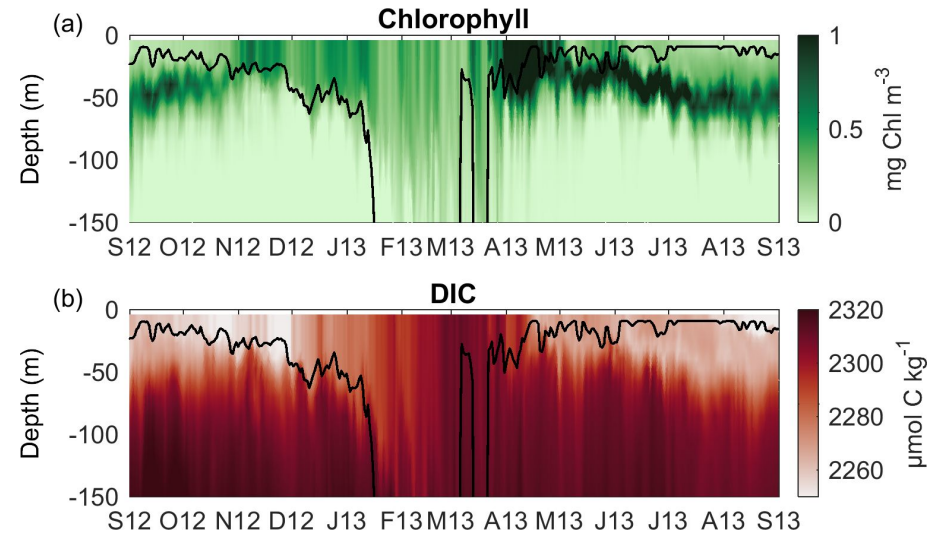
Evaluation du modèle



- Comparaison aux données des campagnes DEWEX et MOOSE-GE

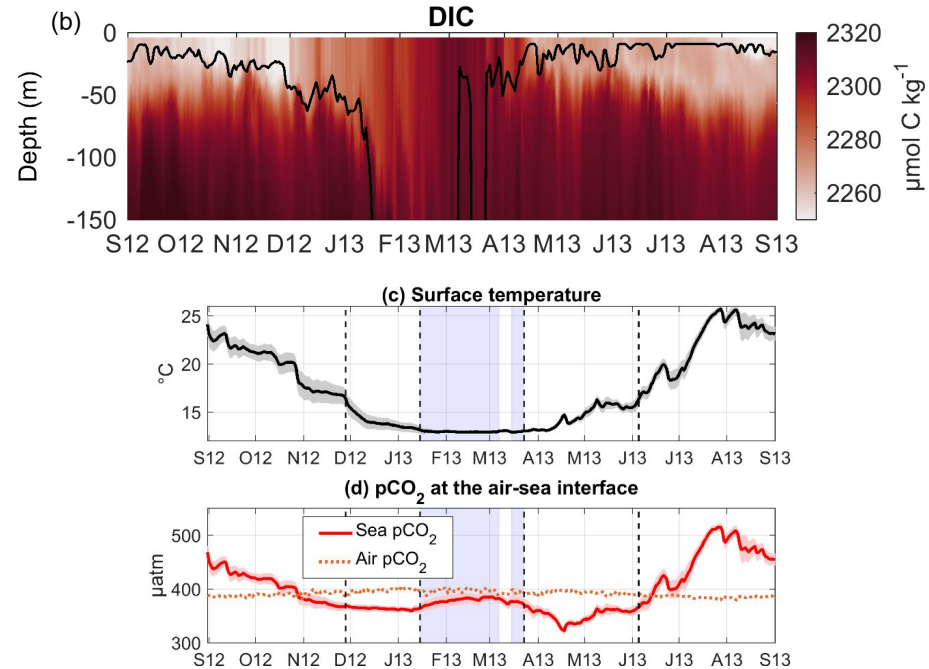
Dynamique du carbone inorganique dissous

- Mélange profond génère une forte remontée de DIC dans les masses d'eaux intermédiaires et de surface
- Croissance phytoplanctonique entraîne une consommation importante de DIC



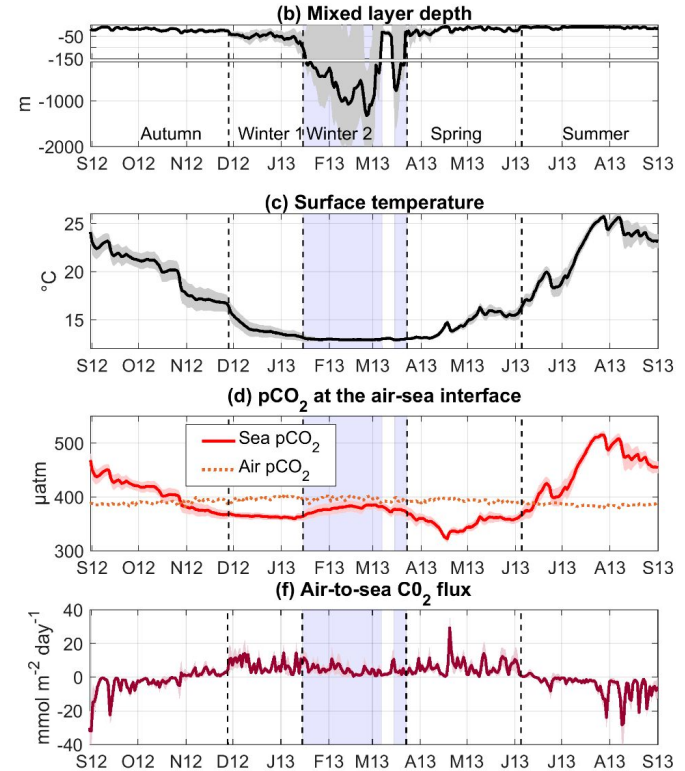
Flux air-mer de CO_2

- Mélange profond génère une forte remontée de DIC dans les masses d'eaux intermédiaires et de surface \Rightarrow **équilibre pendant la période de convection profonde**
- Croissance phytoplanctonique entraîne une consommation importante de DIC \Rightarrow **fort déficit pendant le bloom phytoplanctonique**

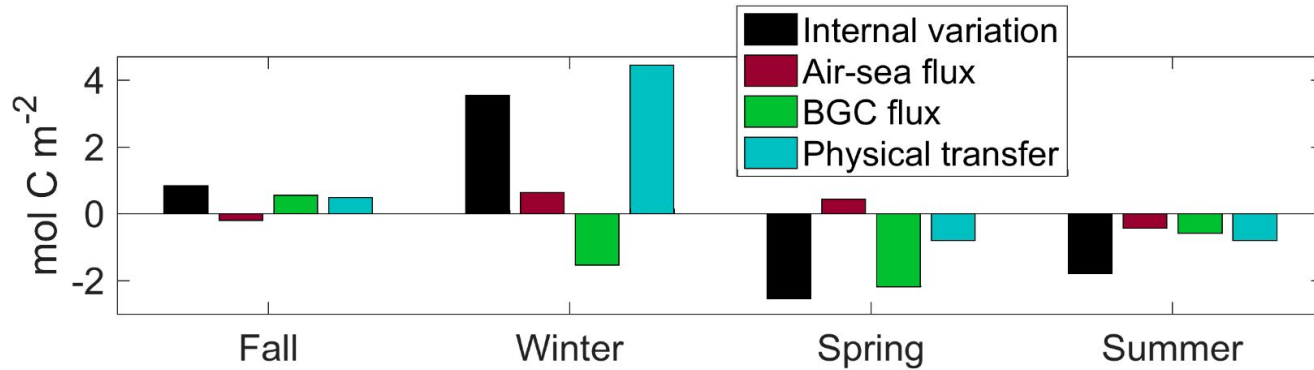


Flux air-mer de CO₂

- Mélange profond génère une forte remontée de DIC dans les masses d'eaux intermédiaires et de surface ⇒ **réduction de l'absorption de CO₂ atmosphérique**
- Croissance phytoplanctonique entraîne une consommation importante de DIC ⇒ **fort relargage juste après le bloom phytoplanctonique printanier**

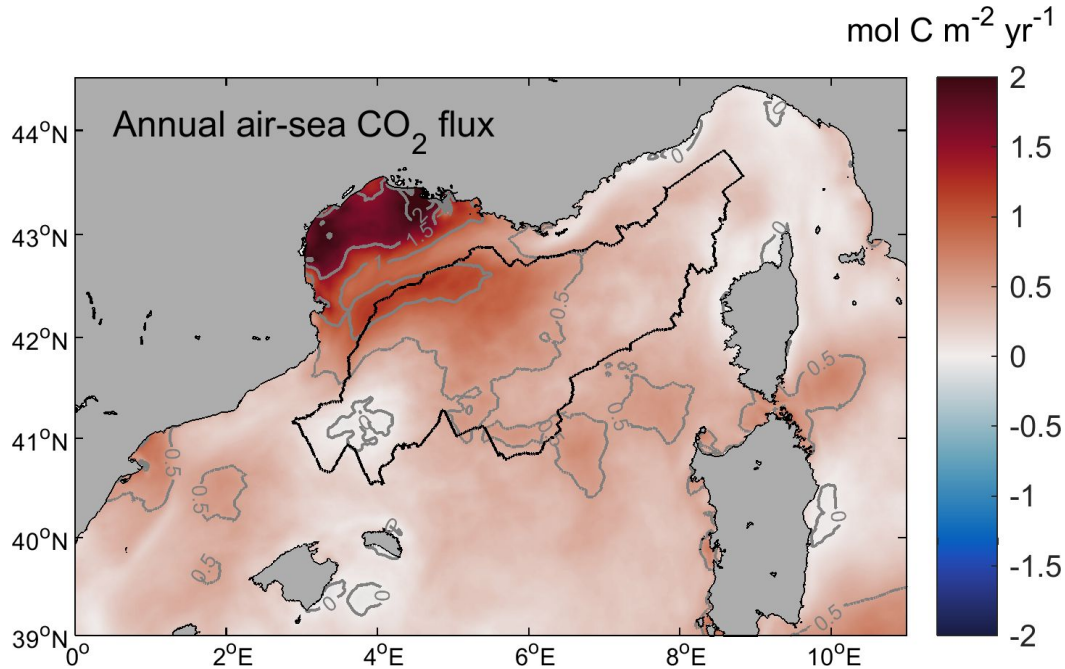


Bilan saisonnier de DIC dans la couche de surface de la zone de convection profonde



- La contribution des échanges air-mer est plus faible que celles des processus physiques et biogéochimiques

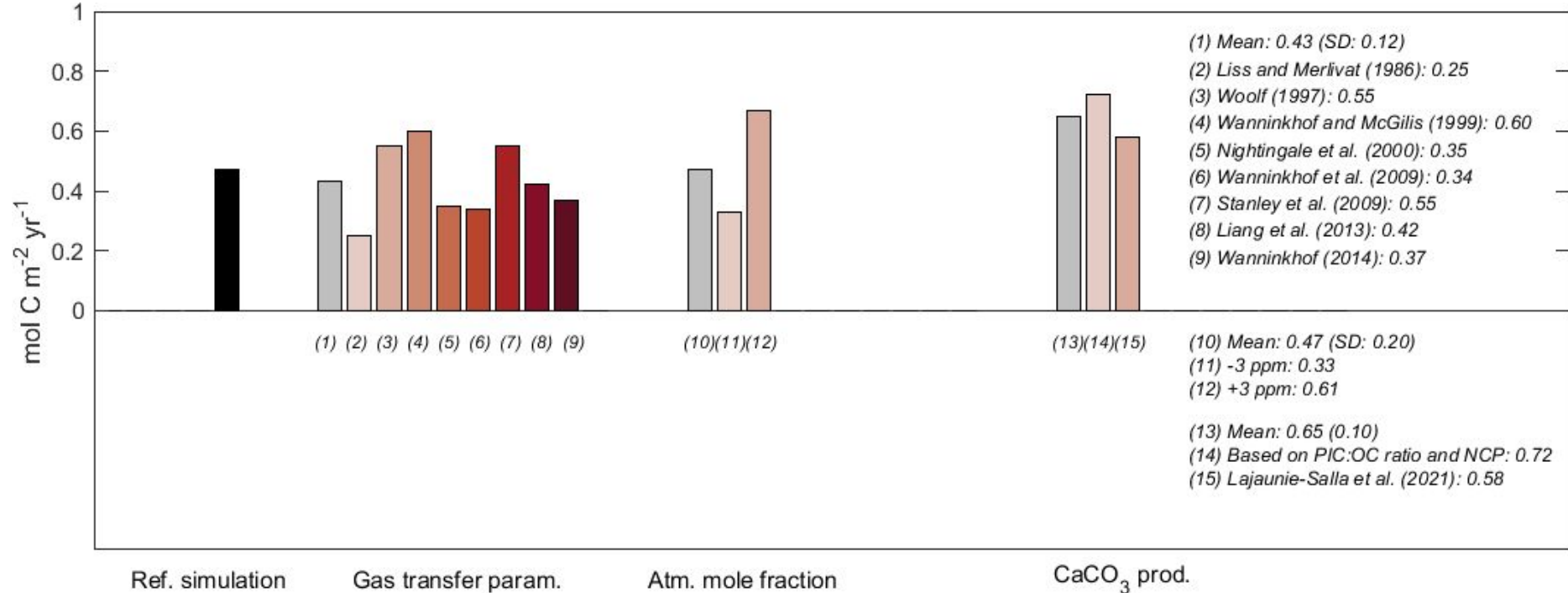
Flux air-mer de CO₂



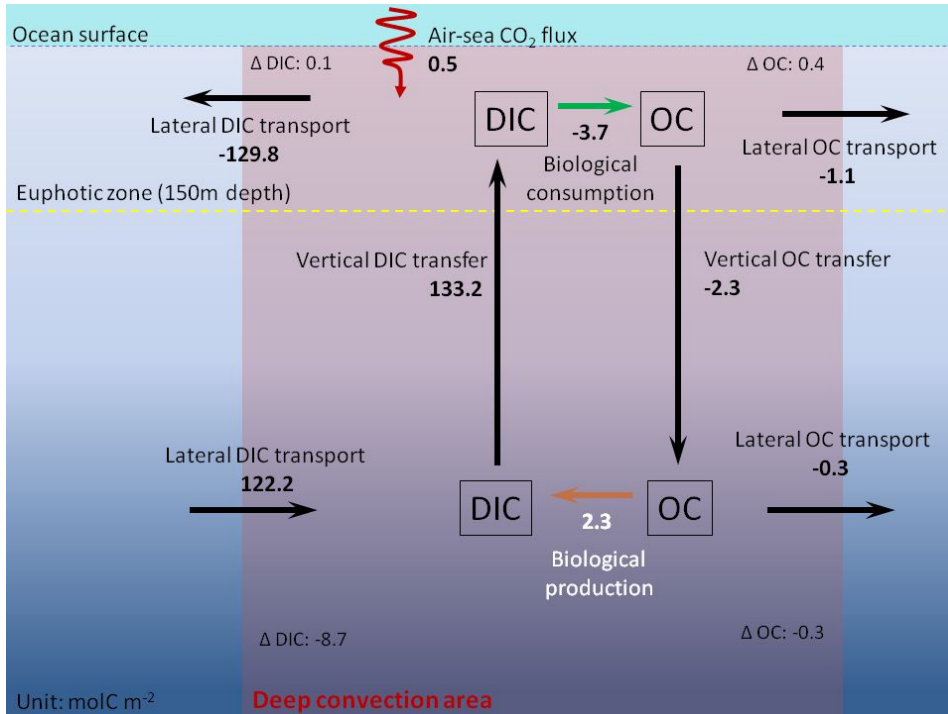
A l'éch. annuelle : puits de CO₂ atmos.
de 0.5 mol C m⁻² an⁻¹

⇒ Estimation proche d'estimations
précédentes à BOUSSOLE (0.45 mol C
m⁻² an⁻¹ by Merlivat et al. (2018))

Incertitudes des flux air-mer



Bilan annuel



- Bilan du carbone inorganique est dominé par les processus physiques et biogéochimiques
- Le transfert vertical de DIC est en partie équilibré par un export horizontal

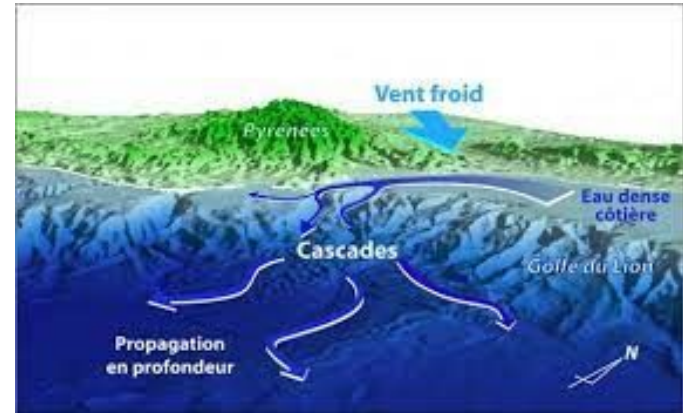
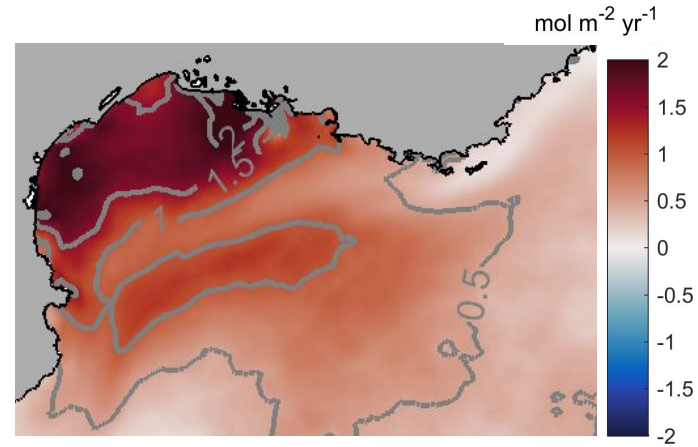
Conclusion et perspectives

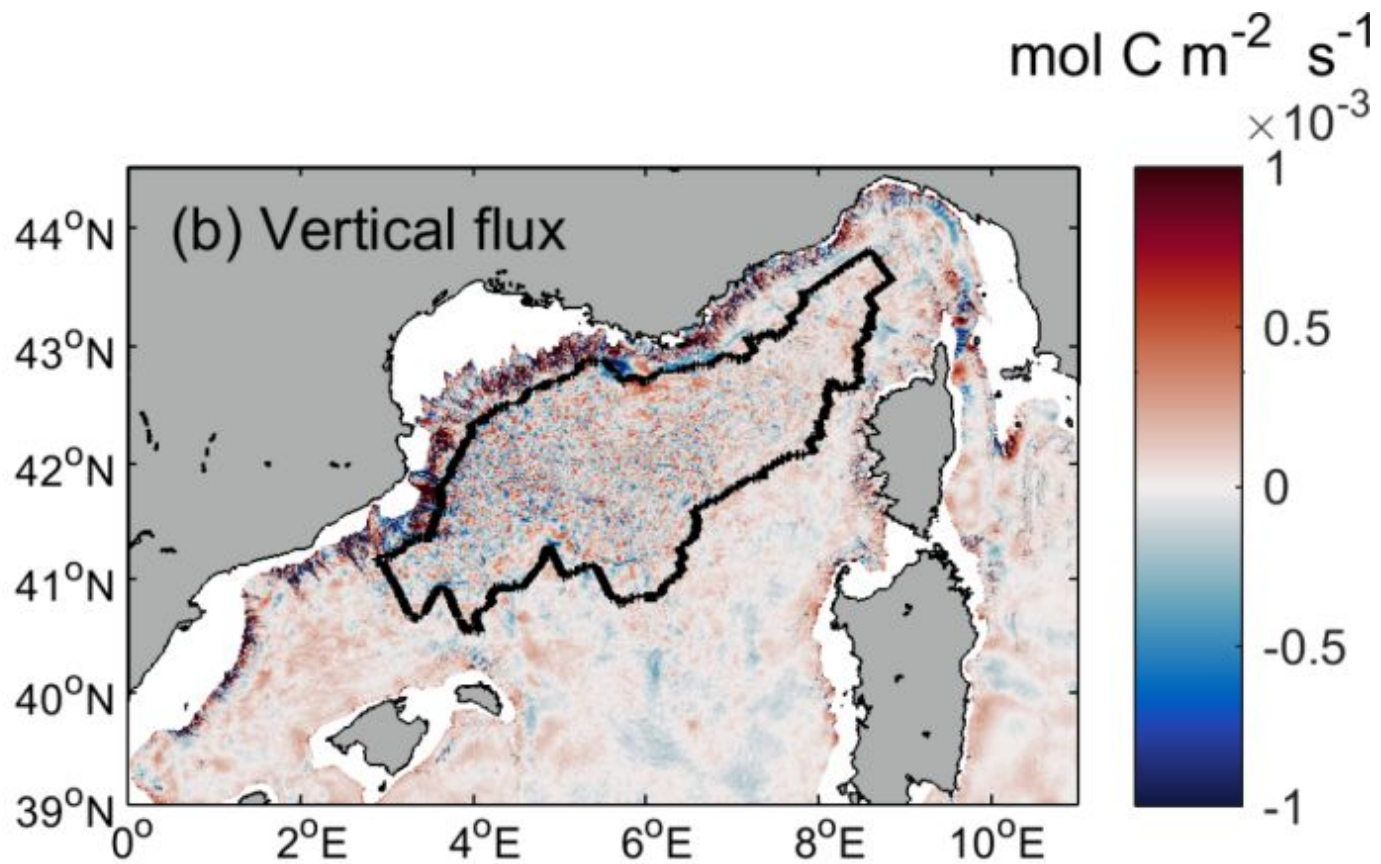
Conclusion :

La zone de convection profonde est un puits de CO_2 atmosphérique, et une source de CO_2 pour les eaux de surface et intermédiaires environnantes.

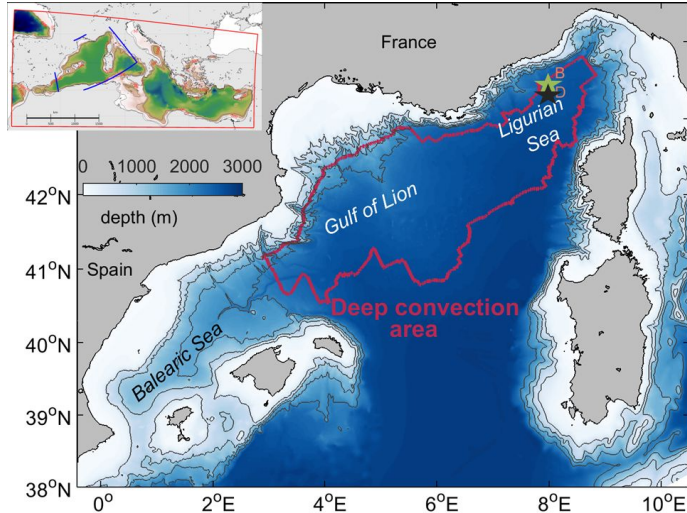
Perspectives :

- Processus de transfert de carbone
- Variabilité interannuelle et tendances
- Dynamique sur le plateau continental





Methodology: budget calculation



$$\Delta \text{DIC inventory} = \text{Air-sea flux} + \text{BGC flux} + \text{Physical flux}$$

$$\text{Air-sea flux} = \rho K_0 K_w (p\text{CO}_{2,\text{atm}} - p\text{CO}_{2,\text{sea}})$$

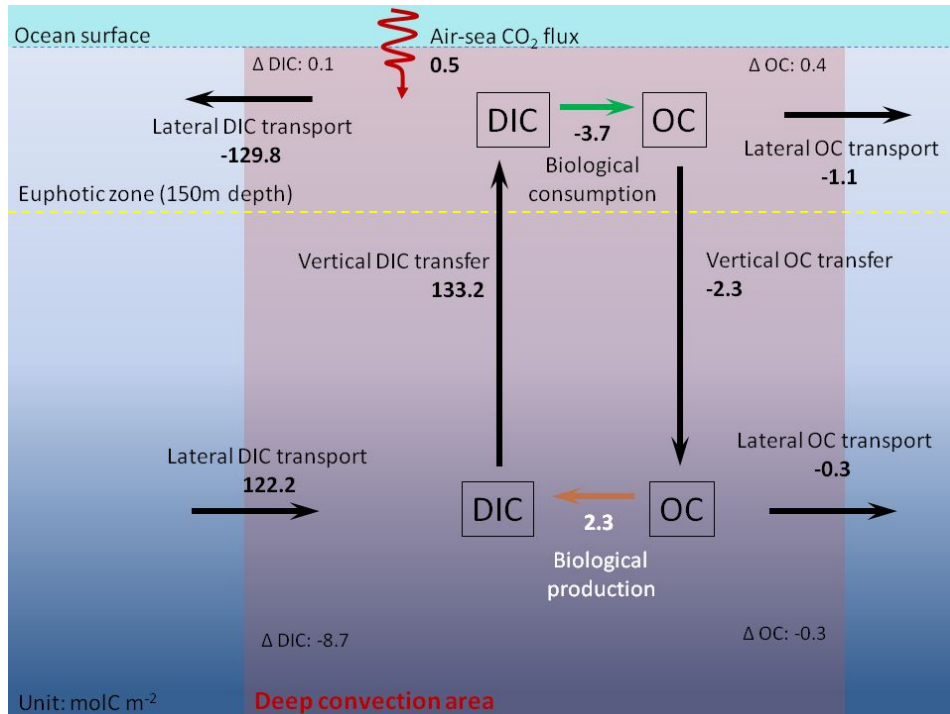
$$\text{BGC flux} = \text{GPP} - \text{Respiration}$$

$$\text{Physical flux} = \text{Lateral flux} + \text{Vertical flux}$$

deduced from
the other terms¹⁷

Contribution of the NW Med. deep convection area

NW deep convection : sink of CO_2 for the atmosphere of 0.4 Tg C yr^{-1}



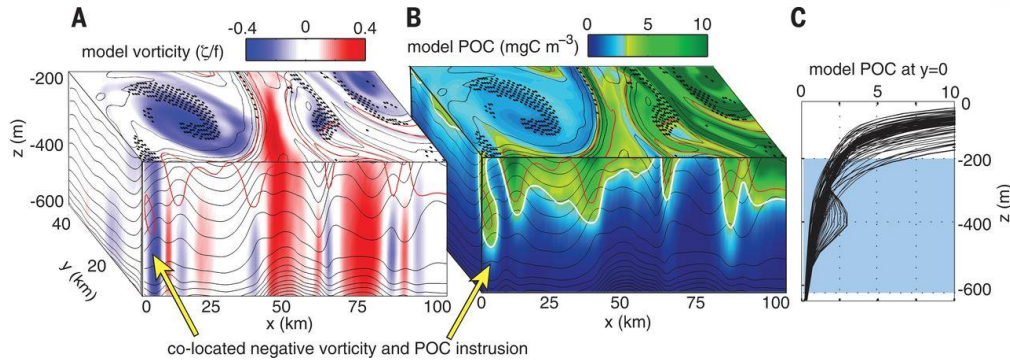
Estimates for the whole Med. Sea:

- $0.2\text{-}2.6 \text{ Tg C yr}^{-1}$ only open seas (D'Ortenzio et al., 2008; Cossarini et al., 2021)
- $4.2\text{-}12.6 \text{ Tg C yr}^{-1}$ with cont. shelves (Copin-Montégut, 1993; Cossarini et al., 2021; Solidoro et al., 2022)

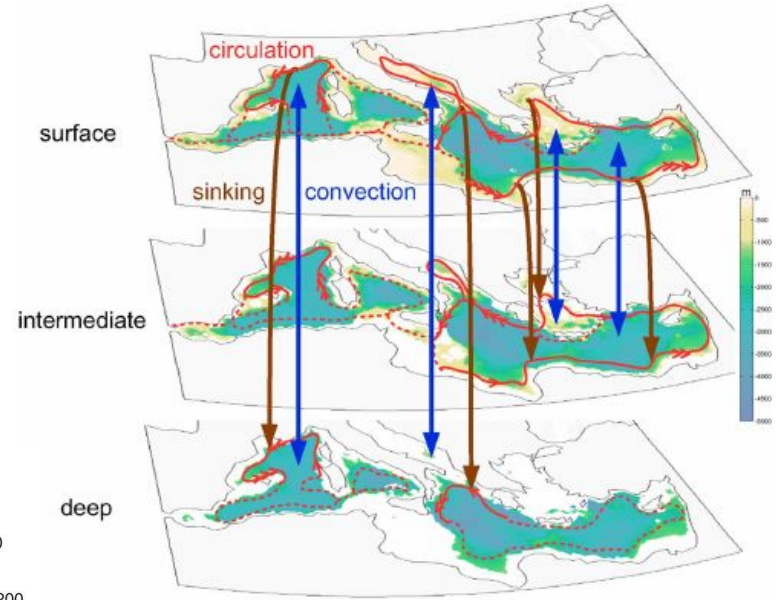
⇒ NW Med deep convection area (2.5 % of surface): up to 10%

Future works

- Investigate the physical transfer of carbon



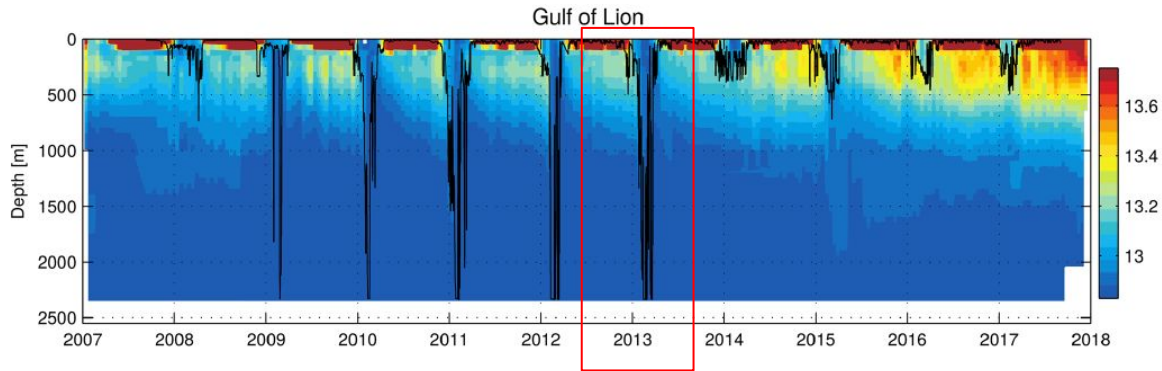
Omand et al. (2015)



Waldmann et al. (2018)

Future works

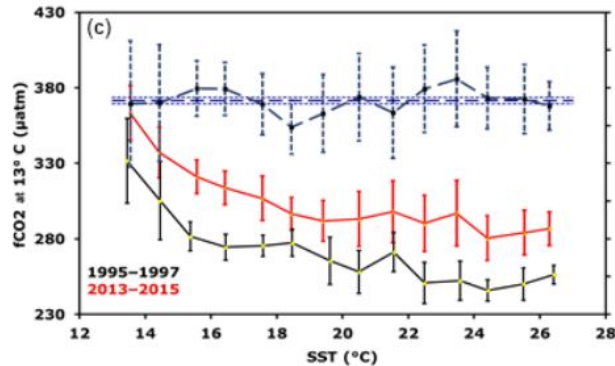
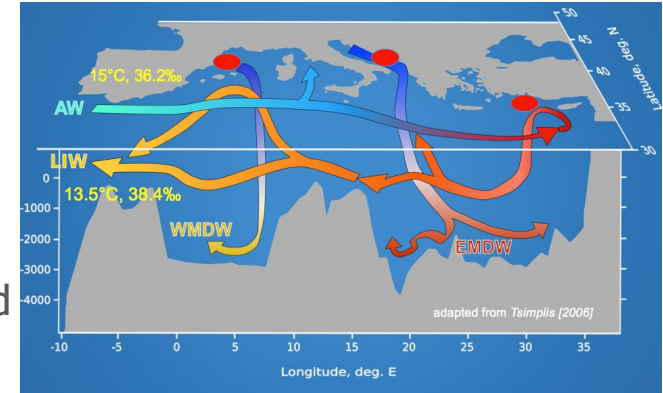
- Investigate the physical transfer of carbon
- To study interannual variability and long term trend



Margirier et al. (2020)

Future works

- Investigate the physical transfer of carbon
- To study interannual variability and long term trend

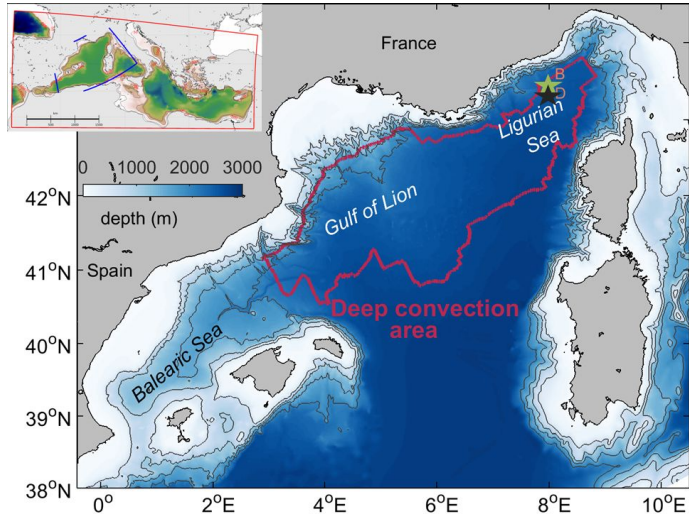


Merlivat et al. (2018)

Annual changes in DIC between 1995-1997 and 2013-2015 : increase in sea surface $25.2 \pm 2.7 \mu\text{mol kg}^{-1}$

contribution due to ocean uptake of anthropogenic CO₂ : $20.8 \pm 1.3 \mu\text{mol kg}^{-1}$

Methodology: budget calculation



$$\Delta \text{DIC inventory} = \text{Air-sea flux} + \text{BGC flux} + \text{Physical flux}$$

$$\text{Air-sea flux} = \rho K_0 Kw (p\text{CO}_{2,\text{atm}} - p\text{CO}_{2,\text{sea}})$$

Kw : gas transfer coef. (Wanninkhof, 1992)

K_0 : CO_2 solubility (Weiss, 1974)

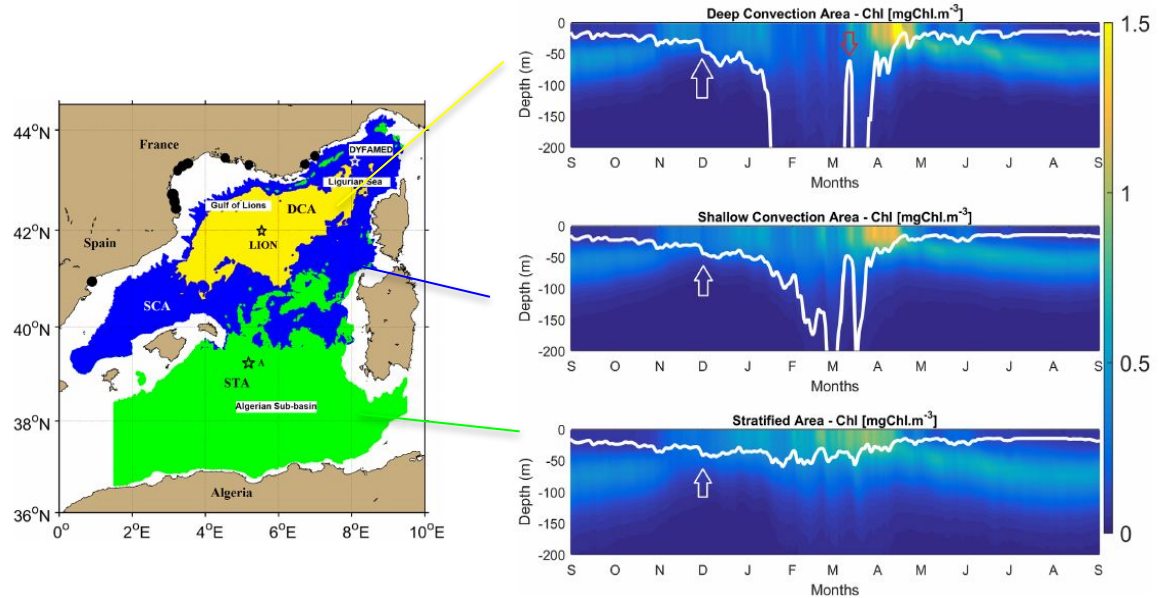
$$\text{BGC flux} = \text{GPP} - \text{Respiration}$$

$$\text{Physical flux} = \text{Lateral flux} + \text{Vertical flux}$$

deduced from
the other terms

Convection profonde - Cycle du C

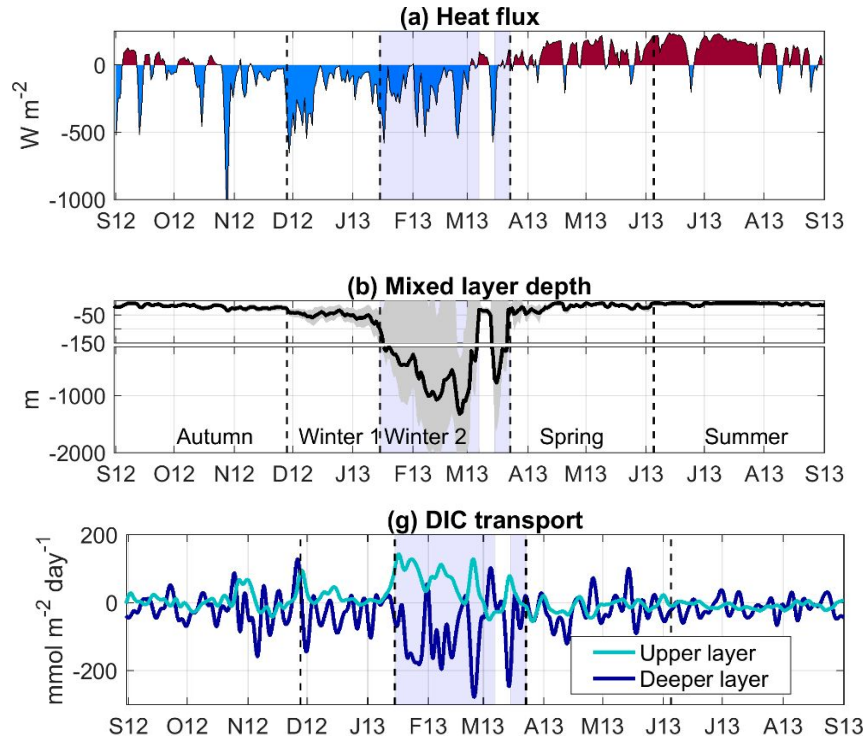
Croissance phytoplanctonique



Kessouri et al. (2018)

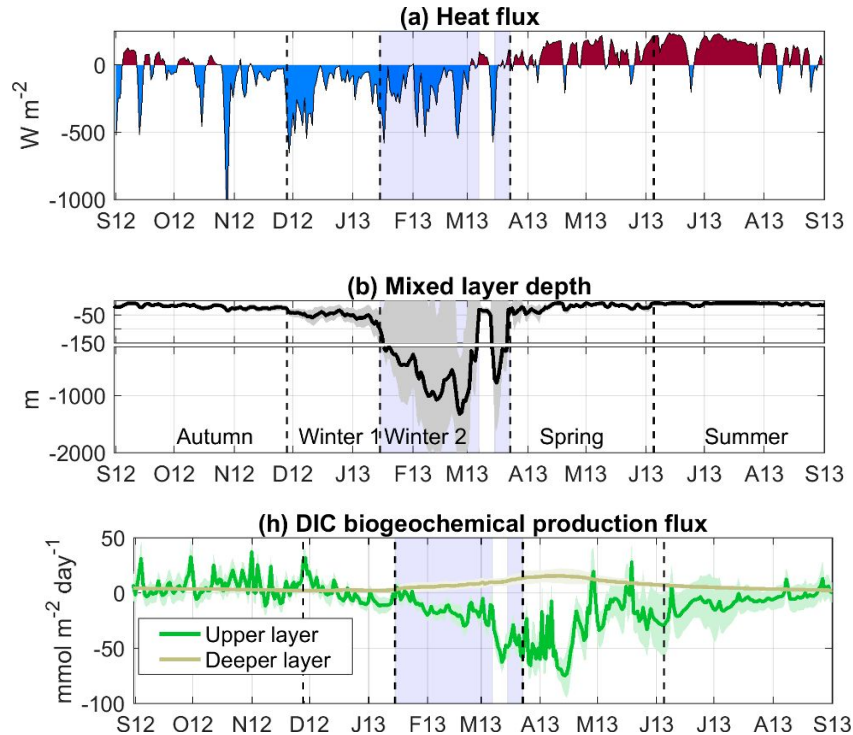
DIC dynamics in the NW Med. deep convection area

Physical flux



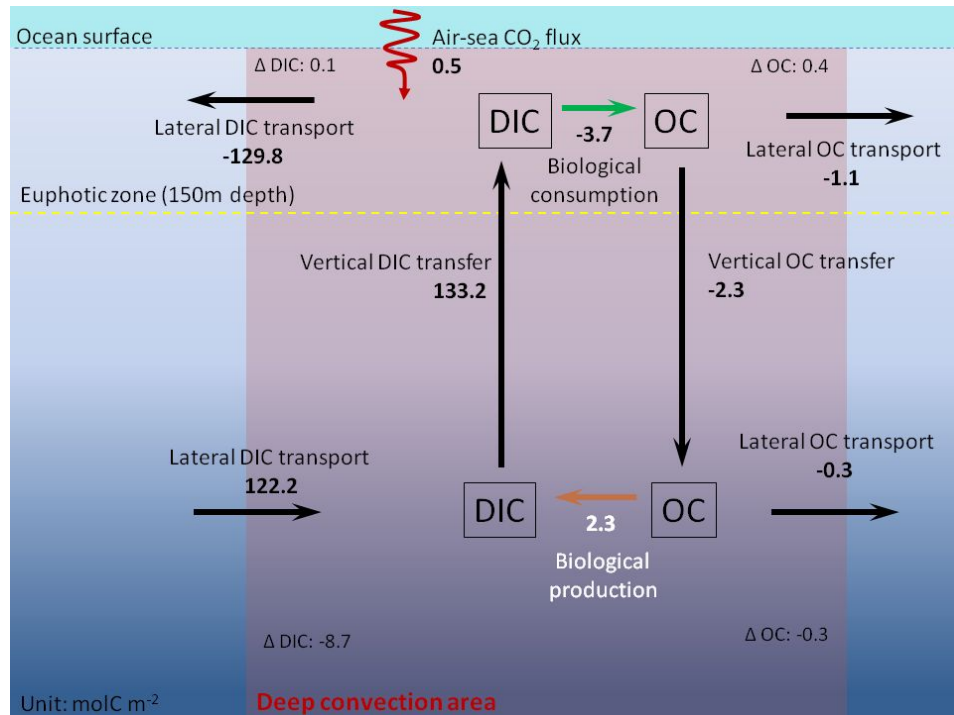
DIC dynamics in the NW Med. deep convection area

Biological flux



Contribution of the NW Med. deep convection area

NW deep convection : sink of CO_2 ... the amount of CO_2 is 0.4 Tg C yr^{-1}

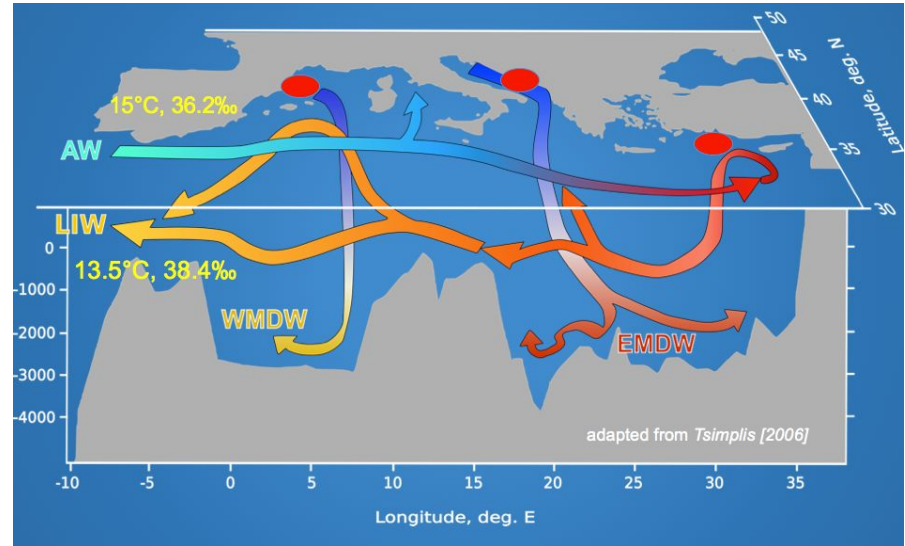
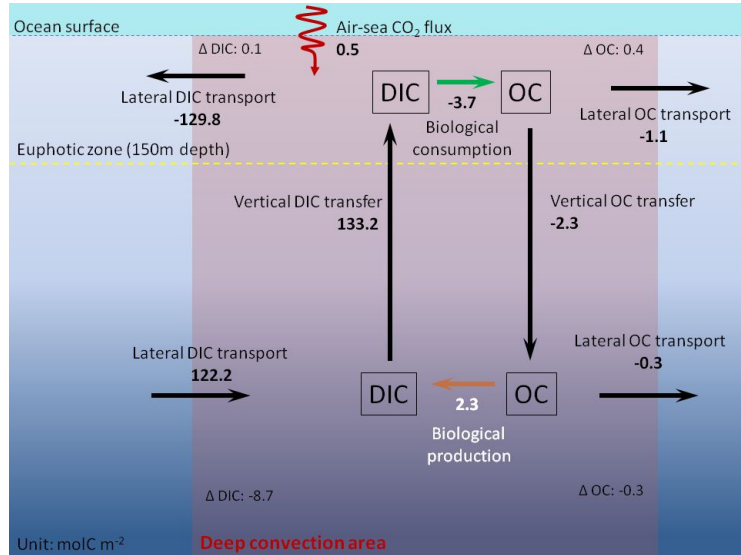


Estimates for the whole Med. Sea:

- 0.2-2.6 Tg C yr^{-1} only open seas (D'Ortenzio et al., 2008; Cossarini et al., 2021)
- 4.2-12.6 Tg C yr^{-1} with cont. shelves (Copin-Montégut, 1993; Cossarini et al., 2021; Solidoro et al., 2022)

⇒ NW Med deep convection area (2.5 % of surface): up to 10%

Contribution of the NW Med. deep convection area

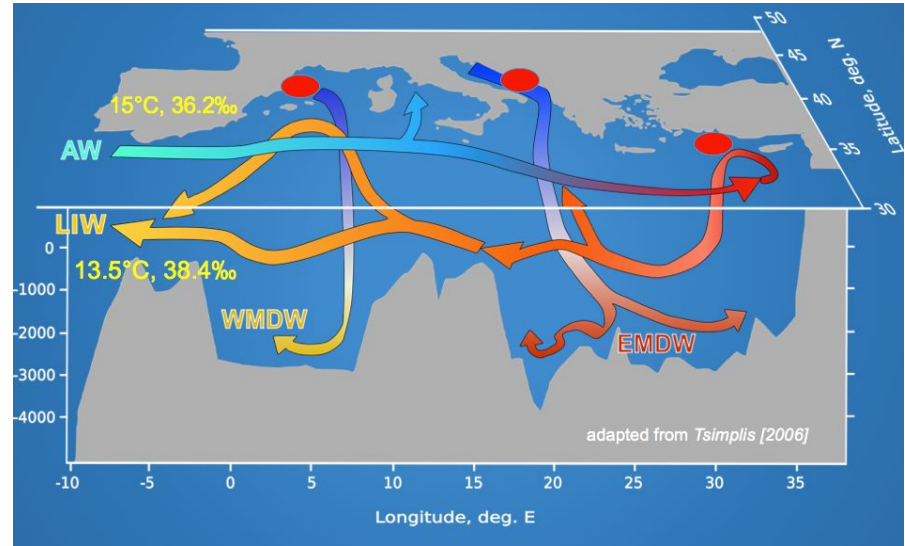
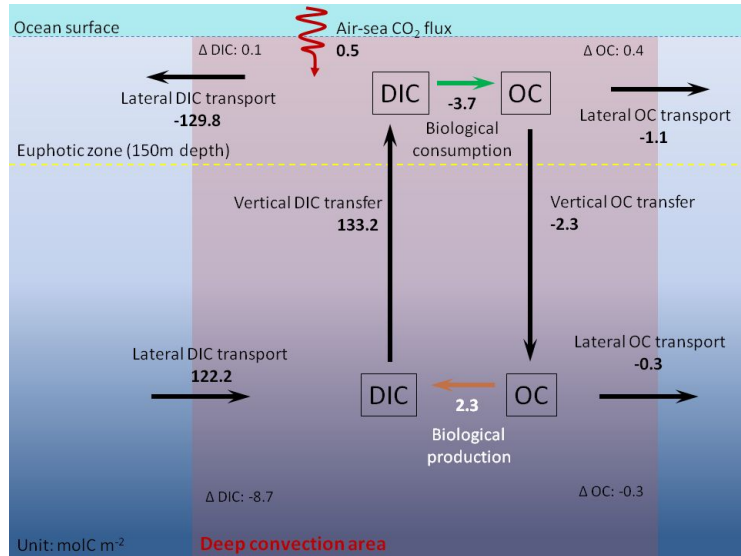


Lateral outflow in the Surface Water: 109 Tg C yr^{-1}

⇒ between 8 to 22% of the Atlantic CO_2 surface inflow (487 to $1310 \text{ Tg C yr}^{-1}$ by Ait-Ameur and Goyet (2006) and Solidoro et al. (2022))

⇒ 21% of the DIC outflow from the western to the eastern Mediterranean sub-basin (509 Tg C yr^{-1} Solidoro et al. (2022))

Contribution of the NW Med. deep convection area

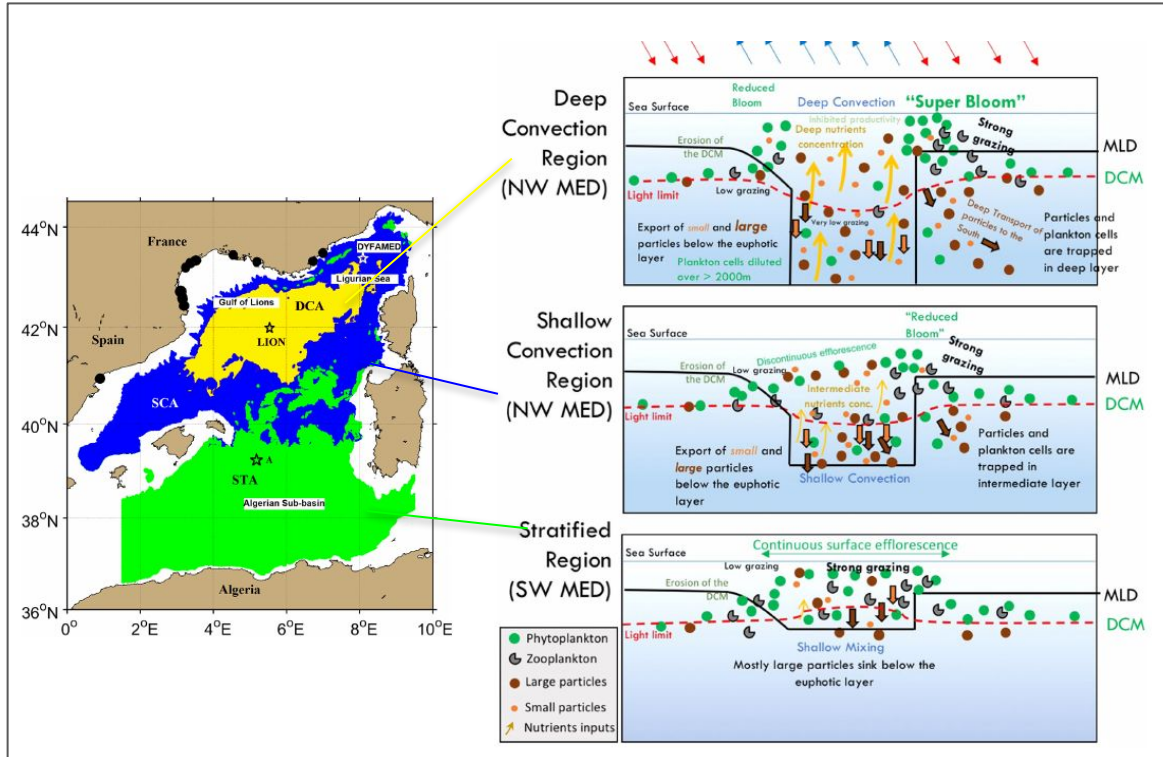


Lateral outflow in the Intermediate Water: 73 Tg C yr^{-1}

⇒ 11% to the export of DIC at the Gibraltar Strait towards the Atlantic Ocean (680 and $1380 \text{ Tg C yr}^{-1}$ Ait-Ameur and Goyet (2006))

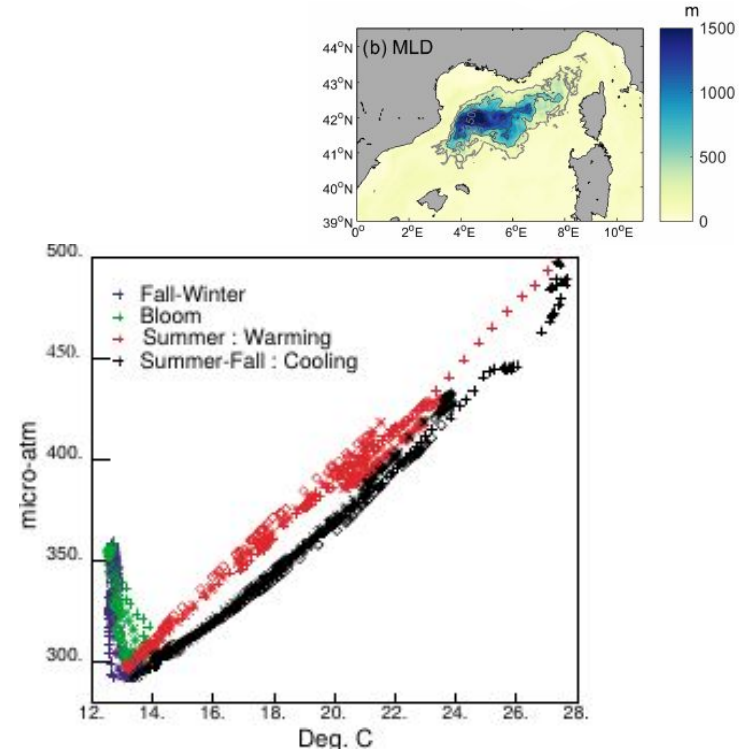
Cycle du carbone organique

- Taux de production primaire dans la zone de convection profonde similaire aux régions plus stratifiées
- Export de carbone organique 5 à 8 fois plus important dans la zone de convection profonde



Cycle du carbone inorganique dissous

- La majorité des études sur le DIC ont été menées en mer Ligure où la convection est modérée
- Le cycle de $p\text{CO}_2$ en surface suit généralement celui de la température en surface
- En hiver : épisodes d'excès en CO_2 par rapport à l'atmosphère
- Pendant le bloom : déficit en CO_2 marqué



Mémery et al. (2002), Hood and Merlivat (2001)