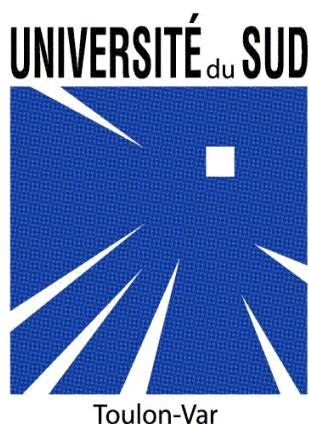


# Étude numérique lagrangienne des parcours typiques des masses d'eau en Méditerranée nord occidentale

Henrick Berger

Stage de master 2  
encadré par Anne Petrenko et Andrea Doglioli



# Sommaire

---

- 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)

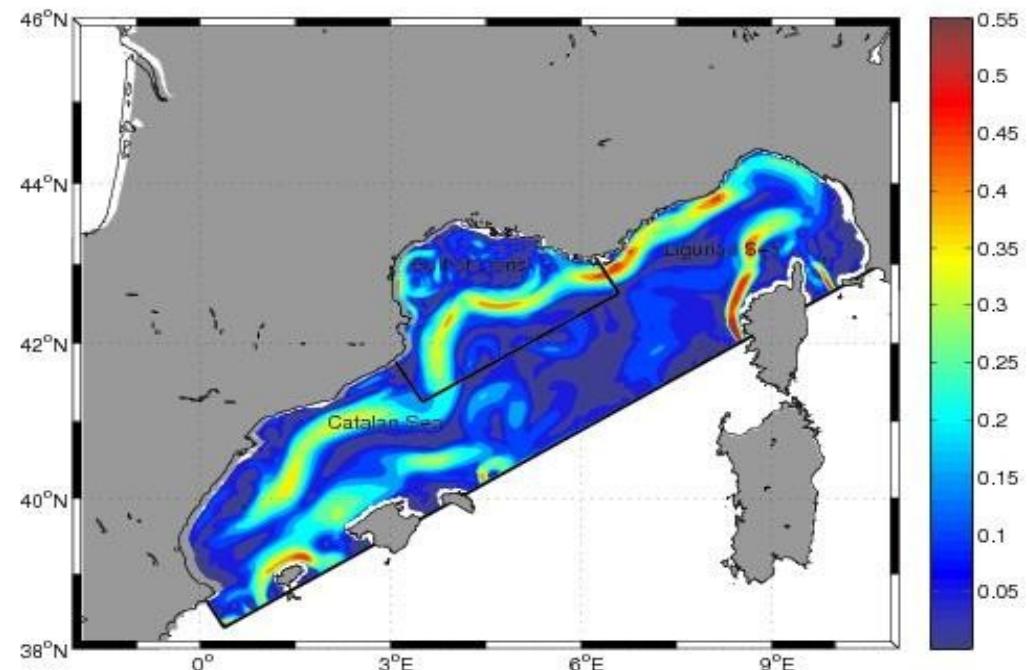
- Objectif : rôle de la dynamique couplée physique – biogéochimie à (sub) méso-échelle dans les échange côte-large
- Méthodologie : utiliser une démarche lagrangienne pour le suivi d'une structure tourbillonnaire de (sub) méso-échelle marquée avec un traceur chimique inerte (SF6), flotteurs lagrangiens,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



# **Diagnostique lagrangien de la circulation en Méditerranée nord occidentale**

# Le modèle eulérien Symphonie

- Modèle hydrodynamique développé au Laboratoire d'Aérologie 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)  
Millot et Letage, 2005

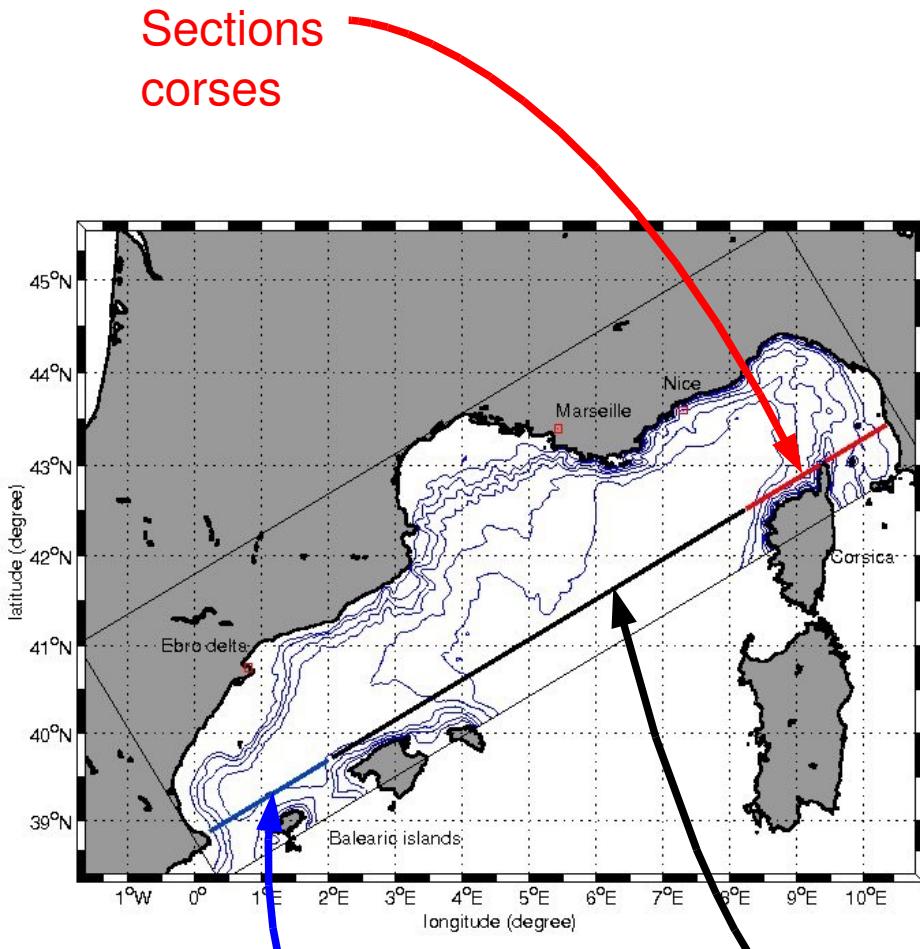


# L'outil de diagnostique lagrangien Ariane

- 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

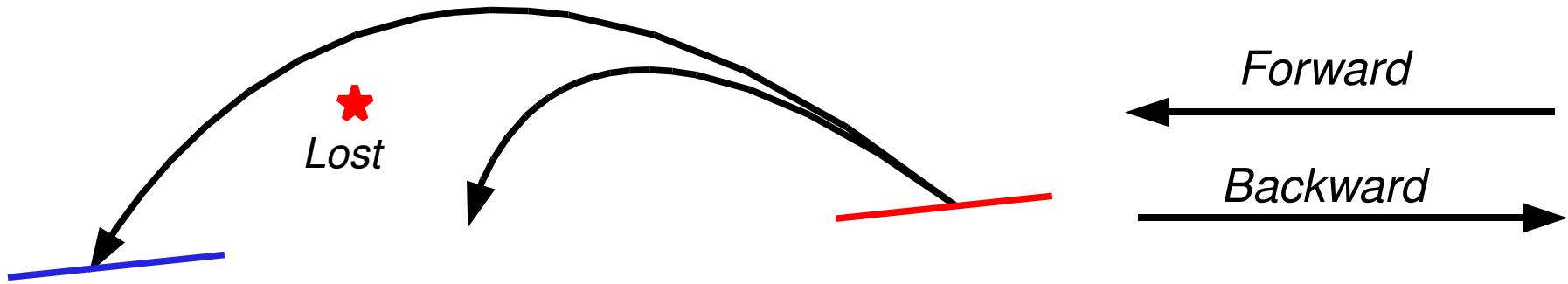
The logo for Ariane, featuring the word "Ariane" in a large, stylized, metallic font with a reflective surface. The letters are a mix of gold and silver, with a prominent shadow effect. The letter "A" is slightly taller than the others and has a vertical bar on its left side. The "i" has a small dot above it. The "e" has a horizontal bar through it. The entire word is set against a white background.

# Domaine d'étude



- 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*  
*offshore*  
*downstream*

# Méthodologie pour la détermination du flux liant deux régions



Méthodologie pour le mode quantitatif

★ Upstream forward

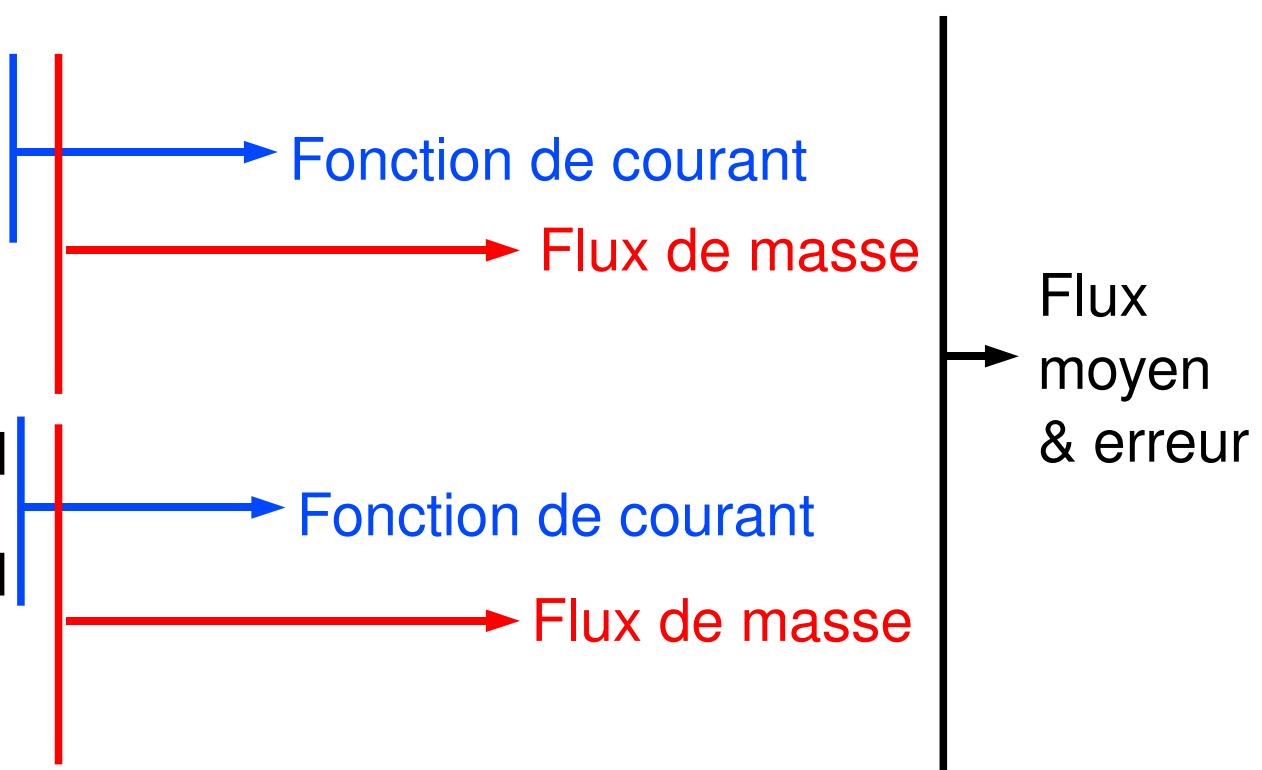
Upstream forward

Upstream backward

★ Downstream backward

Downstream backward

Downstream forward



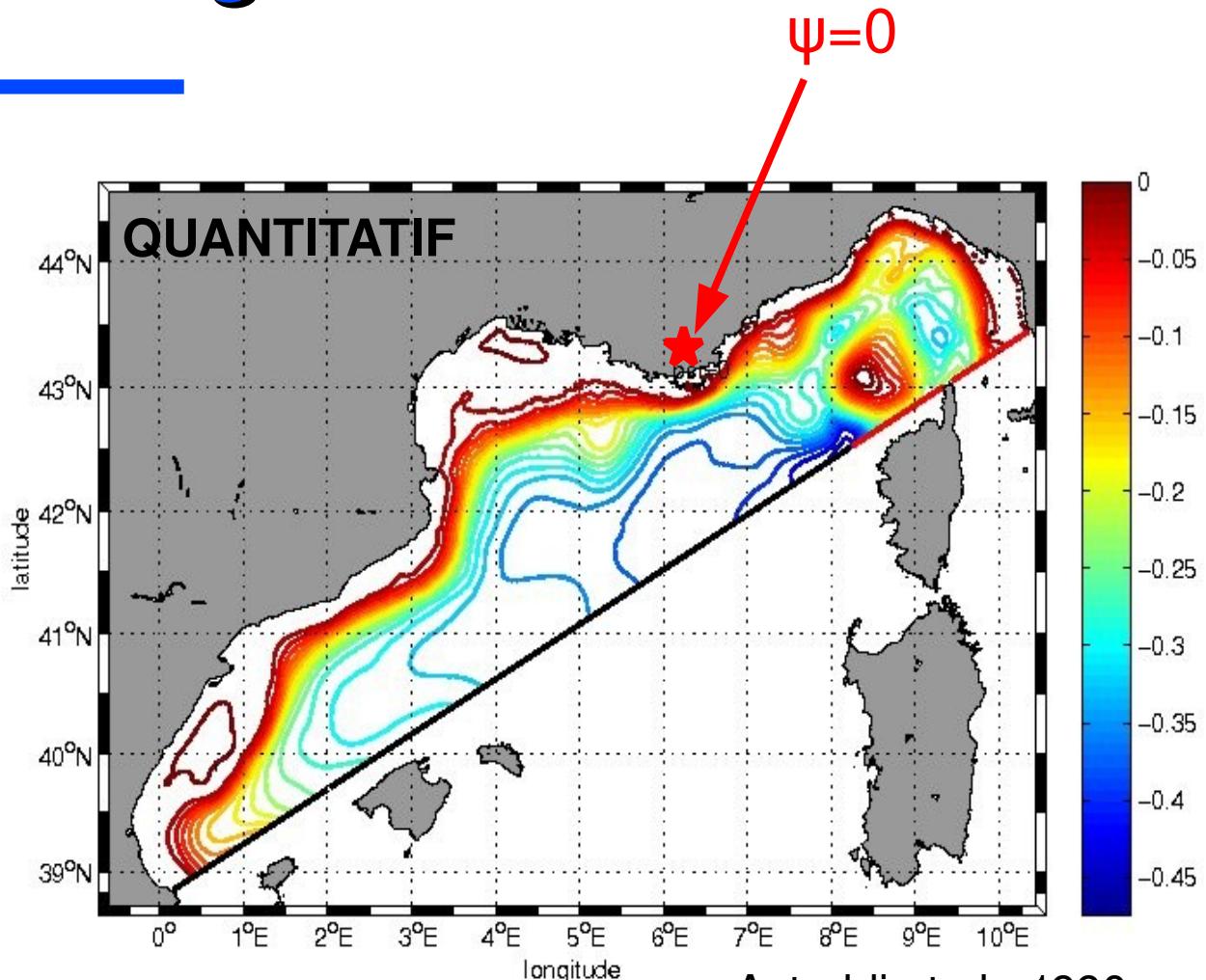
# Résultats généraux

- 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  $\psi$  :

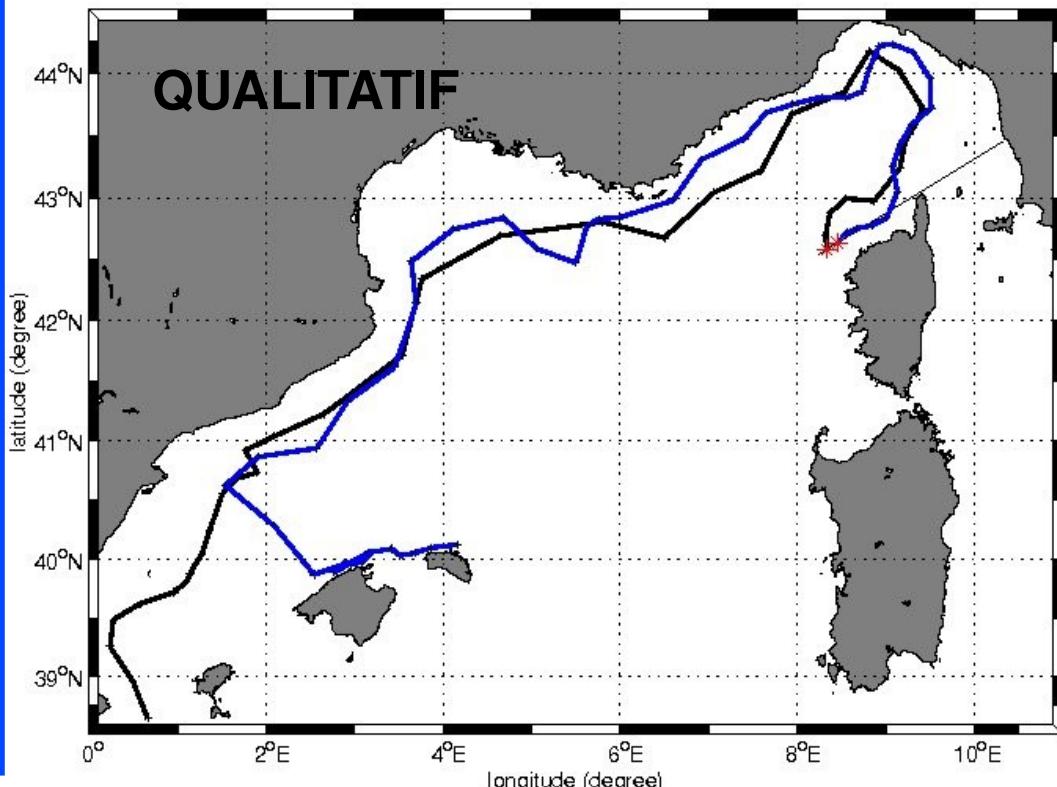
$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}$$

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



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

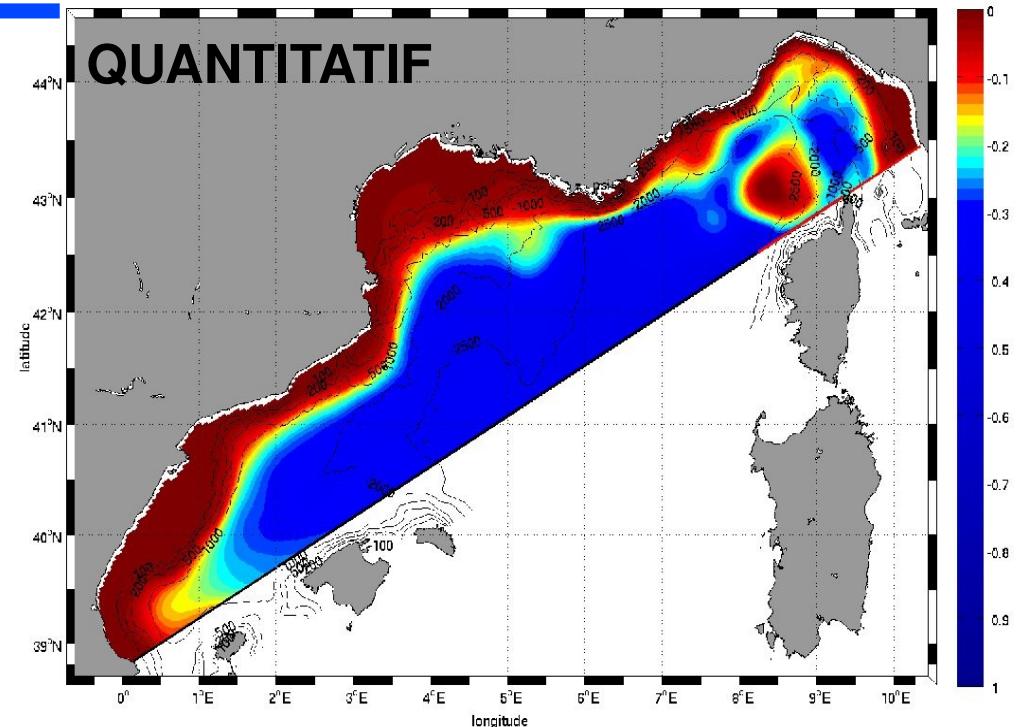
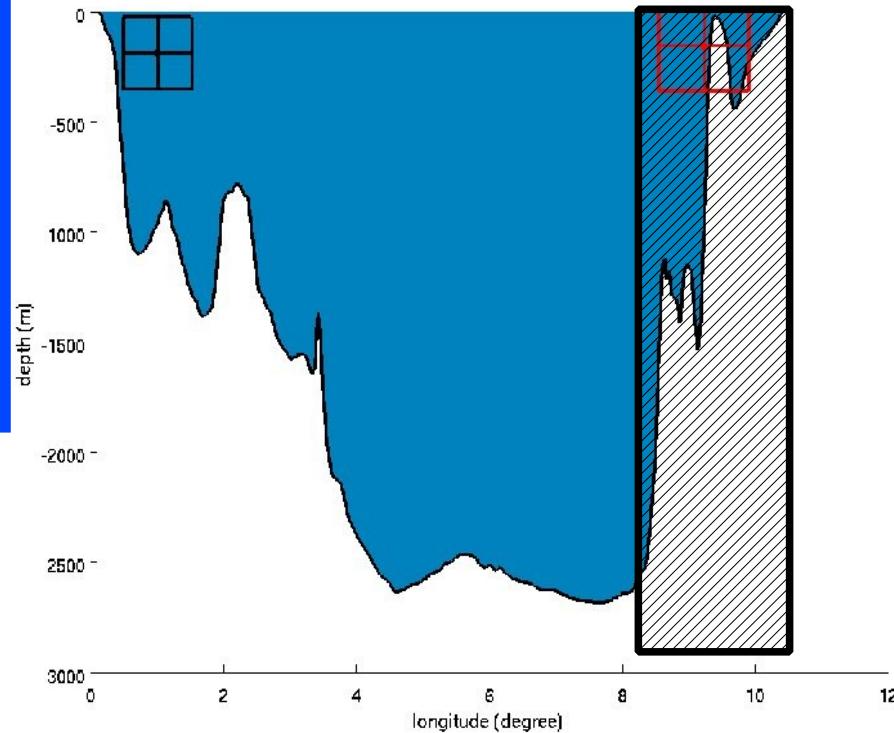
# Liaisons qualitative Corse - Baléares



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

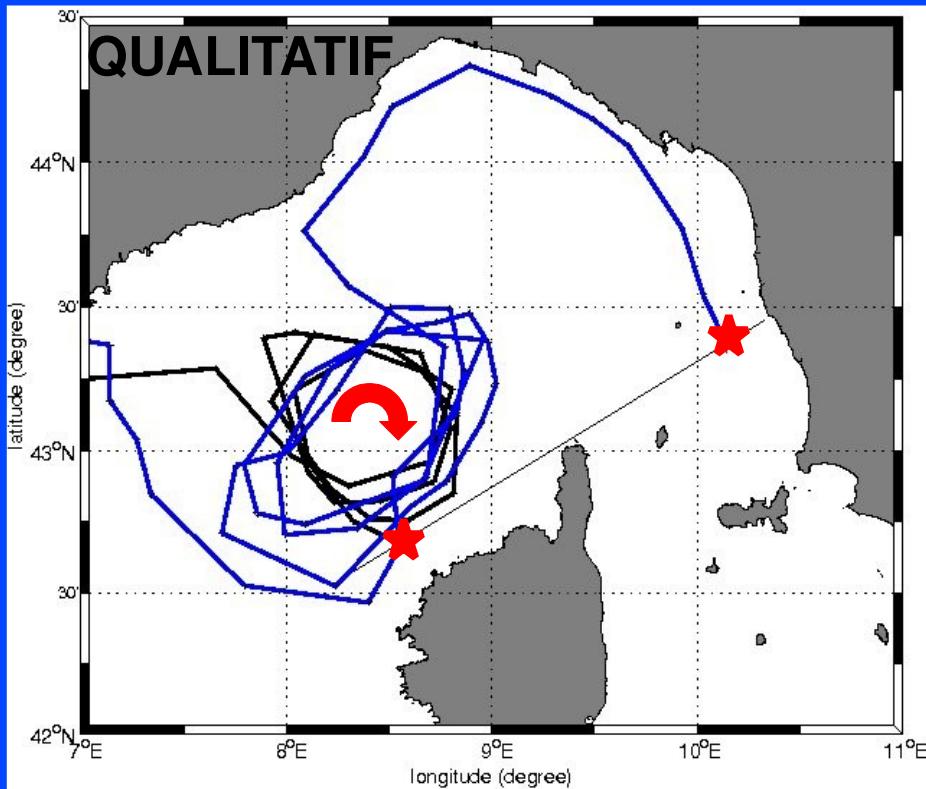
# Le Courant Nord

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

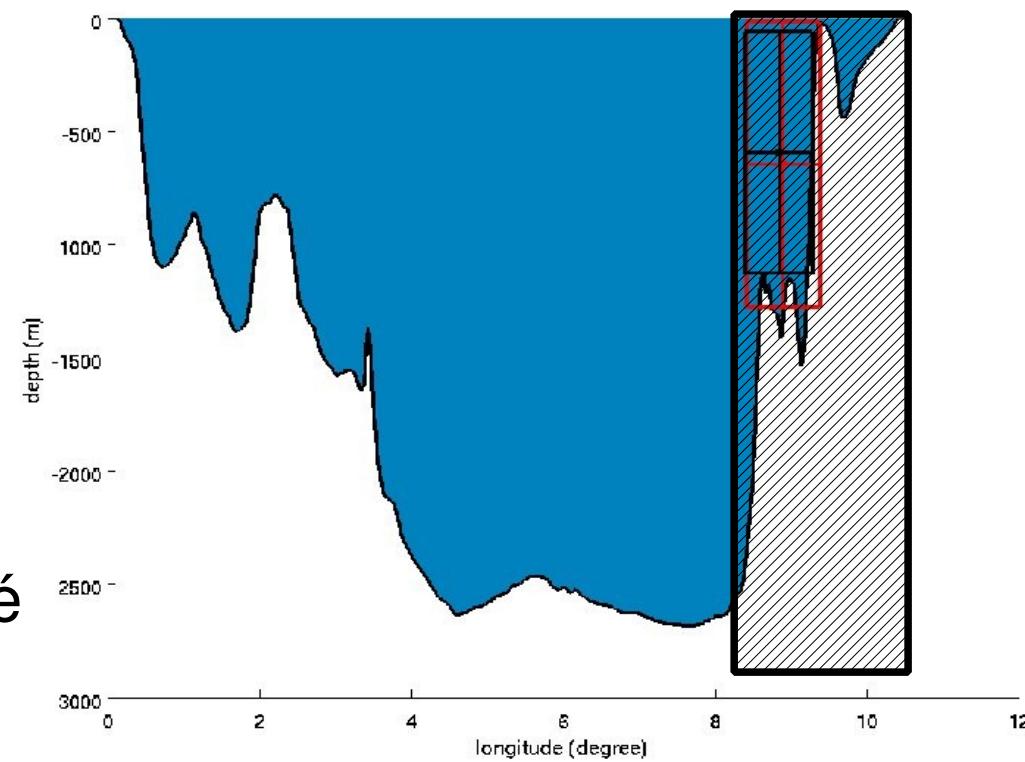


- Courant de surface : de 0 à 400 m
- Temps de résidence moyen de 75 jours
- Parcours de ~ 1200 km vitesse moyenne 0.2 m/s

# Recirculation Ligurienne



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



- Pourrait concerter 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

---

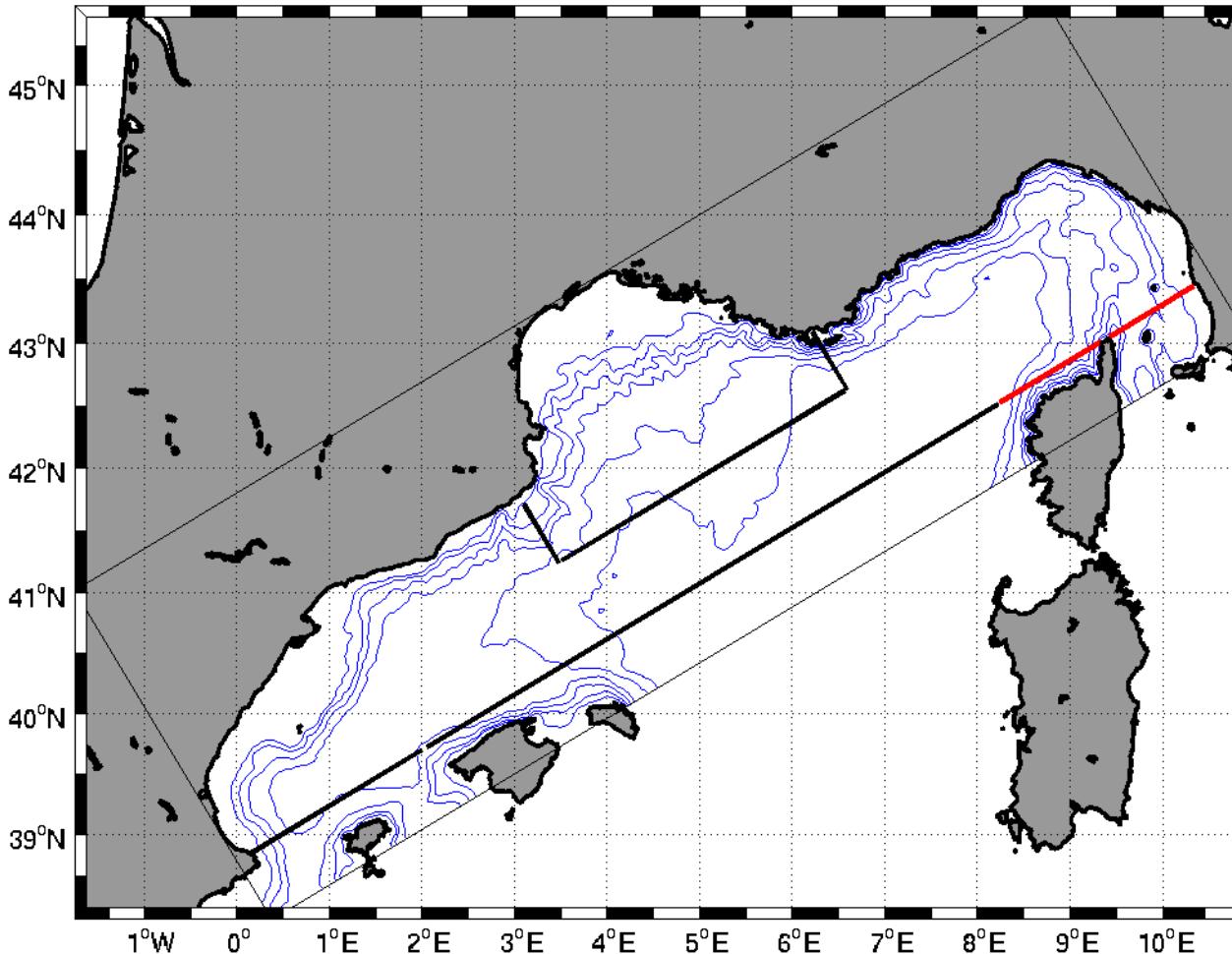
- Implémentation des données de salinité et température pour l'analyse des masses d'eau
- Diagnostics séparés pour WCC et ECC afin d'évaluer leur contribution au Courant Nord
- Étude de la Recirculation Ligurienne afin de valider ou non sa présence
- Diagnostique lagrangien pour le Golfe du Lion
- Simulation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

---

**Merci pour votre attention**

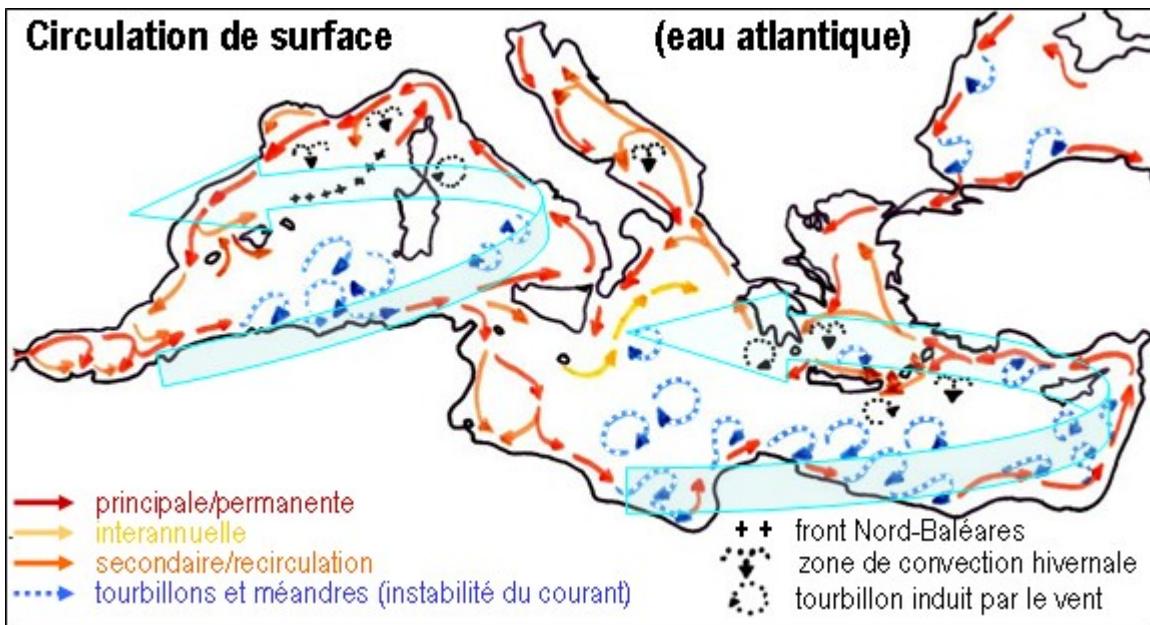
**...des questions ?**

# 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 es 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 :

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

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 :

$$-\left(\bar{u}' w', \bar{v}' w'\right) = v_t \frac{\partial}{\partial z} (u, v)$$

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

Fermeture turbulente :

$$-\left(\bar{T}' w', \bar{S}' w'\right) = \Gamma_t^{T,S} \frac{\partial}{\partial z} (T, S)$$

# La fonction de courant

---

Hypothèses nécessaires au calcul de la fonction de courant :

- écoulement irrotationnel
- fluide incompressible

On a alors :

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

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

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

# 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 <sup>3</sup> /s)/particle	trans.(Sv)	lon.(°)	lat.(°)	depth(m)
10 <sup>8</sup>	0.2521	1.009	39.253	-189.683
10 <sup>2</sup>	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 initialization	mode	integration	particles initialization	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 & offshore
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 & offshore
run_7	upstream	qualitative	forward	from run_1	temporal criterion & lid
run_8	upstream	qualitative	forward	from run_1	temporal criterion & lid