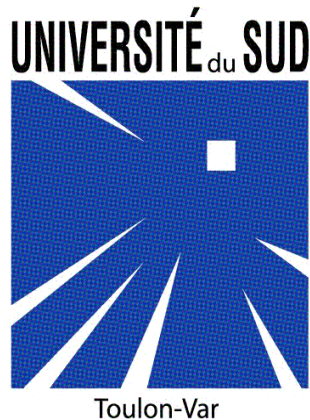


Étude numérique lagrangienne des parcours typiques des masses d'eau en Méditerranée nord occidentale

Henrick Berger

Stage de master 2

encadré par Anne Petrenko et Andrea Doglioli



Sommaire

A blue crosshair graphic consisting of a vertical line and a horizontal line intersecting at the top-left corner of the slide.

- Le centre d'Océanologie de Marseille
- Les outils utilisés
- Présentation des résultats

Marine Zoological Laboratory of the University Aix-Marseille at Endoume



Le Centre d'Océanologie de Marseille et ses activités




Le Centre d'Océanologie de Marseille

- École de l'Université de la Méditerranée
- Observatoire du CNRS et de l'INSU
- Deux sites : Endoume (1879) et Luminy (1968)
- Activités de recherche en biologie et biogéochimie marine et en océanographie physique et biogéochimique
- 3 laboratoires :
 - DIMAR (Diversité, évolution et écologie fonctionnelle MARine)
 - LMGEM (Laboratoire de Microbiologie, Géochimie et Écologie Marine)
 - LOPB (Laboratoire d'Océanographie Physique et Biogéochimique)

LATEX

LATEX = LATEX00 (projet pilote, 2007) + LATEX (2008 – 2010)

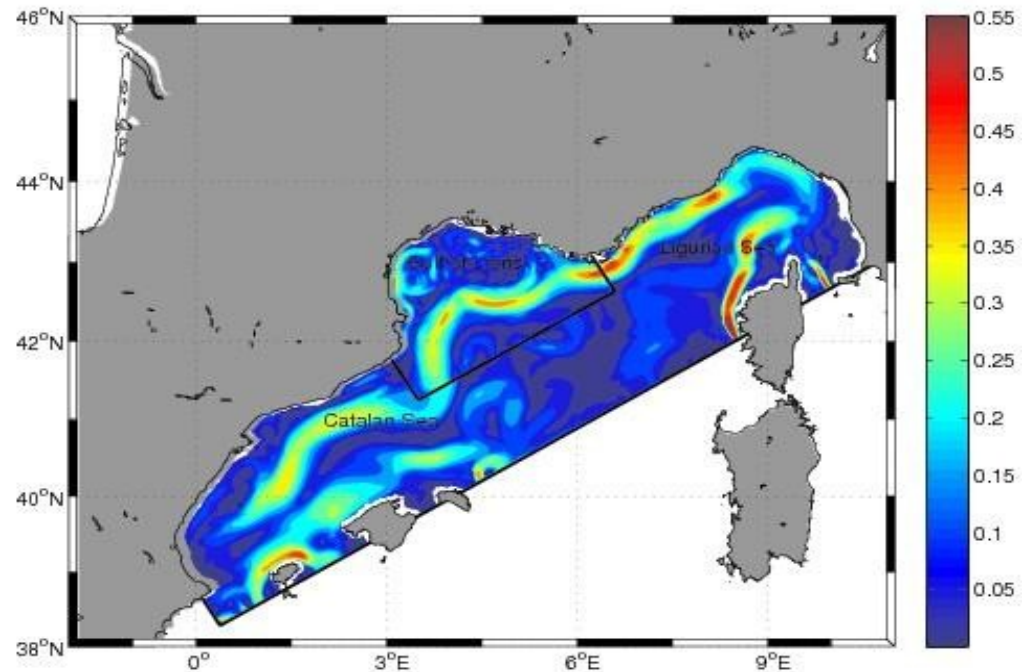
- Objectif : rôle de la dynamique couplée physique – biogéochimie à (sub) méso-échelle dans les échange côte-large
- Méthodologie : utiliser une démarche lagrangienne pour le suivi d'une structure tourbillonnaire de (sub) méso-échelle marquée avec un traceur chimique inerte (SF6), flotteurs lagrangiens, gliders, ADCP (et radars ?)
- Nécessite la connaissance des flux de masse pour l'ensemble de la Méditerranée nord occidentale



Diagnostic lagrangien de la circulation en Méditerranée nord occidentale

Le modèle eulérien Symphonie

- Modèle hydrodynamique développé au Laboratoire d'Aérodynamique de Toulouse [Marsaleix et al, 2006 et 2008]
- Implémenté au LOPB par Z. Hu [Hu et al. 2009]
- Simulation réaliste de la circulation en Méditerranée nord occidentale pour les années 2001 à 2003
- Caractéristiques :
 - résolution 3 km
 - Sorties journalières :
U,V,W,S,T,SSH
- Courant Nord (CN)
Milot et Letage, 2005



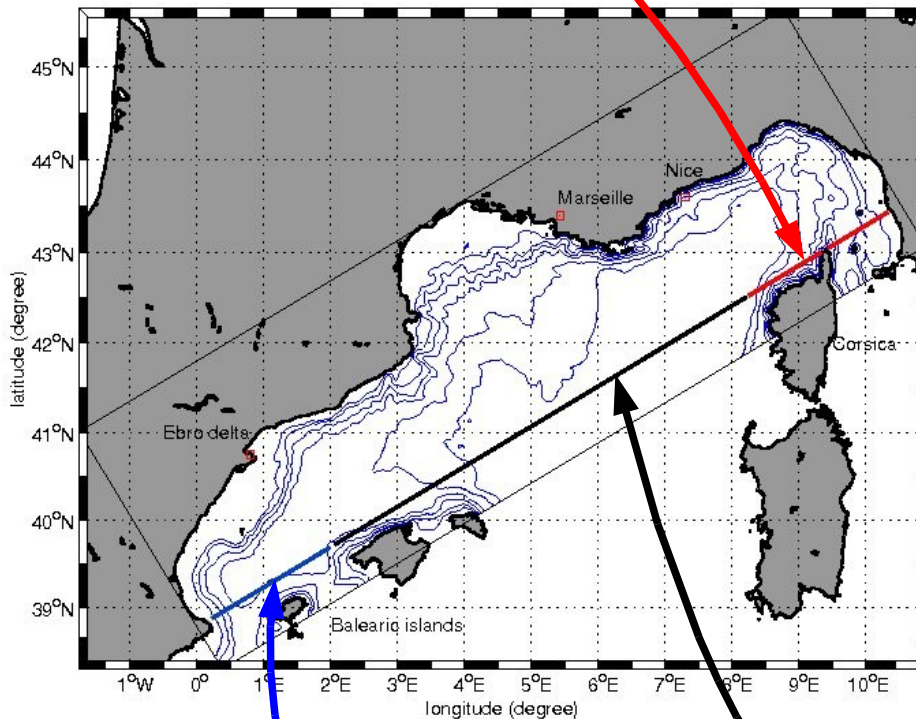
L'outil de diagnostic lagrangien Ariane

- Mis au point au Laboratoire de Physique des Océans à Brest [Blanke et al, 1997]
- Outil d'intégration temporelle du champ de vitesse
- Utilisation *off-line* sur les sorties du modèle Symphonie
- 2 modes d'intégration, *forward* et *backward*
- 2 modes d'analyse :
 - qualitatif → étude des trajectoires
 - quantitatif → fonction de courant
 - ↘ flux de masse

Ariane

Domaine d'étude

Sections
corses

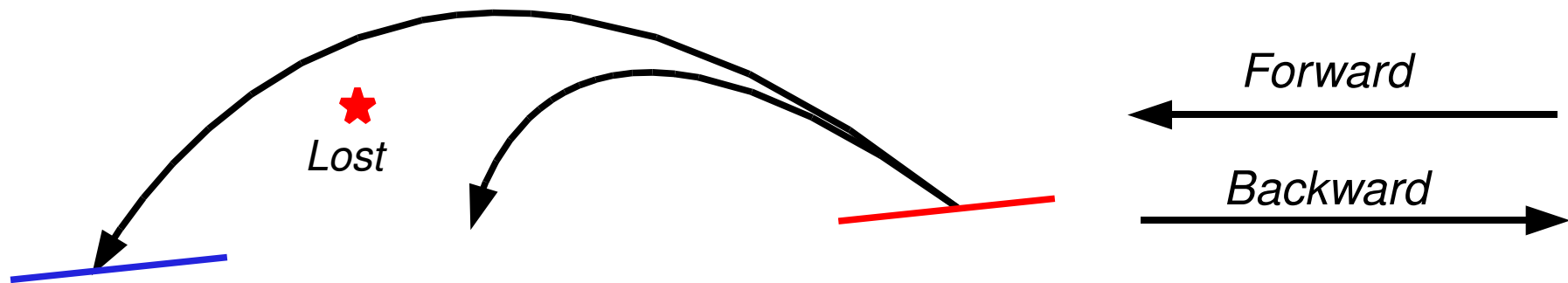


Canal des
Baléares

offshore

- 3 années de simulation :
9 janvier 2001 au
17 décembre 2003
- Objectif : flux entre
sections corses et
canal de Baléares
- Domaine fermé par 3 sections
- Prise en compte de la couche
éponge
- Initialisations : *upstream*
downstream

Méthodologie pour la détermination du flux liant deux régions



Méthodologie pour le mode quantitatif

★ Upstream forward

Upstream forward

Upstream backward

★ Downstream backward

Downstream backward

Downstream forward

Fonction de courant
Flux de masse

Fonction de courant
Flux de masse

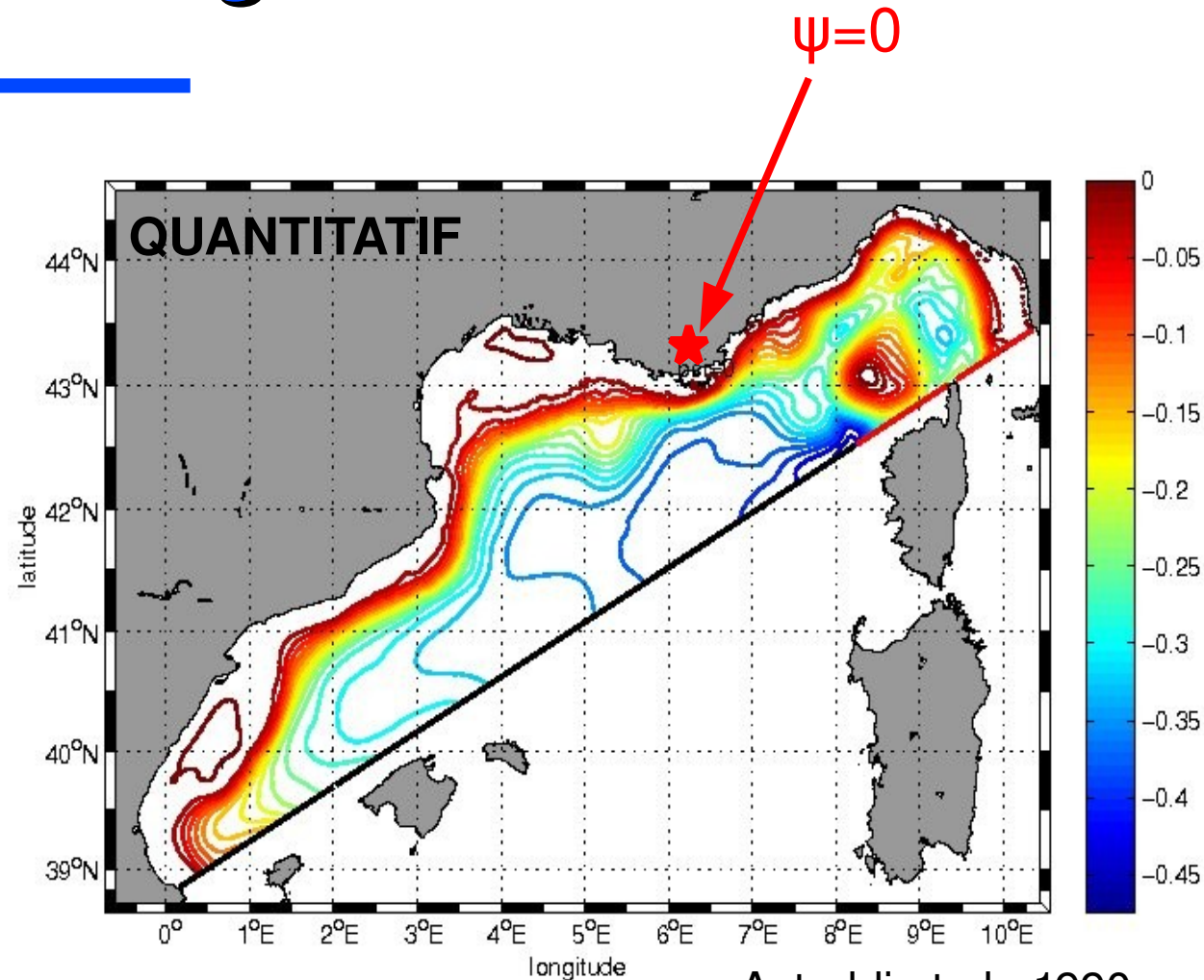
Flux
moyen
& erreur

Résultats généraux

- Fonction de courant négative pour l'ensemble du domaine : circulation cyclonique
- 2 principales circulations CN et RL
- 1 Sv circule dans le domaine (upstream et downstream)

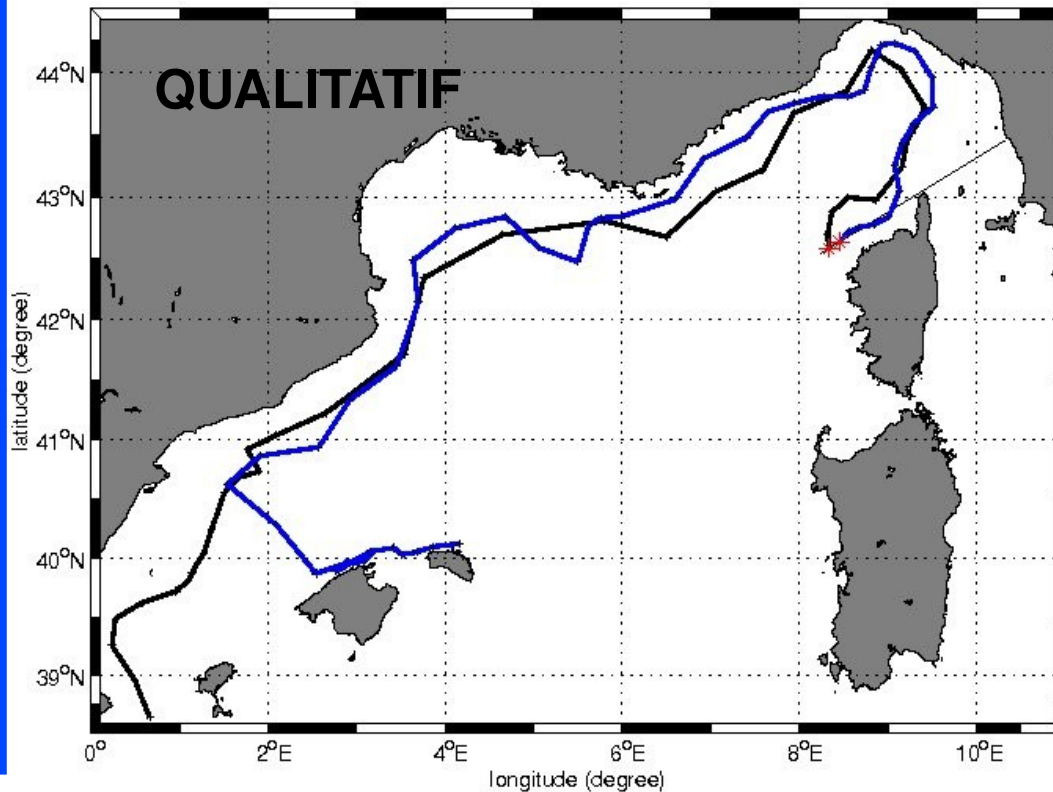
Fonction de courant ψ :

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}$$
$$v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$



Astraldi et al., 1990
Conan et Millot, 1995
Pinot et al., 2002

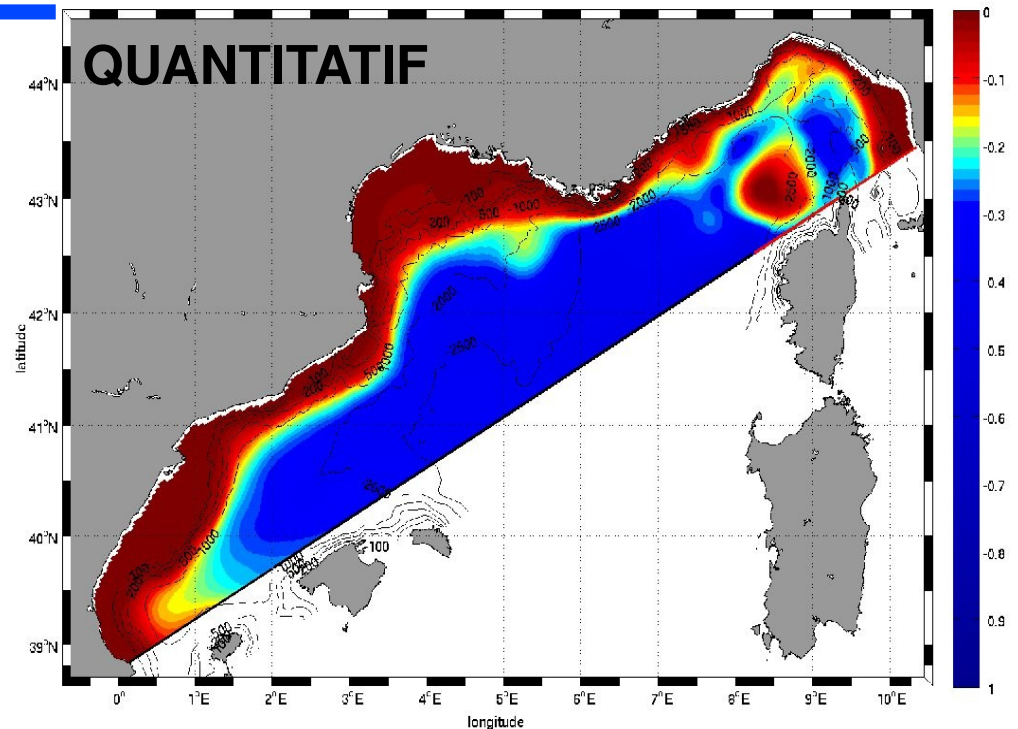
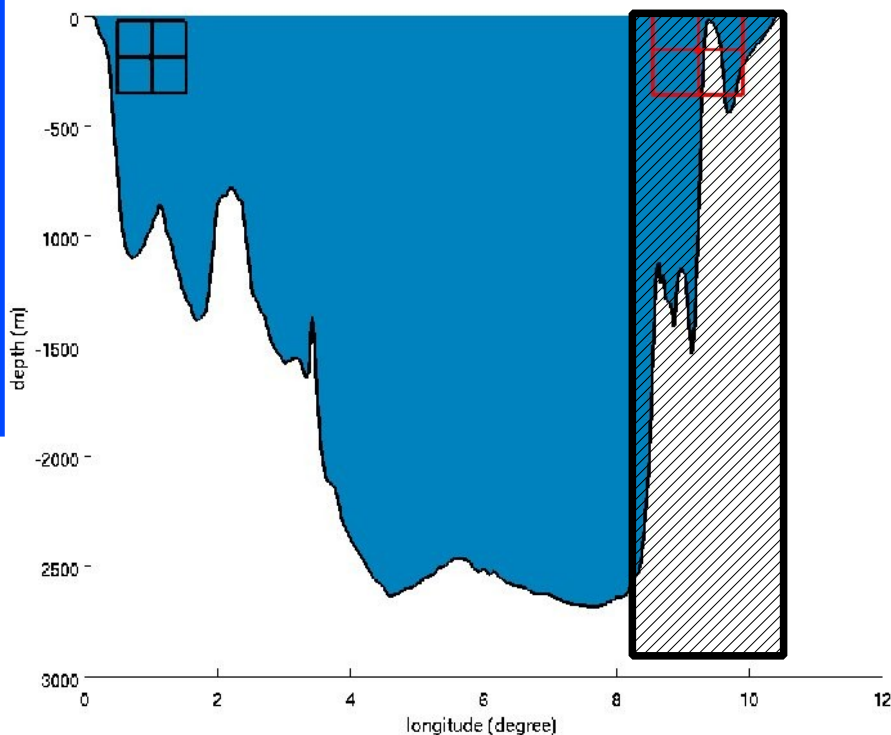
Liaisons qualitative Corse - Baléares



- 2 parcours typiques
Courant Nord
Recirculation des Baléares
- Parcours commun jusqu'au nord des Baléares
- Au nord des Baléares :
effet bathymétrique
séparation
du Courant Nord

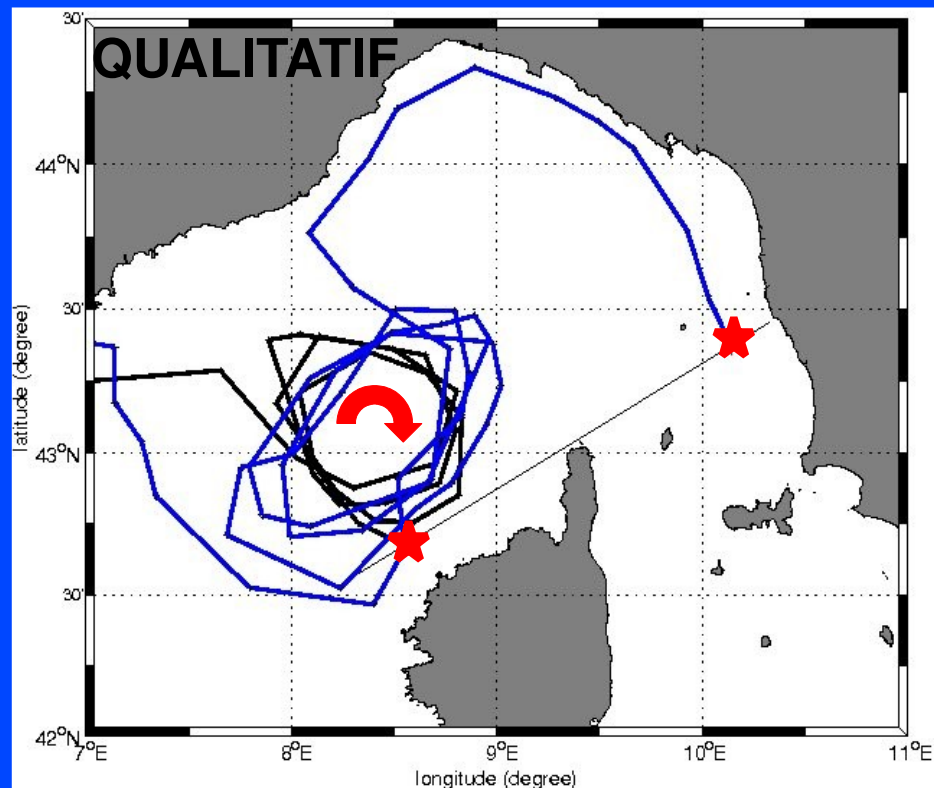
Le Courant Nord

- Influence de la bathymétrie
- Flux de masse lagrangien de 0.25 Sv entre la Corse et les Baléares

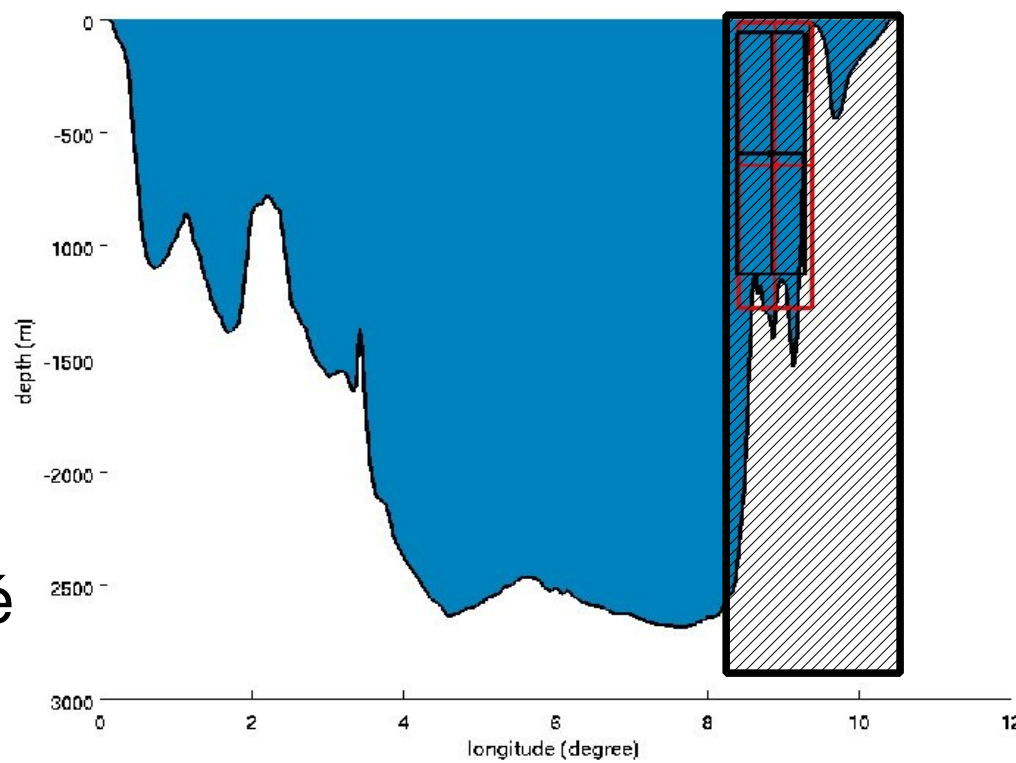


- Courant de surface :
de 0 à 400 m
- Temps de résidence moyen
de 75 jours
- Parcours de ~ 1200 km
→ vitesse moyenne 0.2 m/s

Recirculation Ligurienne



- Origine des particules : WCC et ECC
- Particules réintègrent le Courant Nord
- Circulation présente durant les 3 ans de la simulation



- Pourrait concerner toute la colonne d'eau
- Flux de masse associé : majorité des 0.55 Sv calculé pour les sections corses

Conclusions

- Mise en évidence de la circulation régionale moyenne
- Forte influence de la bathymétrie sur la circulation
- énigme de la Recirculation Ligurienne
- Nécessité de connaître l'information sur les traceurs (température et salinité) pour déterminer l'origine des différentes masses d'eau circulant dans le domaine

Perspectives

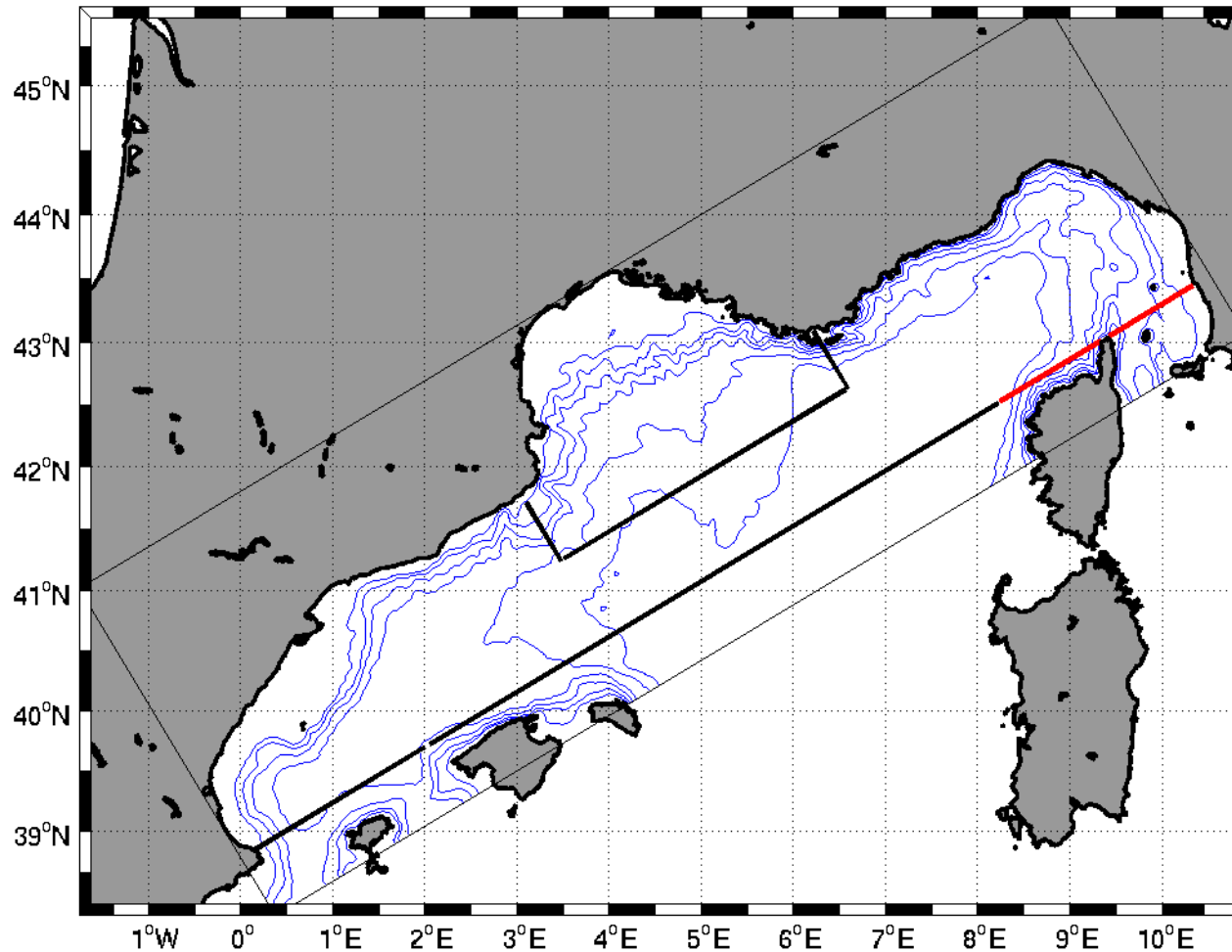
- Implémentation des données de salinité et température pour l'analyse des masses d'eau
- Diagnostiques séparés pour WCC et ECC afin d'évaluer leur contribution au Courant Nord
- Étude de la Recirculation Ligurienne afin de valider ou non sa présence
- Diagnostique lagrangien pour le Golfe du Lion
- Simulation sur une plus longue durée

A blue L-shaped graphic consisting of a vertical line and a horizontal line meeting at a right angle, located in the top-left corner of the slide.

Merci pour votre attention

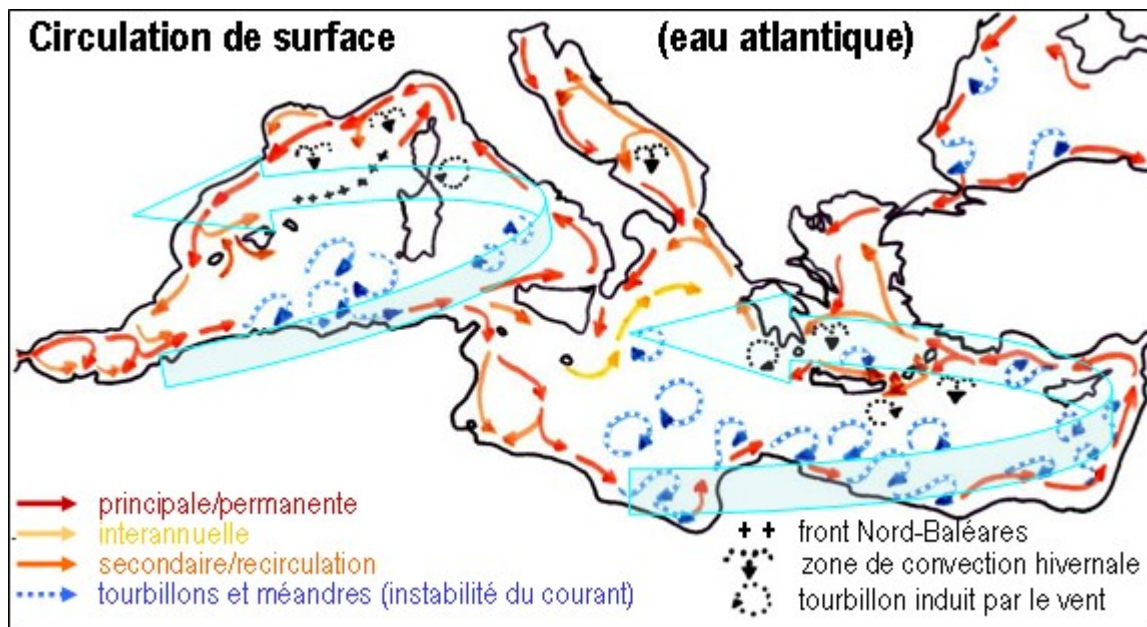
...des questions ?

Pour le projet LATEX



- Détermination des flux entrant et sortant sur du Golfe du Lion
- Mise en évidence de la circulation à l'échelle du Golfe
- Détermination des flux entrant et sortant sur le plateau continental

Circulation en Méditerranée



Millot et Letage, 2005

- CN fait partie de la circulation générale cyclonique à l'échelle du bassin ouest de la Méditerranée
- 2 circulations secondaires : le Courant des Baléares et ses intrusions dans le Golfe du Lion
- Formation du CN par la réunion des courants est et ouest corses

Symphonie

Modèle hydrodynamique eulérien basé sur les hypothèses d'incompressibilité et de Bousinesq

Équations du mouvement associées :

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + v_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial(\overline{u'w'})}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + v_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial(\overline{v'w'})}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \end{cases}$$

Élévation de la surface libre : $\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial H \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial H \bar{v}}{\partial y} = 0$

Conservation de la température et de la salinité :

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{\partial(\overline{T'w'})}{\partial z} + \frac{1}{\rho_0 \cdot C_p} \frac{\partial I_s}{\partial z} \\ \frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = -\frac{\partial(\overline{S'w'})}{\partial z} \end{cases}$$

Fermeture turbulente :

$$\begin{aligned} -(\overline{u'w'}, \overline{v'w'}) &= v_t \frac{\partial}{\partial z} (u, v) \\ -(\overline{T'w'}, \overline{S'w'}) &= \Gamma_i^{T,S} \frac{\partial}{\partial z} (T, S) \end{aligned}$$

La fonction de courant

Hypothèses nécessaires au calcul de la fonction de courant :

- écoulement irrotationnel
- fluide incompressible

On a alors :

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}$$

$$v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

$$d\psi = u.dy - v.dx$$

Test de sensibilité pour la détermination du flux

Choix du volume d'eau attribué à chaque particule détermine la précision (max_trans)

max_trans important → moins de particules → précision plus faible
→ temps de calcul réduit

max_trans faible → plus de particules → précision accrue
→ temps de calcul accru

Test réalisé :

| max trans.(m ³ /s)/particle | trans.(Sv) | lon.(°) | lat.(°) | depth(m) |
|--|------------|---------|---------|----------|
| 10 ⁸ | 0.2521 | 1.009 | 39.253 | -189.683 |
| 10 ² | 0.2499 | 1.009 | 39.253 | -189.671 |

Table 2.1: Mean positions and transports for the Balearic channel after forward integration.

Tableau des simulations

| runs | region of initializa- tion | mode | integration | particles initializa- tion | particles filtering |
|-------|----------------------------------|--------------|-------------|----------------------------------|---------------------------------|
| run_1 | upstream | quantitative | forward | automatic | temporal criterion & lide |
| run_2 | upstream | quantitative | backward | from run_1 | temporal criterion & lid |
| run_3 | upstream | quantitative | backward | from run_1 | meanders & off- shore |
| run_4 | downstream | quantitative | backward | automatic | temporal criterion & lide |
| run_5 | downstream | quantitative | forward | from run_4 | temporal criterion & lid |
| run_6 | downstream | quantitative | forward | from run_4 | meanders & off- shore |
| run_7 | upstream | qualitative | forward | from run_1 | temporal criterion & lid |
| run_8 | upstream | qualitative | forward | from run_1 | temporal criterion & lid |