

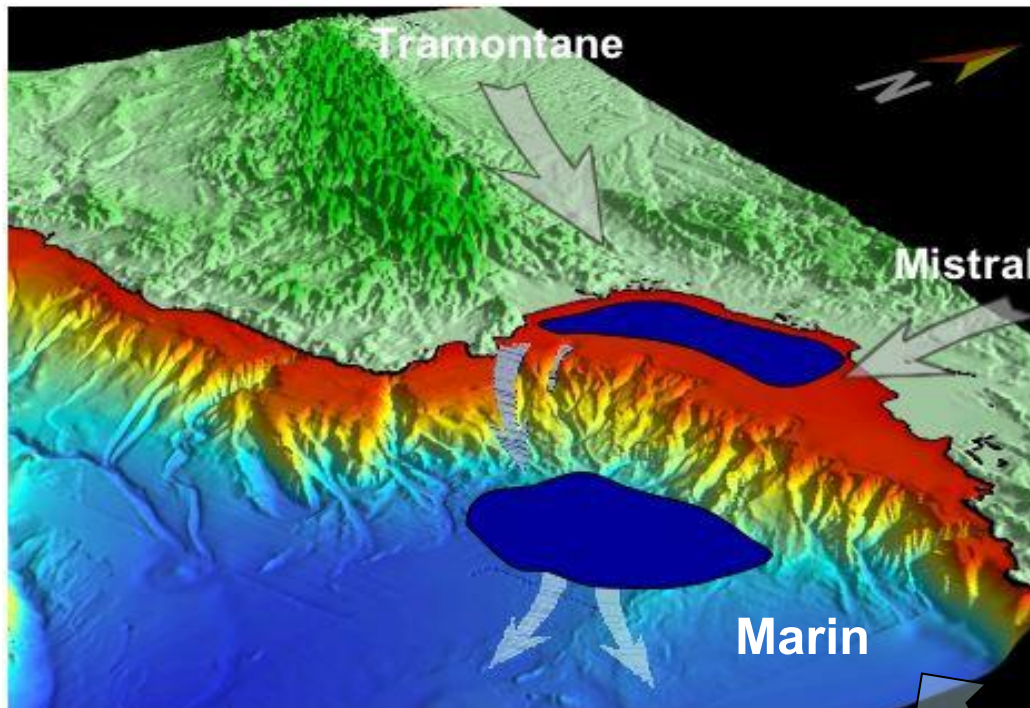
Modélisation hydrodynamique et biogéochimique de la Méditerranée nord-occidentale

Claude Estournel & Caroline Ulses

Colloque NW Med ILICO - Novembre 2022



La Méditerranée nord-occidentale



Modèle couplé physique-bgc-chimique-transport séd 3D

Hydrodynamic model
SYMPHONIE

Marsaleix et al. (2008)

The logo for Sirocco, featuring the word "sirocco" in a stylized, lowercase font with a globe icon integrated into the letter 'o'.

Chemical model

Soetaert et al. (2007)

Biogeochemical
model

Eco3M-S

Ulses et al. (2021)

Transport sediment
model

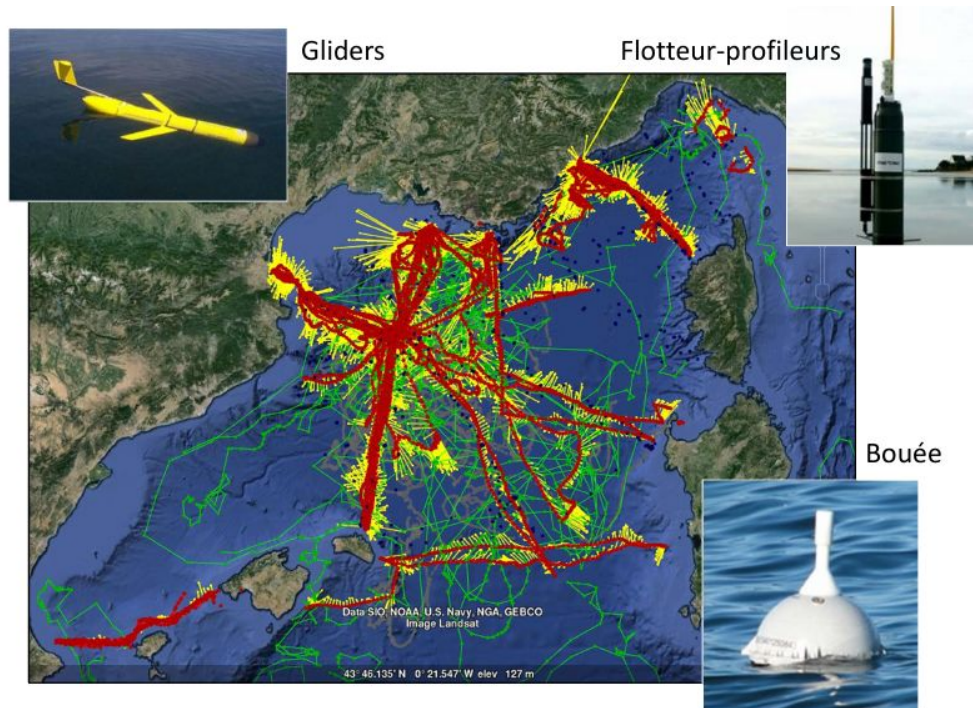
MUSTANG

Le Hir et al. (2011)

Convection profonde - Evaluation du modèle couplé

Projet DEWEX - Programme MOOSE

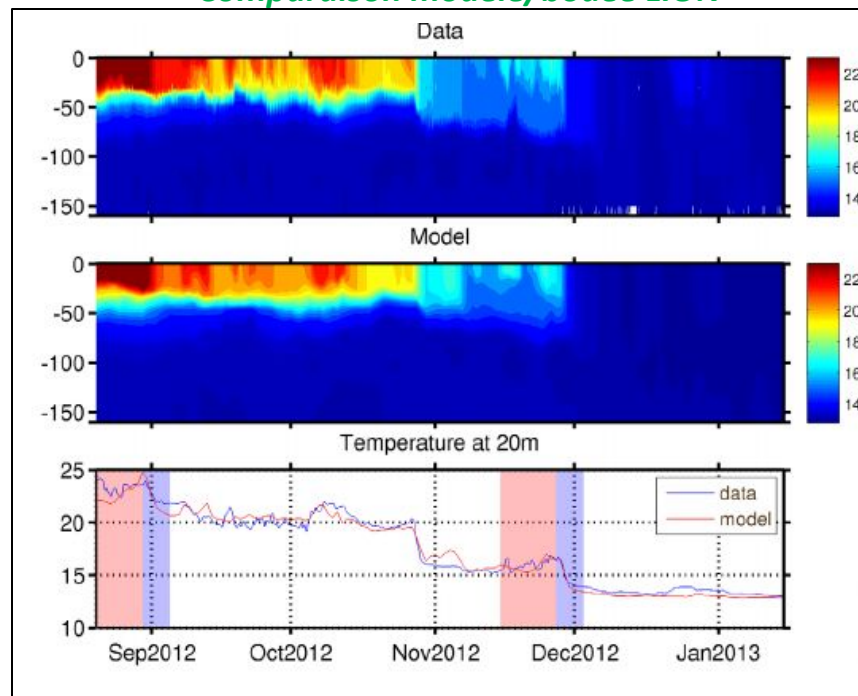
- **Variabilité spatiale et temporelle** (haute fréquence, saisonnière et interannuelle)
- **Distribution verticale** de T, S, nutriments, chlorophylle, MOD, MOP, O₂, C_T et A_T
- **Processus** (formation de tourbillons, méso/subméso-échelle croissance bactérienne, production primaire, export de POM)



Convection profonde - Evaluation du modèle couplé

- **Bouée LION** : variabilité temporelle

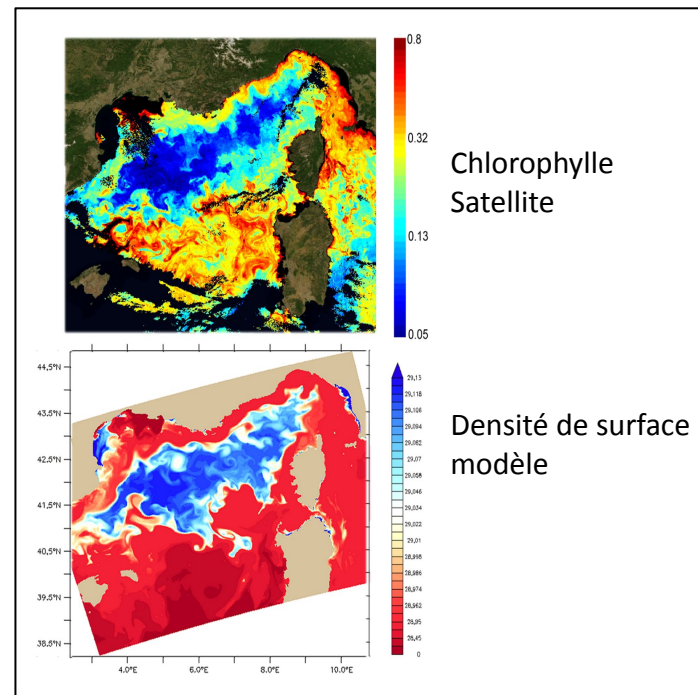
Comparaison modèle/bouée LION



Convection profonde - Evaluation du modèle couplé

- **Bouée LION** : variabilité temporelle
- **Satellite/glider** : structures méso, submésoéchelles

Comparaison modèle/campagnes

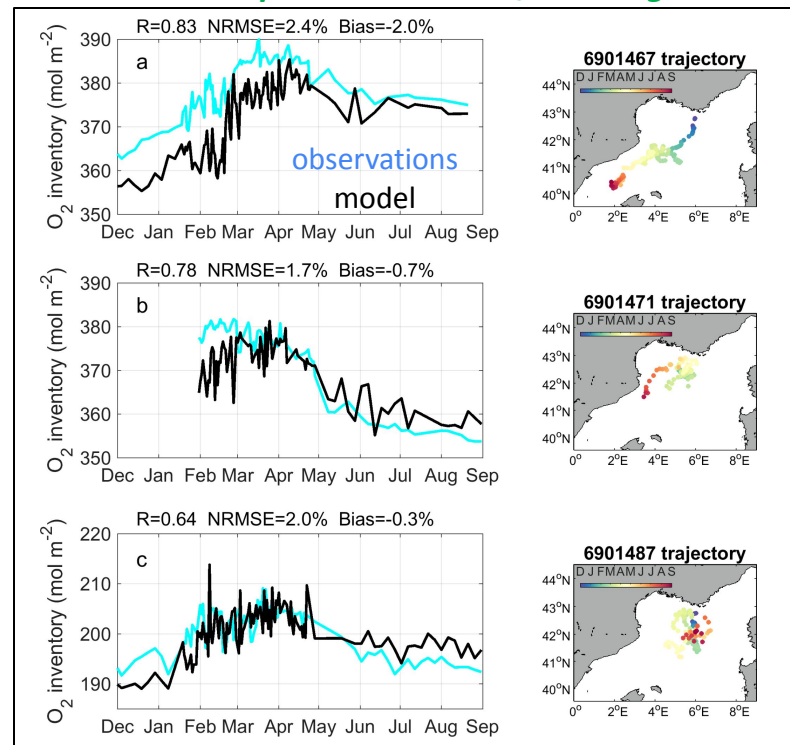


Estournel et al. (2016)

Convection profonde - Evaluation du modèle couplé

- **Bouée LION** : variabilité temporelle
- **Satellite/glider** : structures méso, submésoséchelles
- **Flotteurs BGC-Argo** : variabilité temporelle du contenu en O_2

Comparaison modèle/BGC-Argo

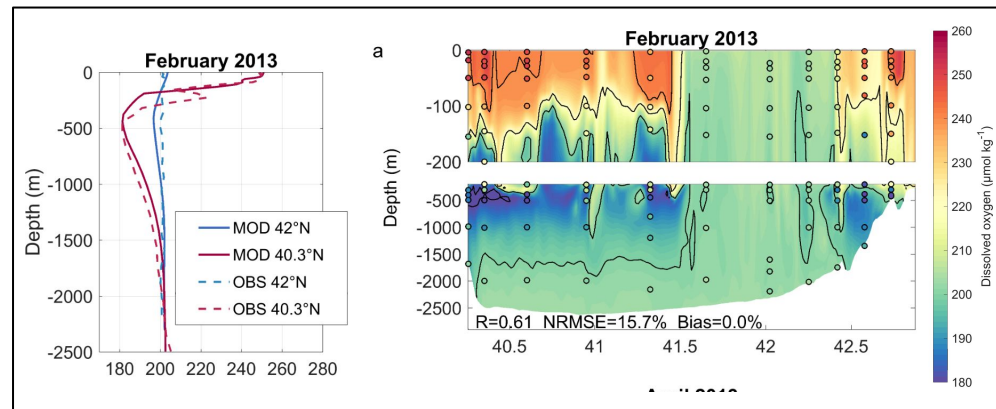


Ulses et al. (2021)

Convection profonde - Evaluation du modèle couplé

- **Bouée LION** : variabilité temporelle
- **Satellite/glider** : structures méso, submésoéchelles
- **Flotteurs BGC-Argo** : variabilité temporelle du contenu en O_2
- **Campagnes en mer**: variabilité saisonnière de la distribution verticale

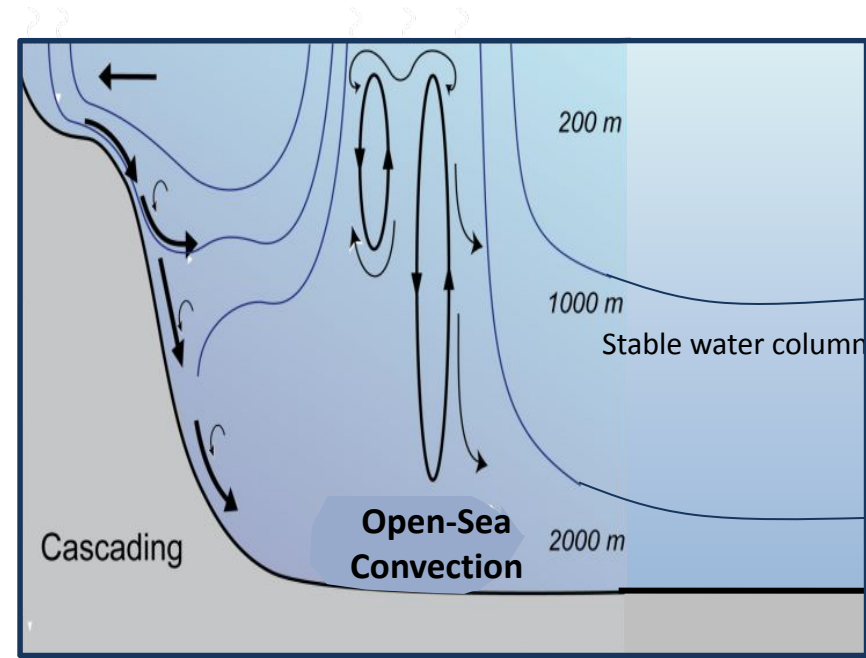
Comparaison modèle/campagnes



Ulses et al. (2021)

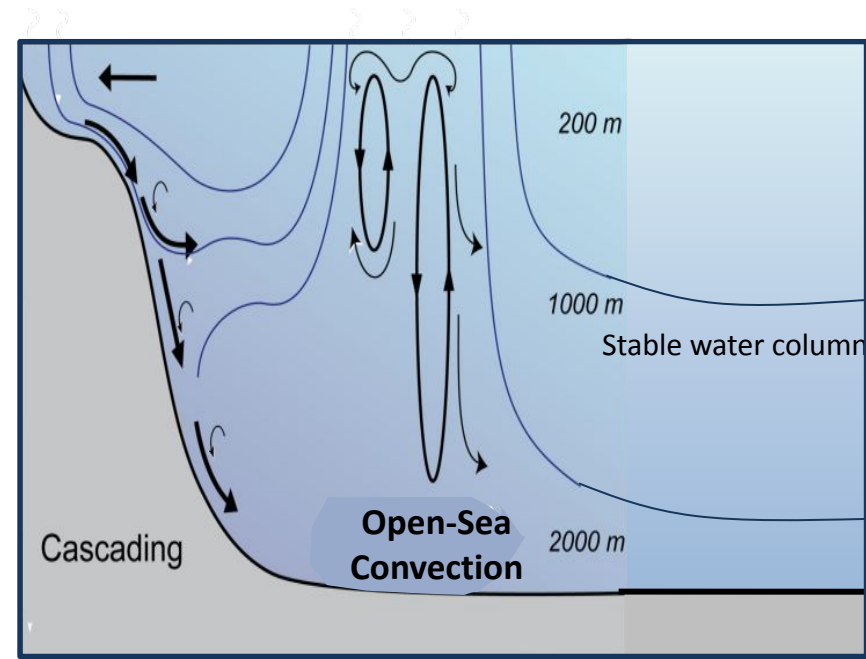
Convection profonde - Questions scientifiques

- Quel est le rôle des processus de différentes échelles sur la convection, depuis le pré-conditionnement jusqu'à la restratification ?
- Quel est l'impact de la convection profonde sur le **cycle du carbone**, et en particulier sur les échanges air-mer et l'export vers les eaux profondes ?
- Quel est son impact sur la **ventilation** de la Méditerranée nord-occidentale ?



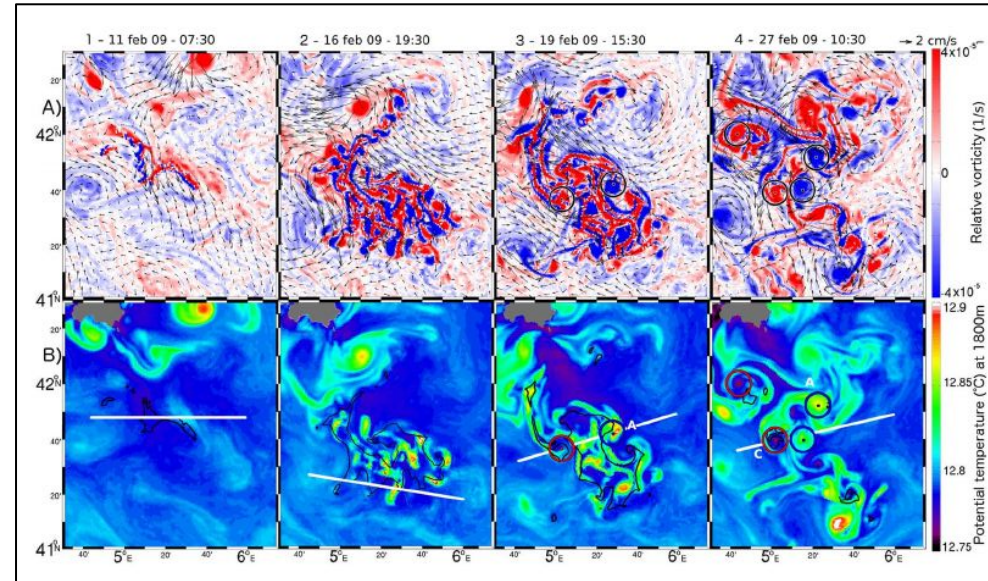
Convection profonde - Questions scientifiques

- Quel est le rôle des processus de différentes échelles sur la convection, depuis le pré-conditionnement jusqu'à la restratification ?
- Quel est l'impact de la convection profonde sur le **cycle du carbone**, et en particulier sur les échanges air-mer et l'export vers les eaux profondes ?
- Quel est son impact sur la **ventilation** de la Méditerranée nord-occidentale ?



Convection profonde - Formation de tourbillons submésoséch.

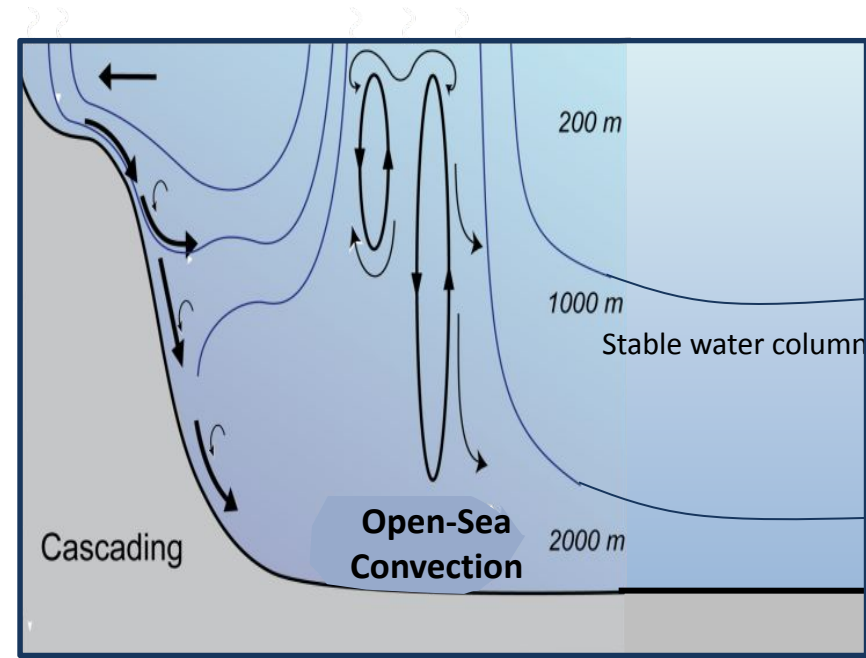
- Instabilité de la zone mélangée
- Formation de tourbillons anticycloniques qui résulte de la subduction puis de l'ajustement de la masse d'eau subductée.
- Durée de vie atteignant 1 an
- Rôle dans l'export d'eau dense (~30%) et de la WIW (~35%)



Cyclones en rouge, anticyclones en bleu; *Damien et al. (2017)*

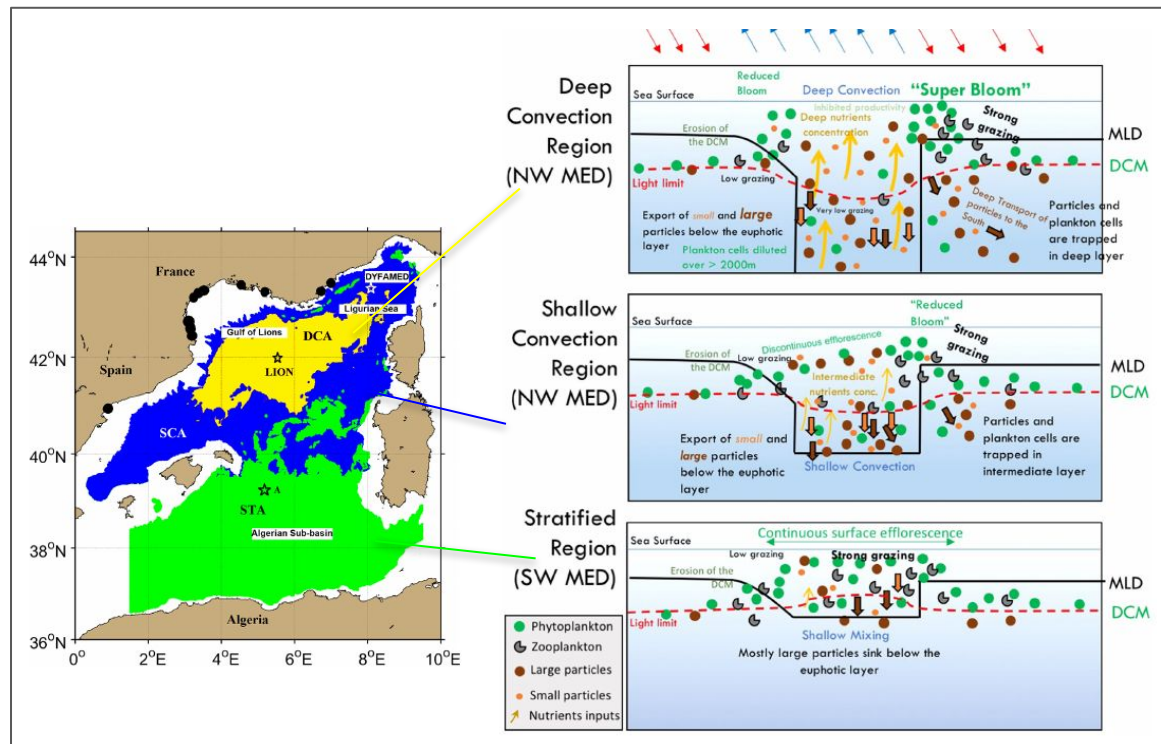
Convection profonde - Questions scientifiques

- Quel est le rôle des processus de différentes échelles sur la convection, depuis le pré-conditionnement jusqu'à la restratification ?
- Quel est l'impact de la convection profonde sur le **cycle du carbone**, et en particulier sur les échanges air-mer et l'export vers les eaux profondes ?
- Quel est son impact sur la **ventilation** de la Méditerranée nord-occidentale ?



Convection profonde - Cycle du C

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



Kessouri et al. (2018)

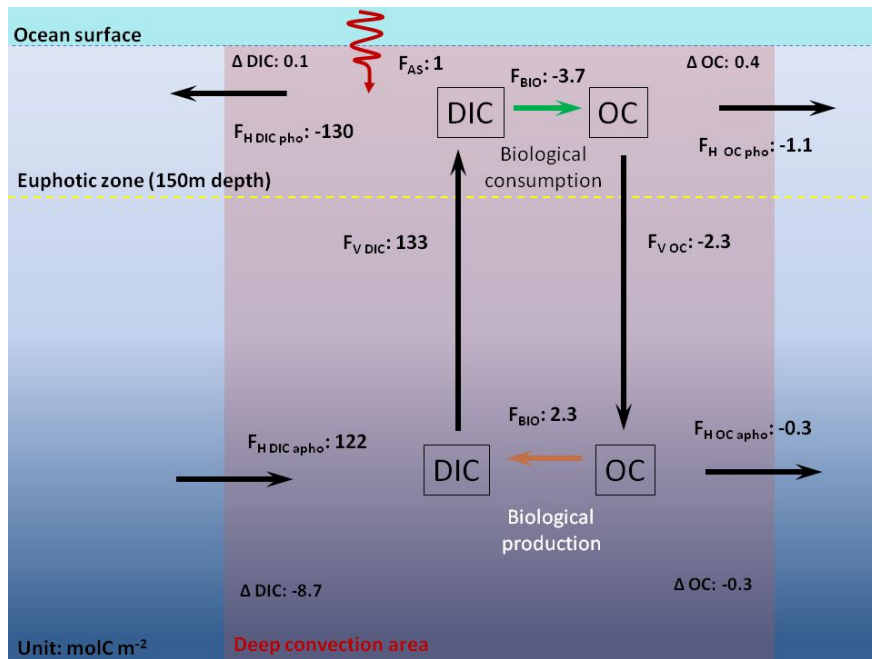
Convection profonde - Cycle du C

- Le bilan annuel de DIC (carbone inorganique dissous) est dominé par les flux nets physiques et biogéochimiques, les **flux air-mer** sont plus **faibles**
- Forte **remontée de DIC**, presque **équilibrée par des transferts latéraux** vers les régions environnantes

⇒ Nécessité d'une **approche 3D** pour estimer un bilan de DIC

Présentation dédiée lors de la session "Système des carbonates en Méditerranée"

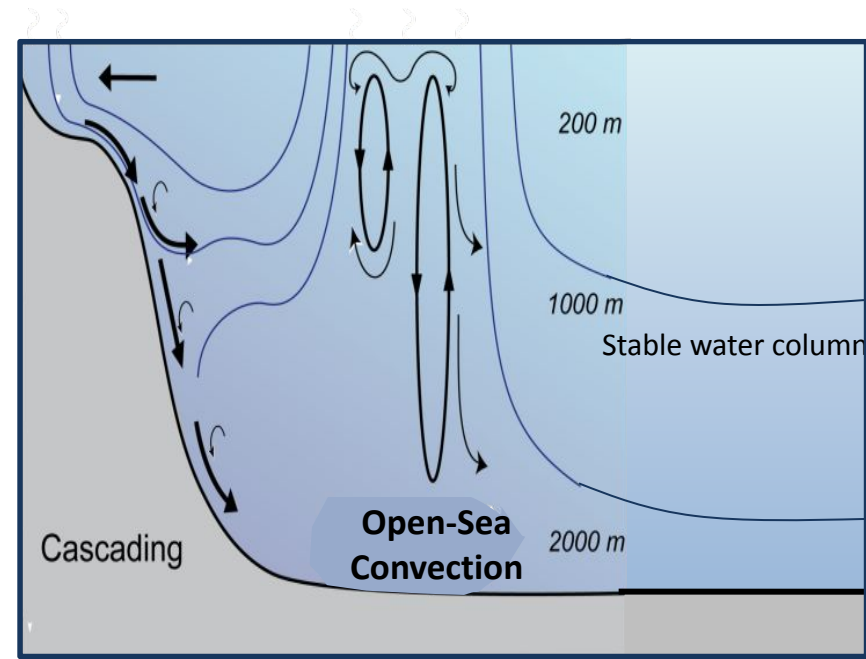
Bilan annuel de DIC dans la zone de convection profonde estimé avec le modèle SYMPHONIE/ECO3M-S



Ulses et al. (soumis)

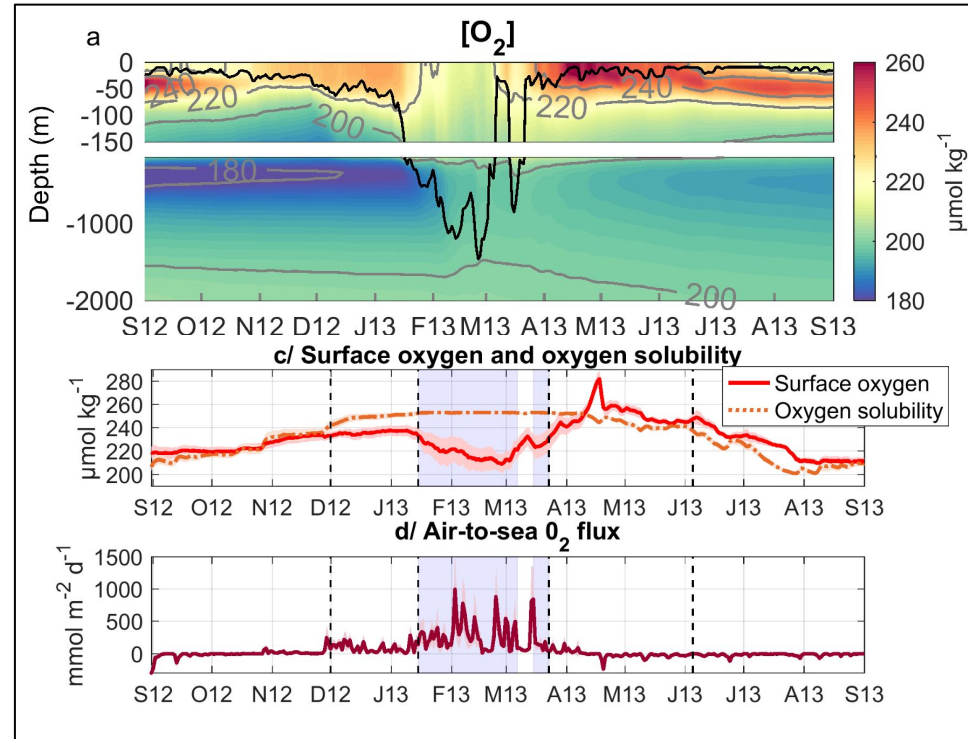
Convection profonde - Questions scientifiques

- Quel est le rôle des processus de différentes échelles sur la convection, depuis le pré-conditionnement jusqu'à la restratification ?
- Quel est l'impact de la convection profonde sur le **cycle du carbone**, et en particulier sur les échanges air-mer et l'export vers les eaux profondes ?
- Quel est son impact sur la **ventilation** de la Méditerranée nord-occidentale ?



Convection profonde - Dynamique de l'O₂

- Ventilation des masses d'eaux intermédiaires et profondes

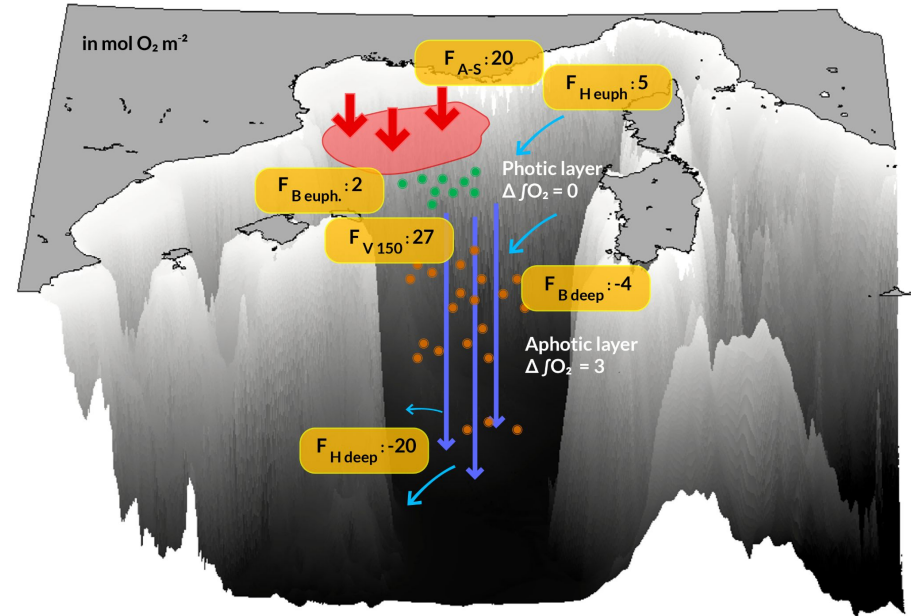


Ulses et al. (2021)

Convection profonde - Dynamique de l'O₂

- La Med NW est un puits d'O₂ atmosphérique avec une absorption annuelle de 20 mol m⁻² an⁻¹
- Les tests de sensibilité aux paramétrisations de vitesse de transfert de gaz montrent une incertitude de 12 à 16%
- Le transfert profond vers les eaux environnante est proche de l'absorption en surface

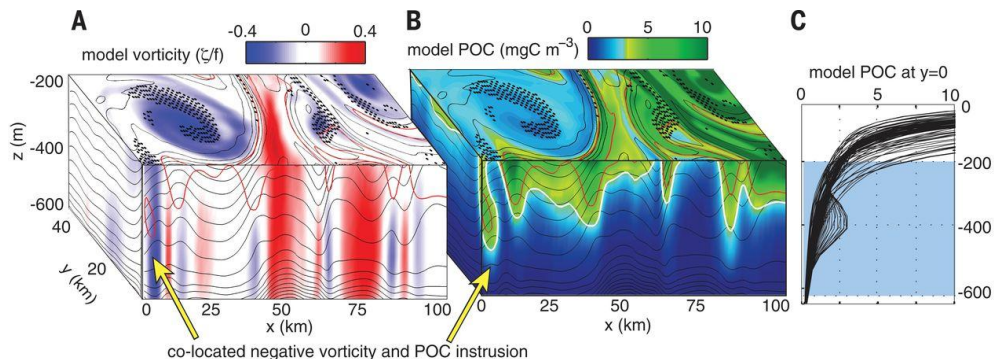
Bilan annuel d'O₂ dans la zone de convection profonde estimé avec le modèle SYMPHONIE/ECO3M-S



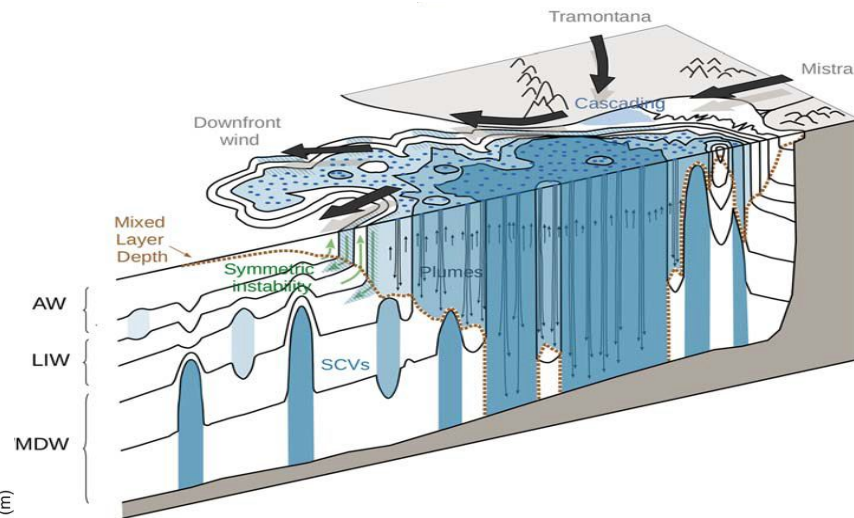
Ulses et al. (2021)

Convection profonde - Travaux à venir

- **Processus d'échanges** entre la zone de convection et la circulation générale



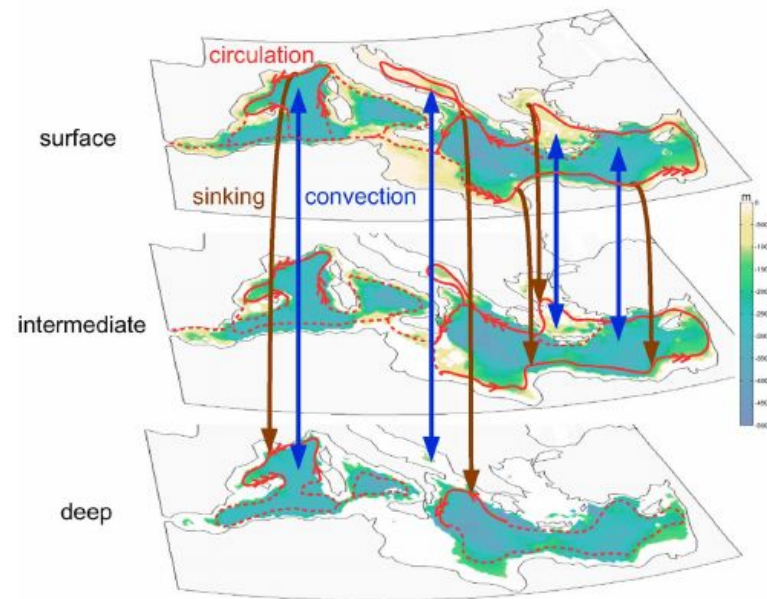
Omand et al. (2015)



Testor et al. (2018)

Convection profonde - Travaux à venir

- **Processus d'échanges** entre la zone de convection et la circulation générale

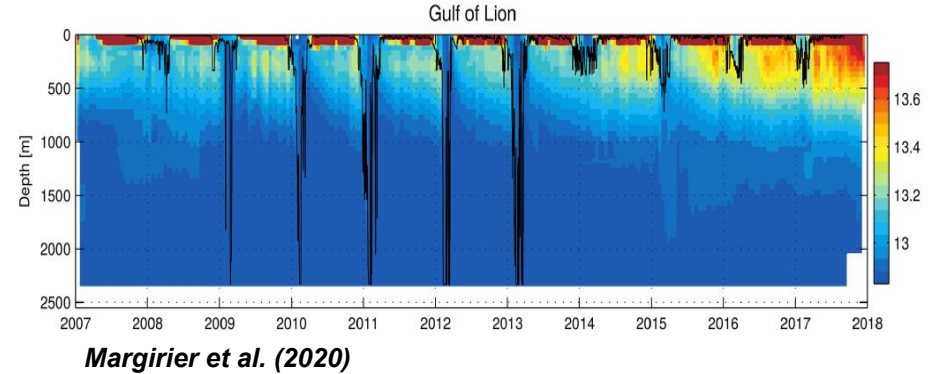


Waldmann et al. (2018)

Convection profonde - Travaux à venir

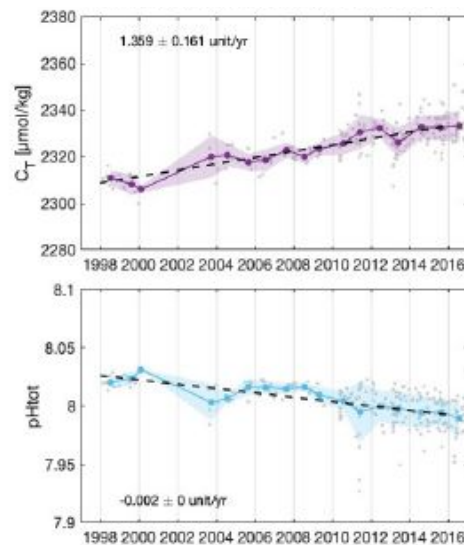
- **Processus d'échanges** entre la zone de convection et la circulation générale
- **Variabilité interannuelle** des formations d'eau dense et des cycles BGC

Observations à la bouée LION

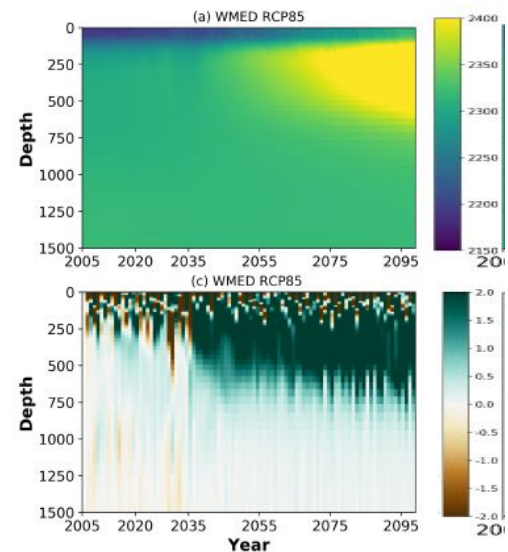


Convection profonde - Travaux à venir

- **Processus d'échanges** entre la zone de convection et la circulation générale
- **Variabilité interannuelle** des formations d'eau dense et des cycles BGC
- Impact du **changement climatique**, évolution au cours du 21^{ème} siècle



Coppola et al. (2020)




Reale et al. (2022)



Modélisation Côtière sur le Golfe du Lion

1. Dynamique du carbone organique particulaire (Post-Doc de Gaël Many)
2. Dynamique de la matière particulaire apportée par le Rhône (source to sink)



Plateau du Golfe du Lion - Dynamique du POC

Questions scientifiques

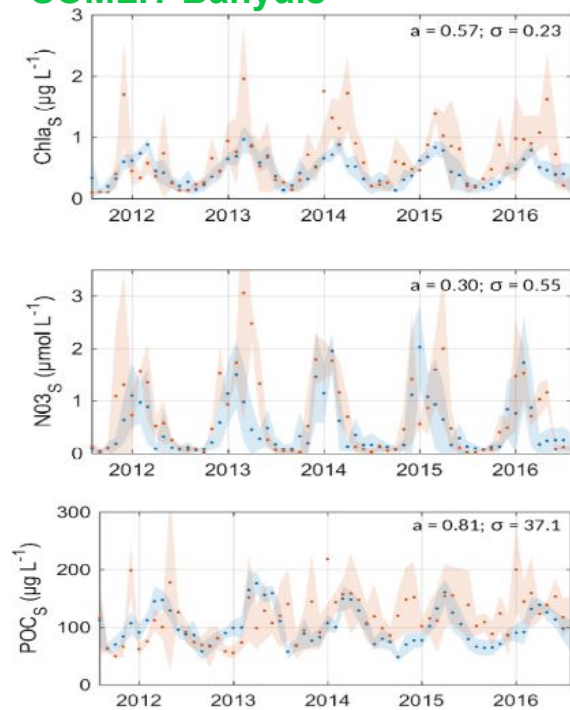
- Caractérisation de la dynamique du carbone organique particulaire sur le GDL
- Principaux drivers de cette dynamique
- Echanges avec le large, le profond, le plateau adjacent

Méthodologie

- Modélisation couplée hydrodynamique / biogéochimie (SYMPHONIE - ECO3M-S): 5 années
- Evaluation avec les obs in situ (SOMLIT Banyuls; Glider) et la couleur de l'eau

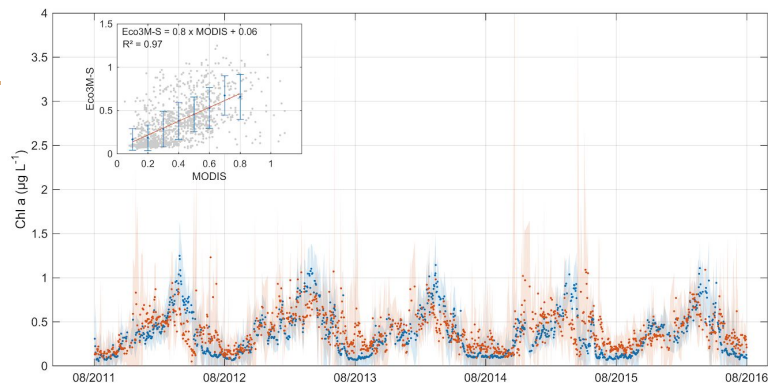
Plateau du Golfe du Lion - Evaluation du modèle

SOMLIT Banyuls



Modèle / Obs.

MODIS Golfe du Lion



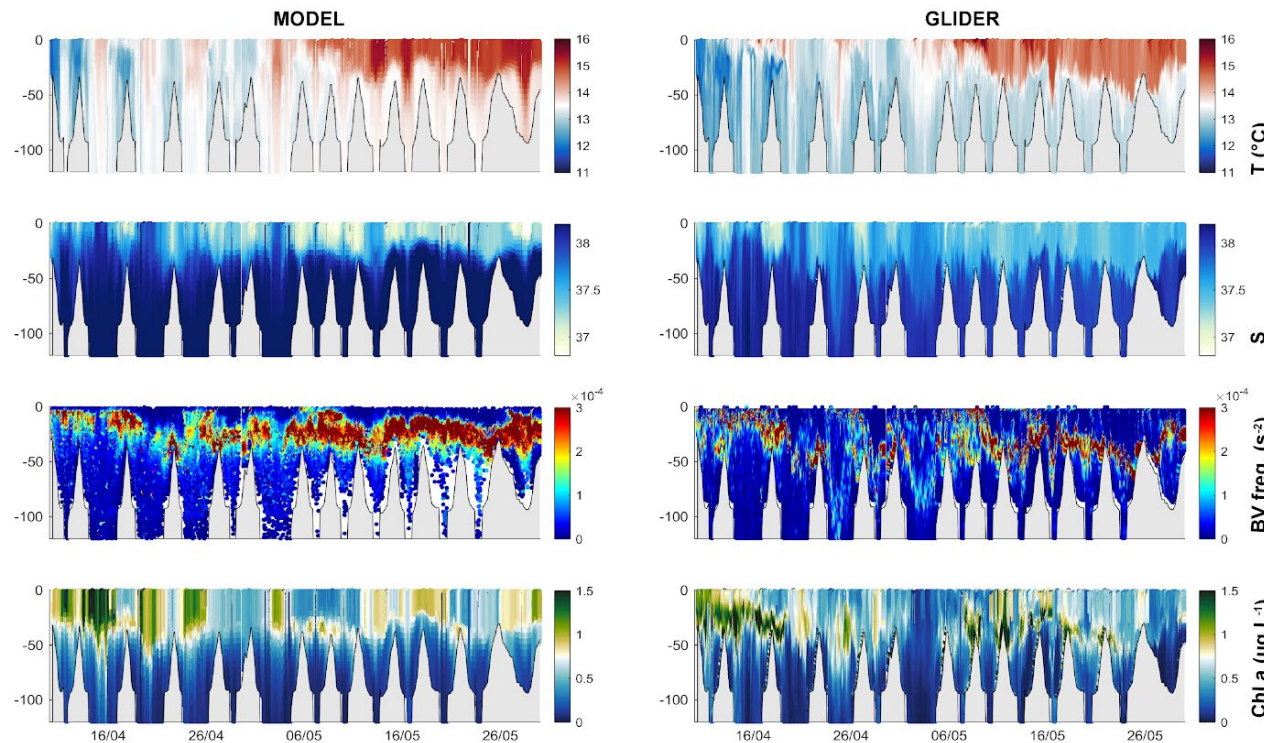
Données : <http://somlit-db.epoc.u-bordeaux1.fr/bdd.php>

Données : IFREMER Nausicaa et algorithme OC5
IFREMER (Gohin and Stanev, 2011)

Plateau du Golfe du Lion - Evaluation du modèle

Comparaison aux données glider

Avril - Mai 2013

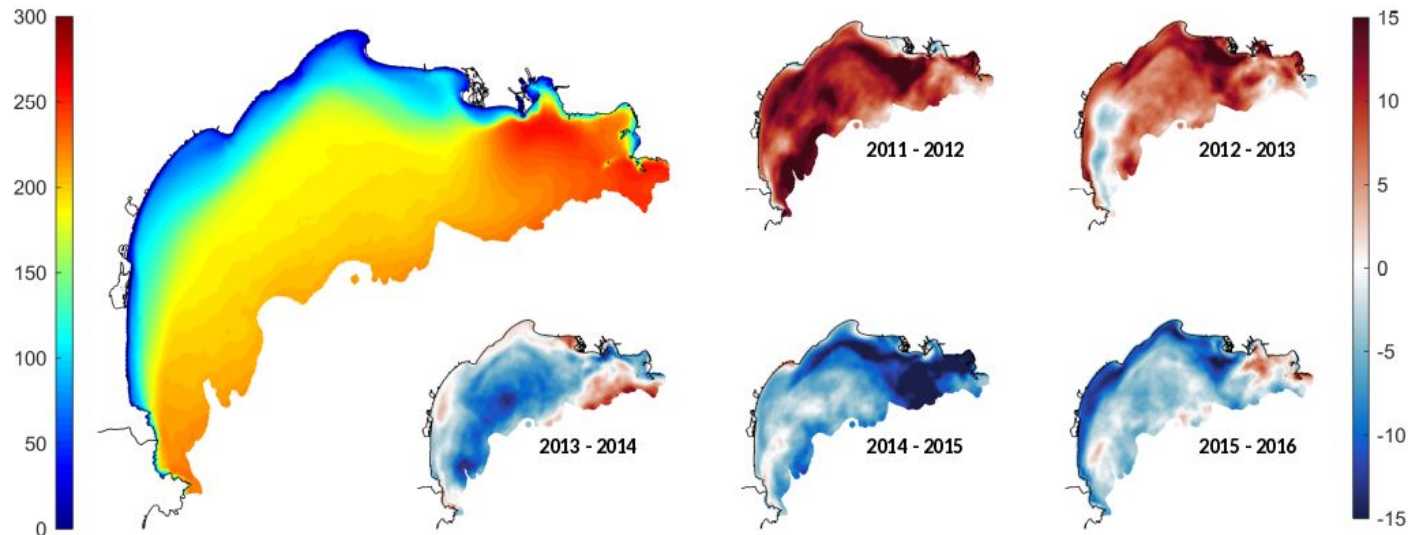


Données glider : Testor et al. (2018)

Plateau du Golfe du Lion: Production primaire nette

Production primaire nette intégrée (2011-2016) : $181 \text{ gC m}^{-2} \text{ an}^{-1}$ ($200 \times 10^4 \text{ tC an}^{-1}$)

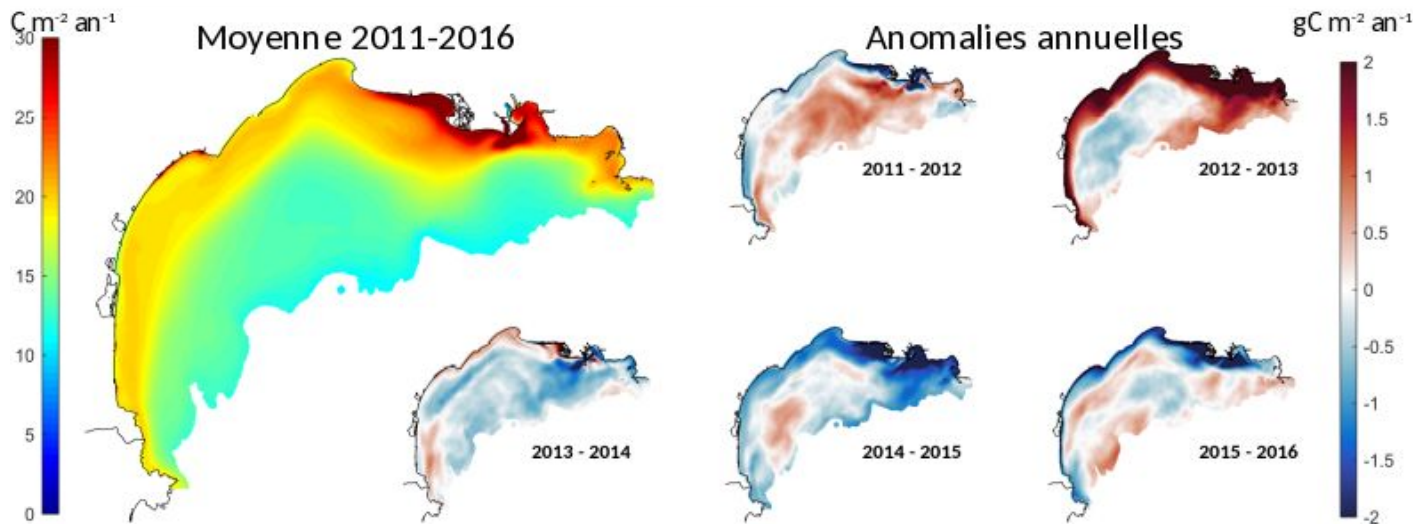
- faible variabilité interannuelle
- fonction croissante de la bathymétrie
- zone est plus productive



Plateau du Golfe du Lion: Dépôt sur le fond

Dépôt de POC sur le fond (2011-2016) : $24 \text{ gC m}^{-2} \text{ an}^{-1}$ ($27 \times 10^4 \text{ tC an}^{-1}$)

- influence des apports du Rhône et de la circulation générale clairement visible
- anomalies annuelles liées aux apports du Rhône et à la variabilité de la PP



Plateau du Golfe du Lion: export latéral

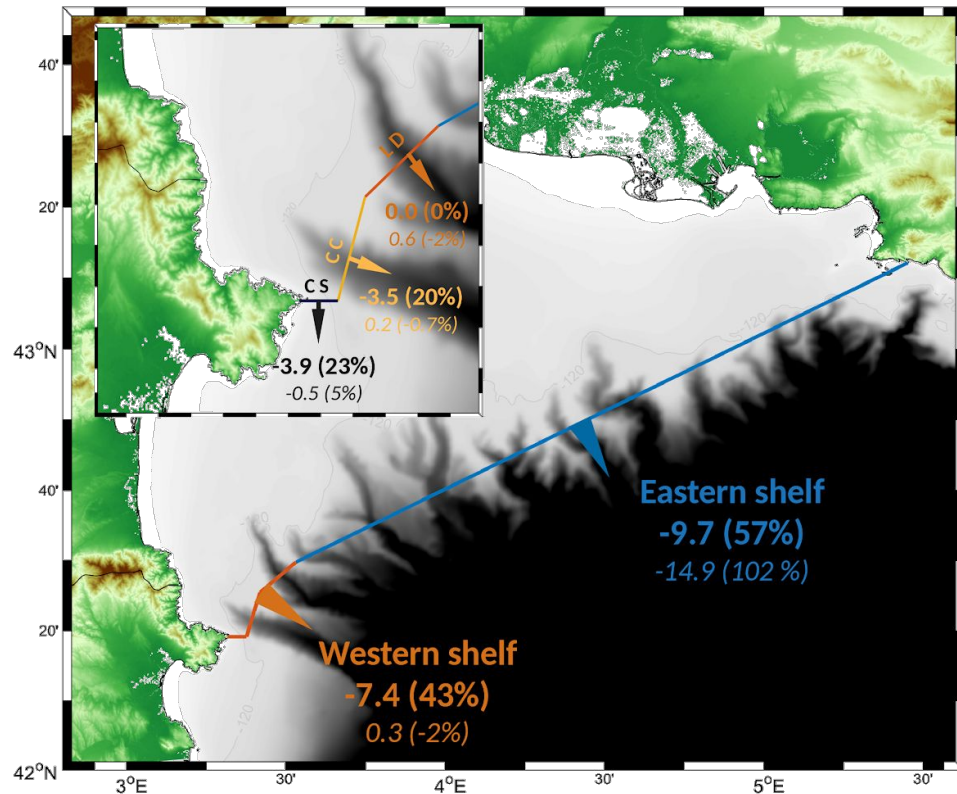
Export : 24×10^4 tC/an

2 voies d'export bien différenciées:

57% de l'export de POC se fait sur 90% du transect (est et central) et dans la couche de surface (0-60m)

43% se fait sur 10% du transect (au sud-ouest) et sous 60 m, environ la moitié par le canyon du CC et la moitié vers le plateau Espagnol.

Mécanismes: tempêtes d'est et cascading



Plateau du Golfe du Lion: bilan de POC et de nutriments

Bilan du POC sur le plateau du Golfe du Lion

x 10⁴ tC/an



Bilan des apports de nitrate et phosphate au Golfe du Lion

x 10⁴ t N/P /an



Les apports de nutriments du large vers le plateau sont de 3 (nitrate) à 15 (phosphate) fois supérieurs aux apports fluviaux, et se font surtout sous 60 m de profondeur à l'Est
Le plateau exporte du POC vers le large et le marge espagnole (57% entre 0 et 60 m ; 43% en profondeur à l'extrême ouest)

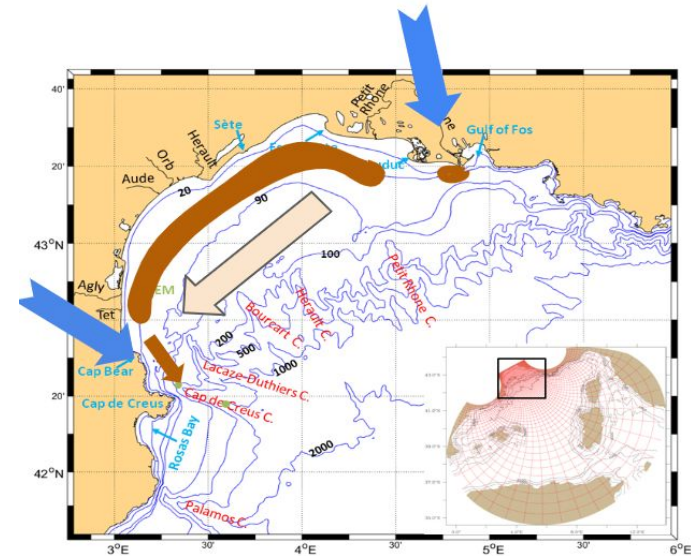
Dynamique de la matière particulaire du Rhône

Questions scientifiques

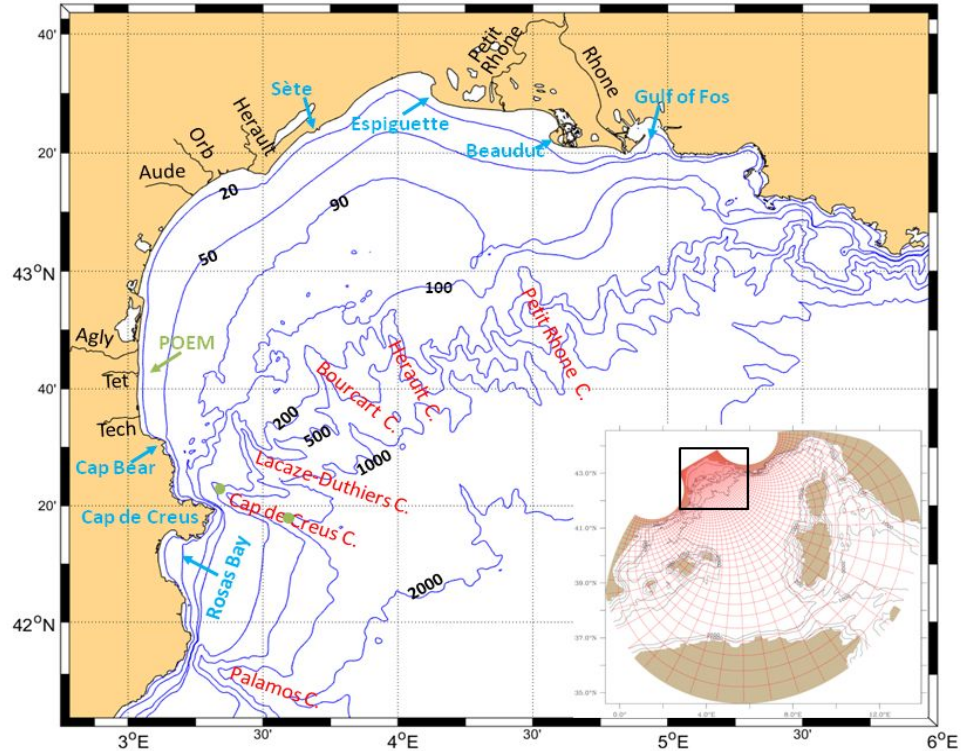
- Quelles sont les zones de dépôt et d'érosion?
- Quelle est leur variabilité?
- Quels sont les drivers du système sédimentaire (tempête + houle ; crue ; eau dense & cascading)

Méthodologie

- Modélisation couplée hydrodynamique transport sédimentaire (SYMPHONIE - WW3 MUSTANG)
- Calibration / Evaluation obs in-situ (plateau, canyon)

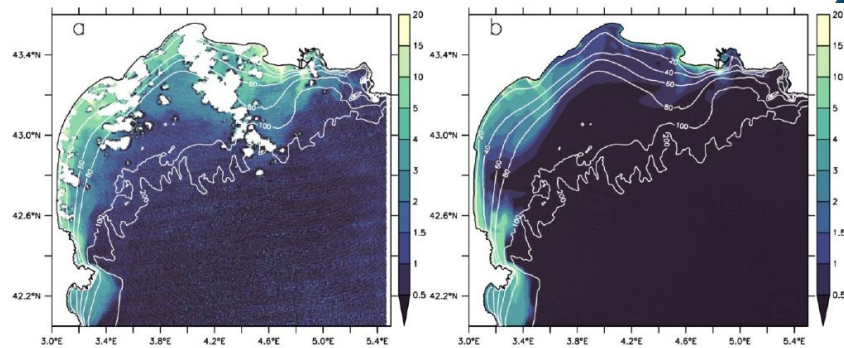
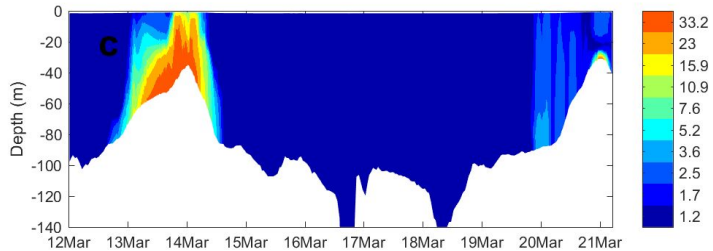
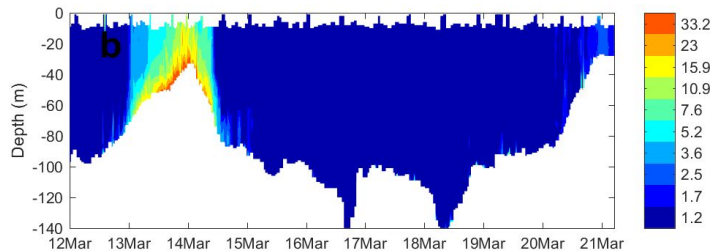
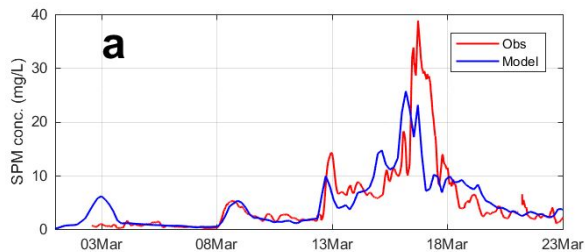


Dynamique de la matière particulaire - Evaluation modèle

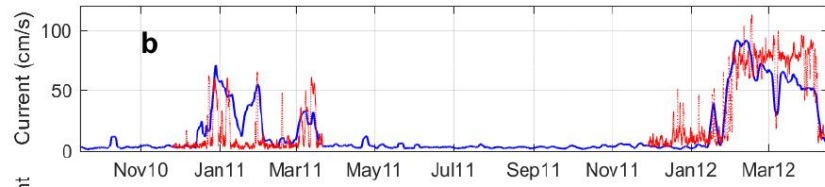
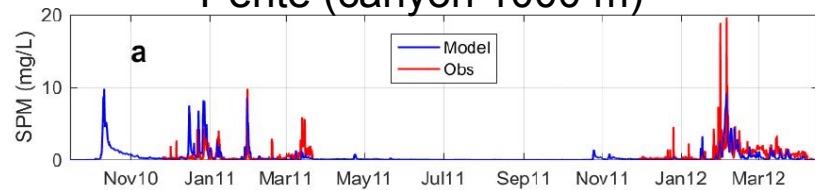


Dynamique de la matière particulaire - Evaluation modèle

Plateau

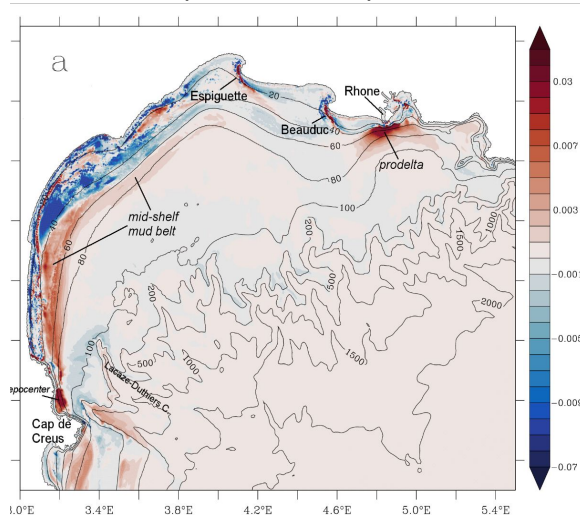


Pente (canyon 1000 m)

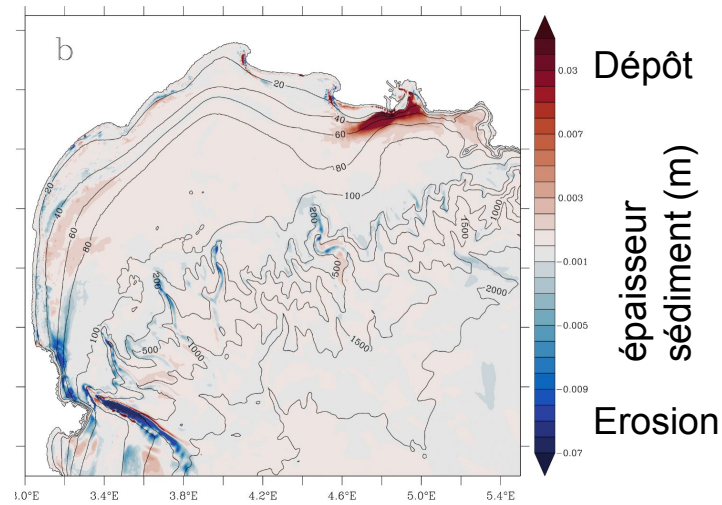


Dynamique de la matière particulaire - Analyse

Année Tempêtes
(2010-2011)

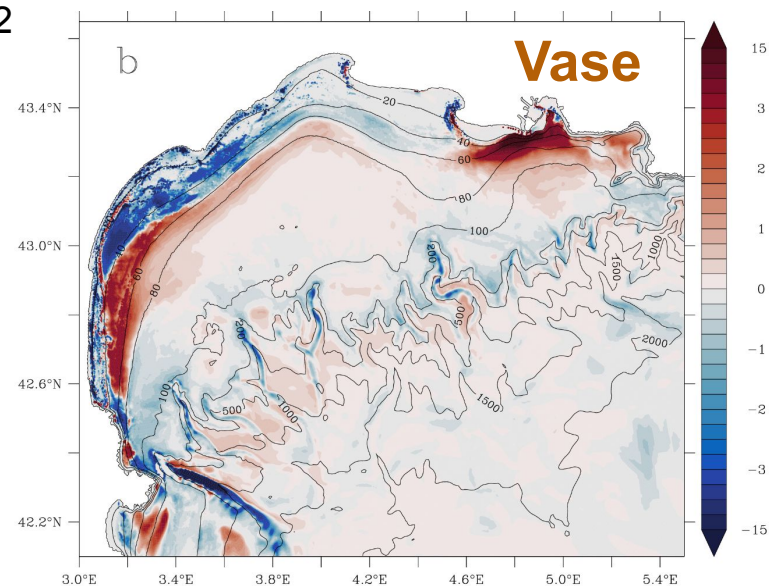
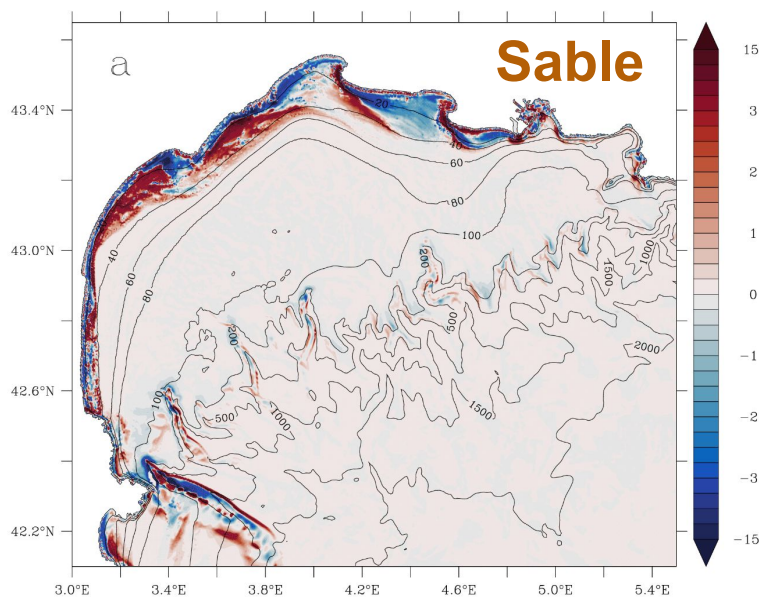


Année froide Cascading
2011-2012



- Une constante: dépôt sur le prodelta (en moyenne 56% des apports): extension plus forte en absence de tempêtes
- Tempêtes: Profonds remaniements du plateau (érosion plateau interne, engraissement vasière SW et haut du canyon du CC)
- Cascading: plateau peu impacté; impact majeur sur le décapage des canyons

Dynamique de la matière particulaire - Bilan sur 2 années



Bilan

Apports fleuves: 6 Mt
Export plateau: 7 Mt

- Migration du sable vers le plateau interne
 - Migration de la vase du plateau interne vers la vasière médiane et la sortie du Golfe
 - le bilan sédimentaire du plateau est globalement équilibré mais le plateau interne est en déficit
- conséquences de la réduction des apports du Rhône?

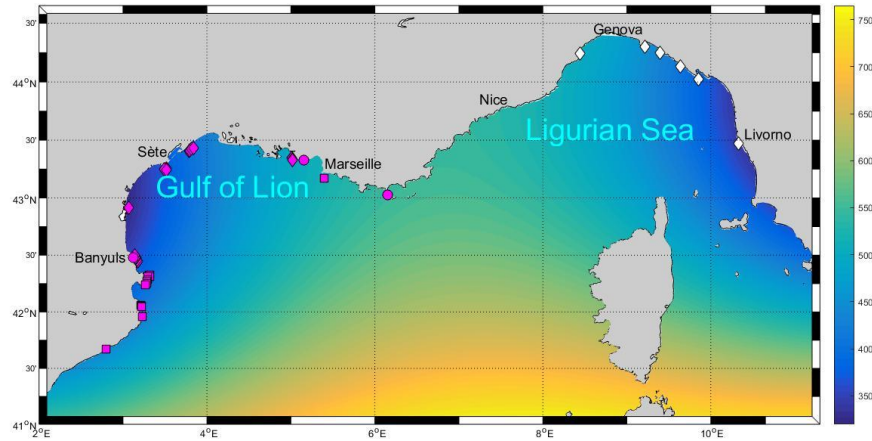
Perspectives

Simulations haute résolution et long terme dans le cadre de **RiOMar** (et ANR POPNCO)

Couplage hydrodynamique / biogéochimique pélagique/benthique / transport sédimentaire

Forçage scenario climatique CNRM (SSP3-7.0 ou SSP5-8.5)

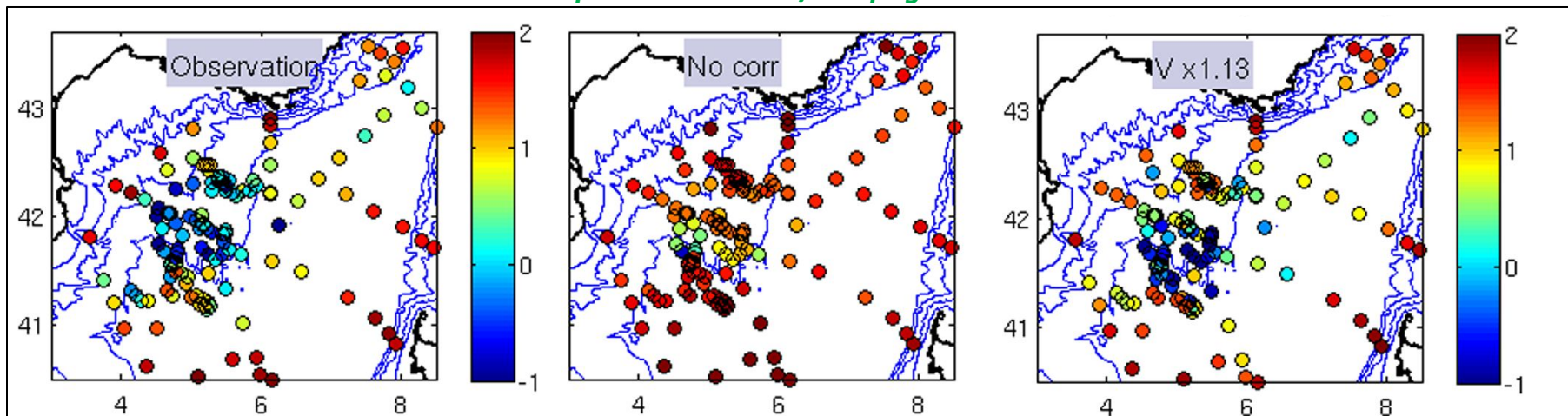
Périodes: début, milieu et fin 21ème siècle avec évaluation/ (re)calibration sur la première période



Convection profonde - Initialisation du modèle

Les données des campagnes MOOSE-GE permettent d'améliorer l'état initial du modèle régionale haute-résolution, qui représente l'évolution de la couche mélangée en automne et hiver.

Comparaison modèle/campagnes

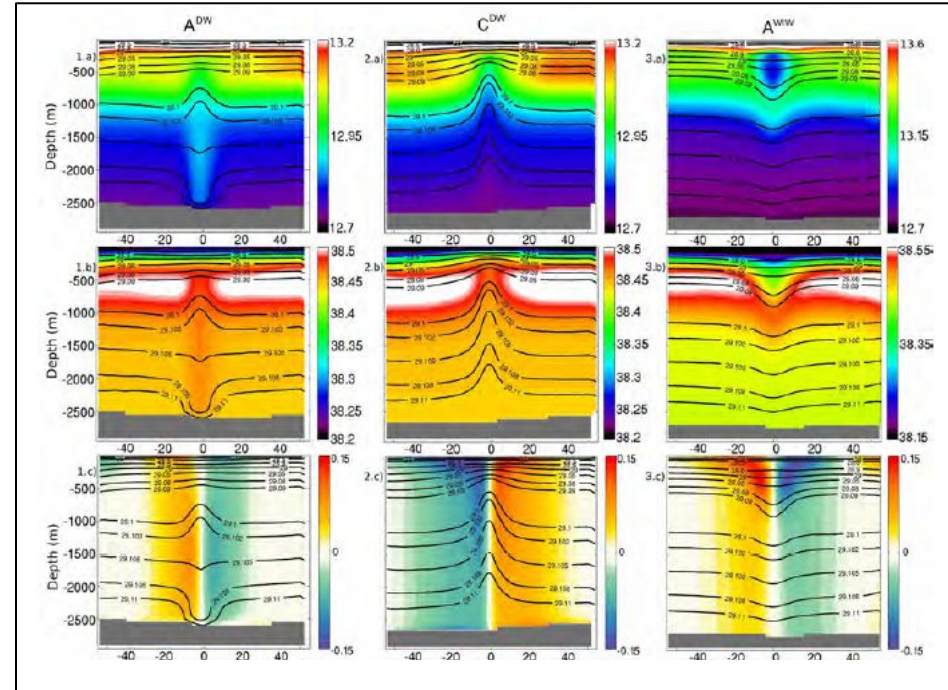


Decimal logarithm of the stratification index relative to 1000 m calculated between 30 January and 26 February

Convection profonde - Formation de tourbillons submésos-ech.

- A gauche: convection intermédiaire (anticyclone), à droite anticyclone d'eau d'hiver (WIW), au centre : convection atteignant le fond (cyclone)
- Durée de vie atteignant 1 an
- Rôle dans l'export d'eau dense (~30%) et de la WIW (~35%)

Portrait robot des différents types de tourbillons de submésoséchelle



Damien et al. (2017)