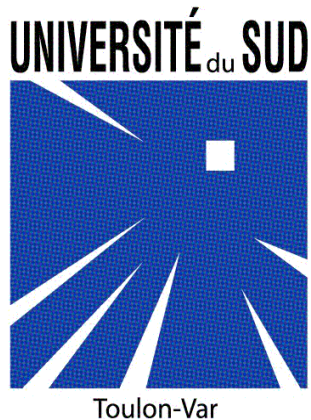


# Étude numérique lagrangienne des parcours typiques des masses d'eau en Méditerranée nord occidentale

**Henrick Berger**

Stage d'école d'ingénieur 3<sup>ème</sup> année  
encadré par Anne Petrenko et Andrea Doglioli



**CENTRE  
D'OcéANOLOGIE  
DE MARSEILLE**



UNIVERSITÉ DE LA MÉDITERRANÉE  
AIX-MARSEILLE II

# Objectifs

- Mise en place du code lagrangien Ariane au LOPB
- Mise en évidence de la circulation lagrangienne en Méditerranée nord occidentale
- Détermination du flux de masse entre la Corse et les Baléares

# Sommaire

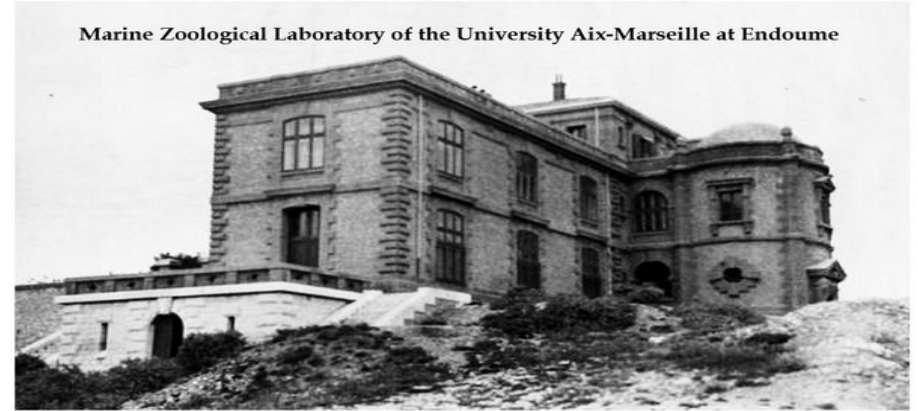


Le Centre d'Océanologie de Marseille

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 = Lagrangian Transport Experiment (2008 - 2012)

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]

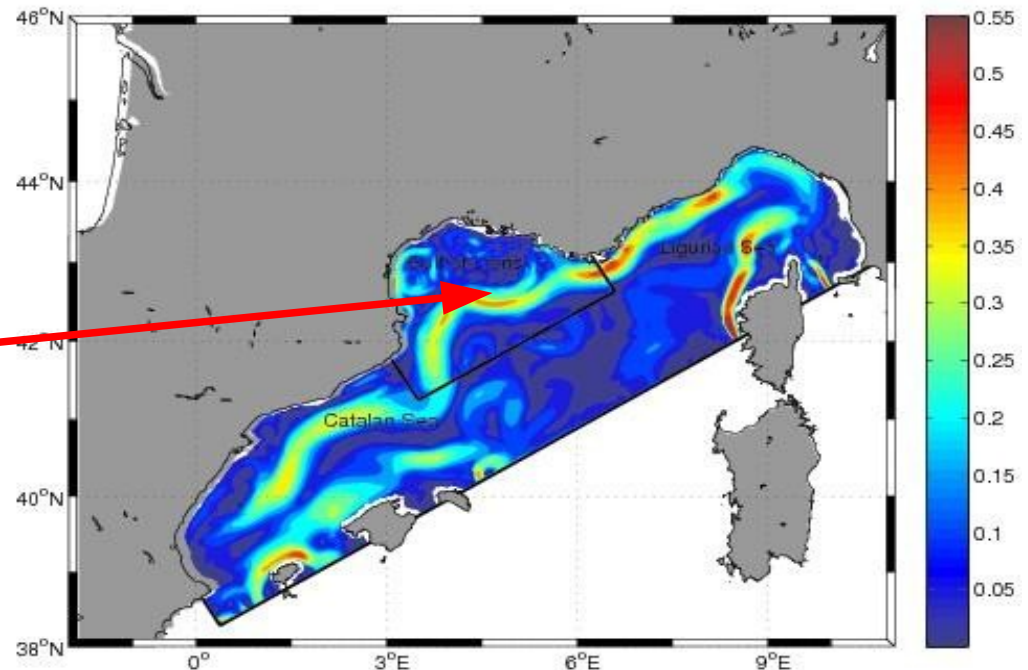
Simulation réaliste de la circulation en Méditerranée nord occidentale pour les années 2001 à 2003

Caractéristiques :

- résolution 3 km
- Sorties journalières :

U,V,W,S,T,SSH

Courant Nord (CN)





# L'outil de diagnostic lagrangien Ariane

Site web : [www.univ-brest.fr/lpo/ariane/](http://www.univ-brest.fr/lpo/ariane/)



Mis au point au Laboratoire de Physique des Océans à Brest  
[Blanke et al, 1997]

Outil d'intégration temporelle du champ de vitesse

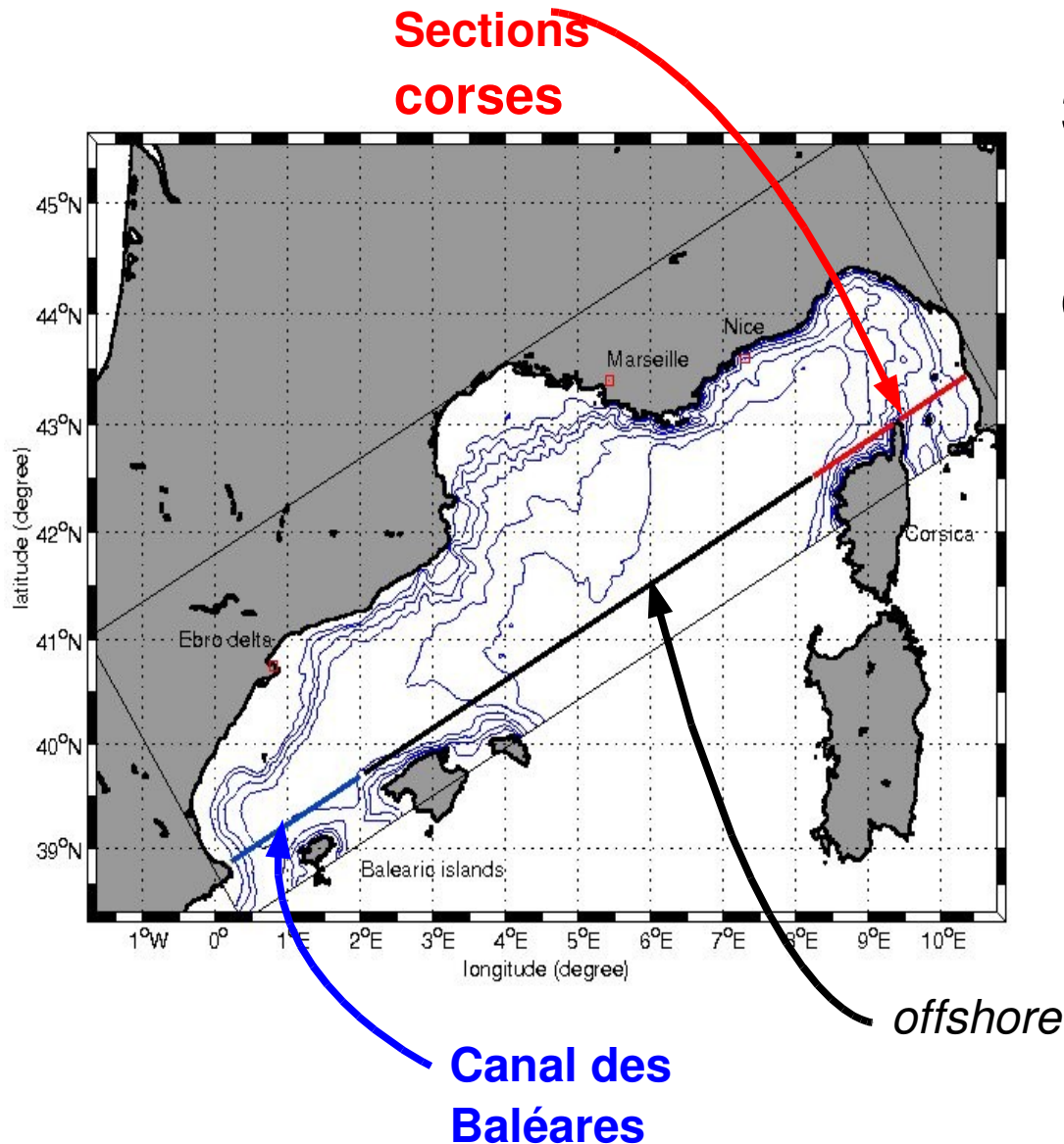
Utilisation *off-line* sur les sorties du modèle Symphonie

2 modes d'intégration, *forward* et *backward*

2 modes d'analyse :

qualitatif	→	étude des trajectoires
quantitatif	→	fonction de courant
	↘	flux de masse

# Domaine d'étude



3 années de simulation :  
2001 au 2003

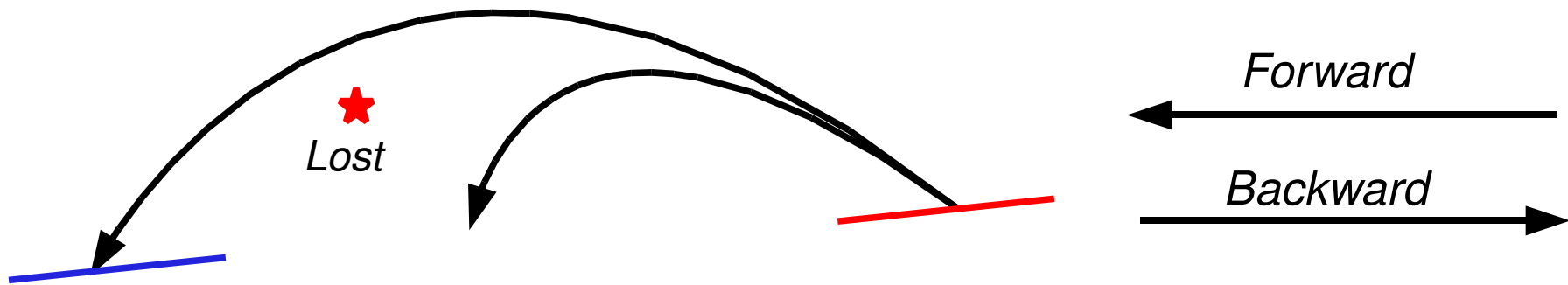
Objectif : flux entre  
sections corses et  
canal de Baléares

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

→ backward

★ Downstream backward

Downstream backward

→ forward

— Fonction de courant

— Flux de masse

— Fonction de courant

— Flux de masse

Flux moyen & erreur

# Circulation de bassin

Fonction de courant  
négative pour  
l'ensemble du  
domaine :  
circulation cyclonique

2 principales  
circulations CN et RL

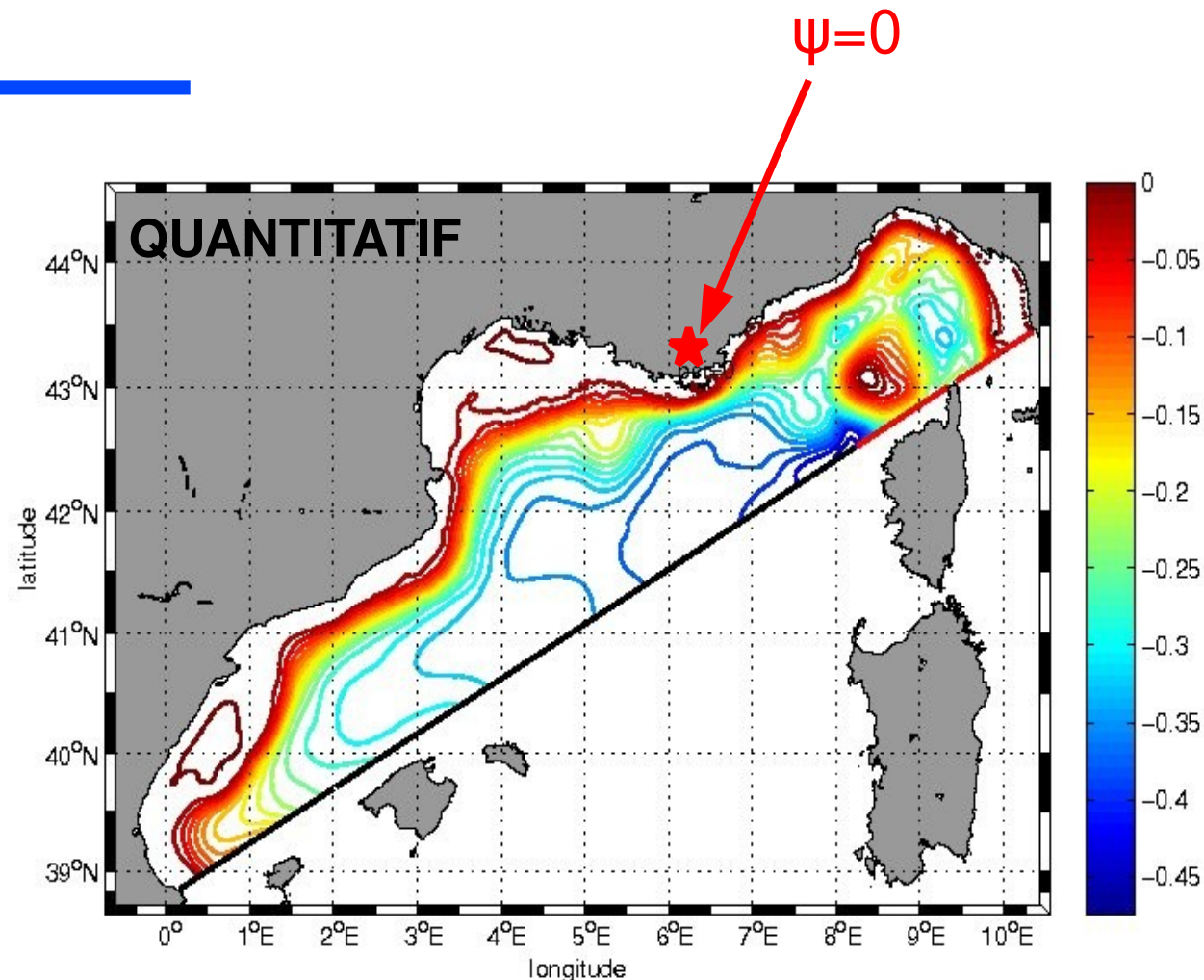
1 Sv circule dans le  
domaine (upstream  
et downstream)

A comparer avec :

Astraldi et al., 1990

Conan et Millot, 1995

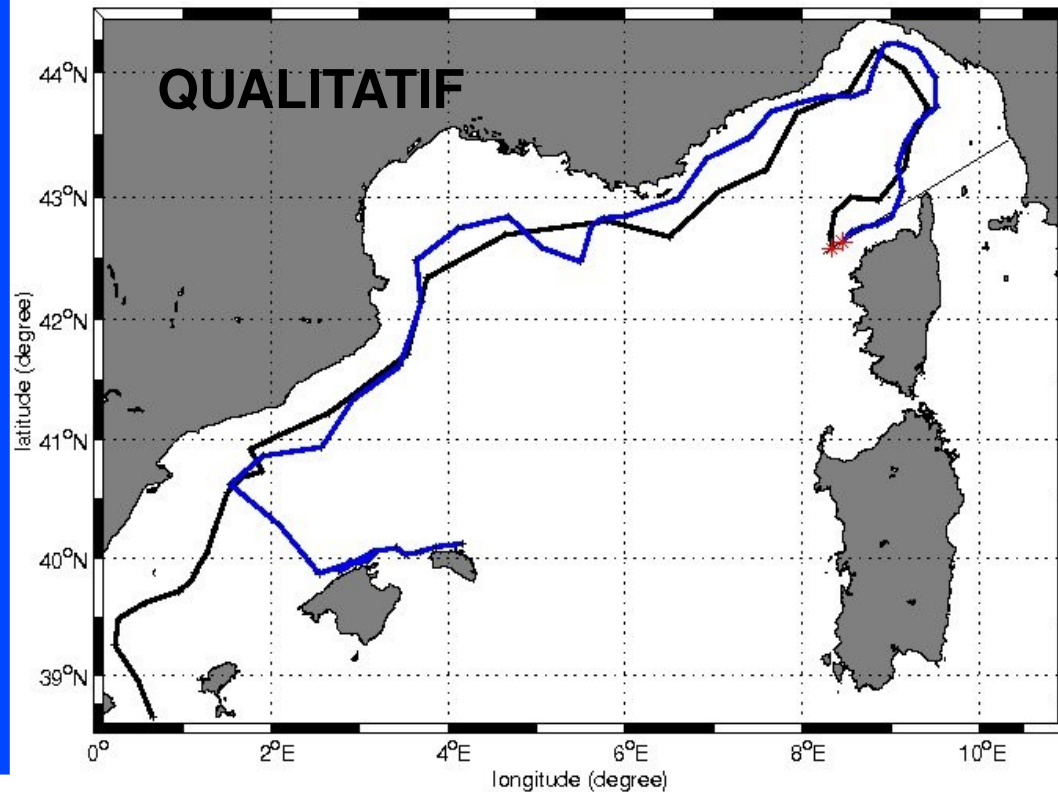
Pinot et al., 2002



Fonction de courant  $\psi$  :

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

# Liaisons qualitatives Corse - Baléares



2 parcours typiques :  
Courant Nord  
Recirculation des  
Baléares

issuent de 2 particules parmi  
des milliers

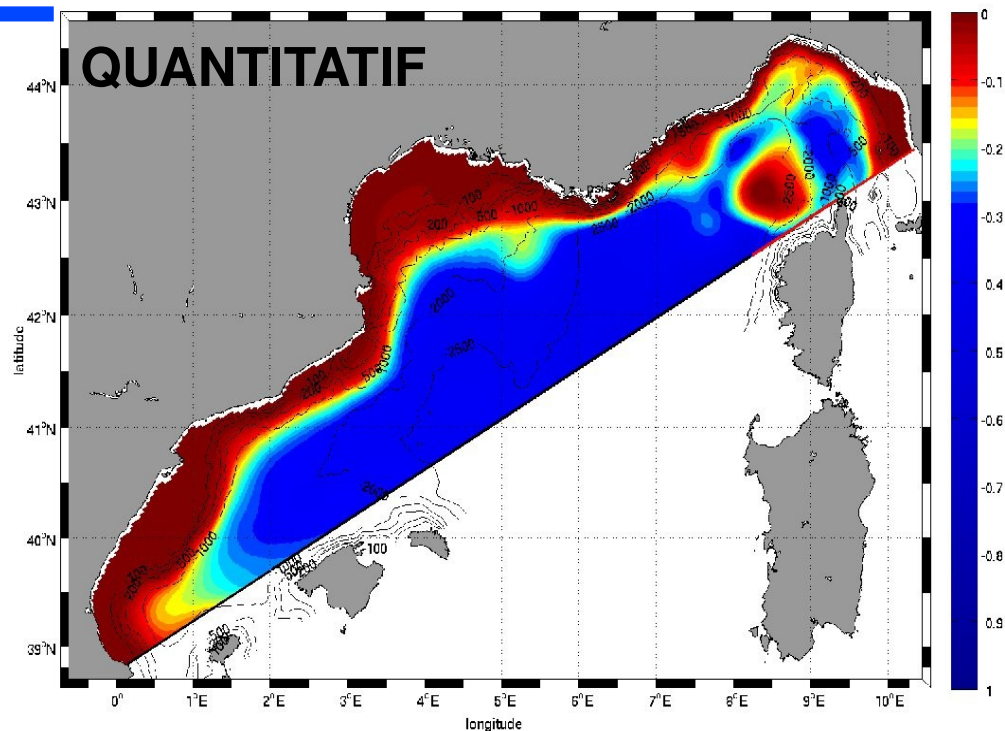
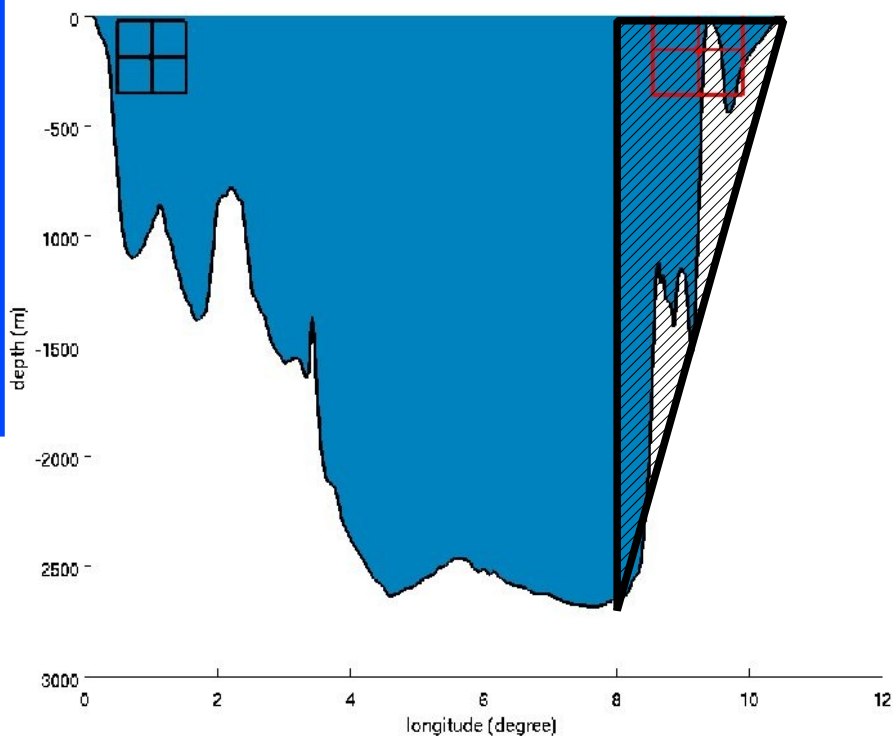
Parcours commun jusqu'au  
nord des Baléares



# Le Courant Nord

Importance du forçage bathymétrique

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

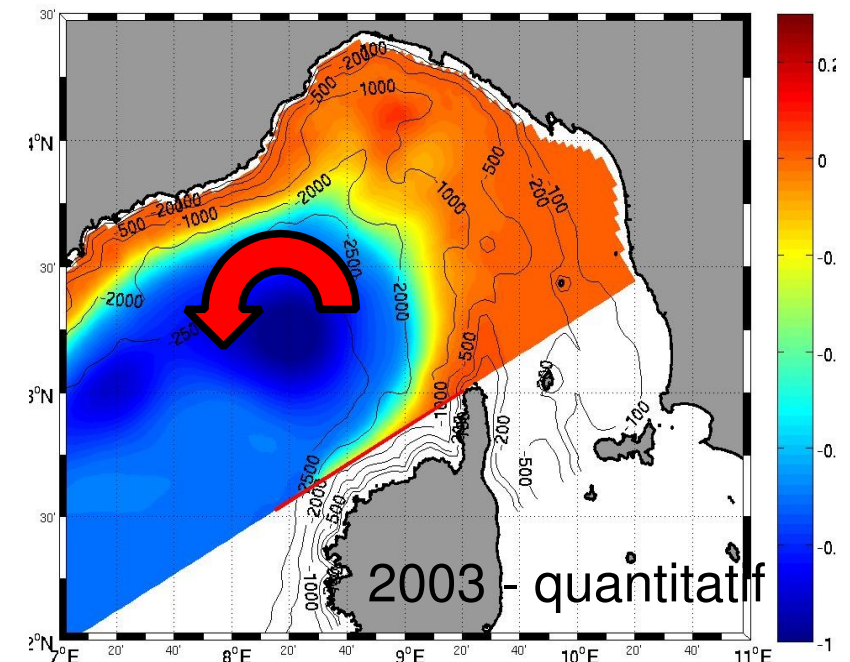
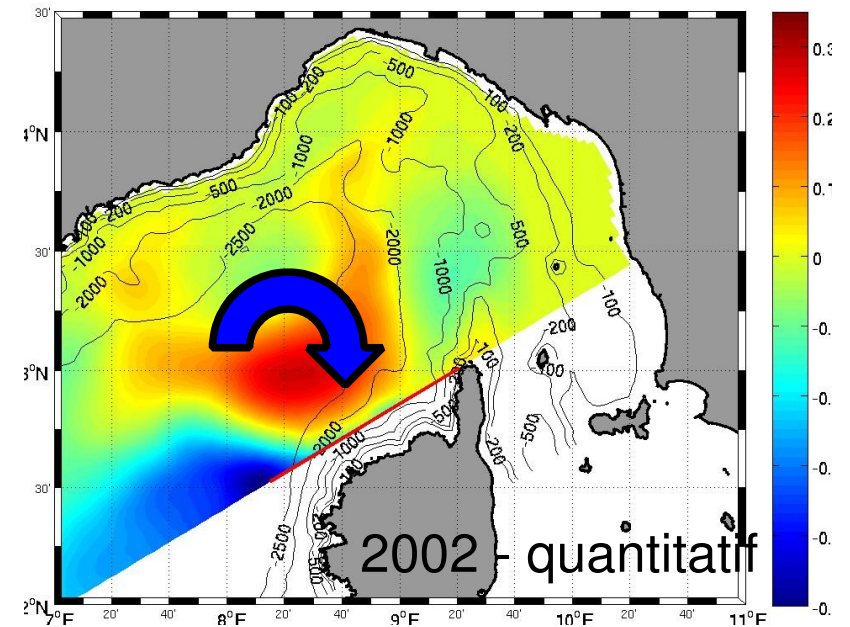
Influence de la bathymétrie

Importante variabilité annuelle

Formée par les eaux du courant ouest Corse (WCC)

Caractéristiques thermohalines moyennes équivalentes entre les années

Flux de masse pouvant varier du simple au double en une année : 0.55 Sv en 2002 contre 0.27 Sv en 2003



# Mécanismes

Schéma classique

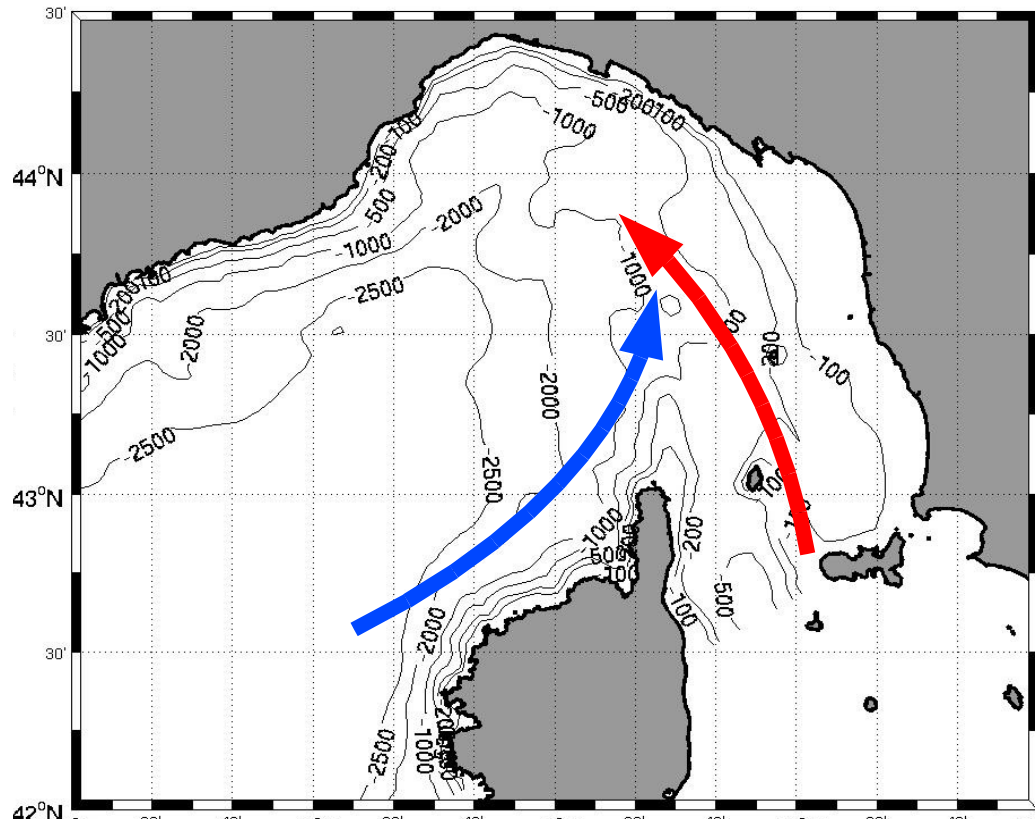
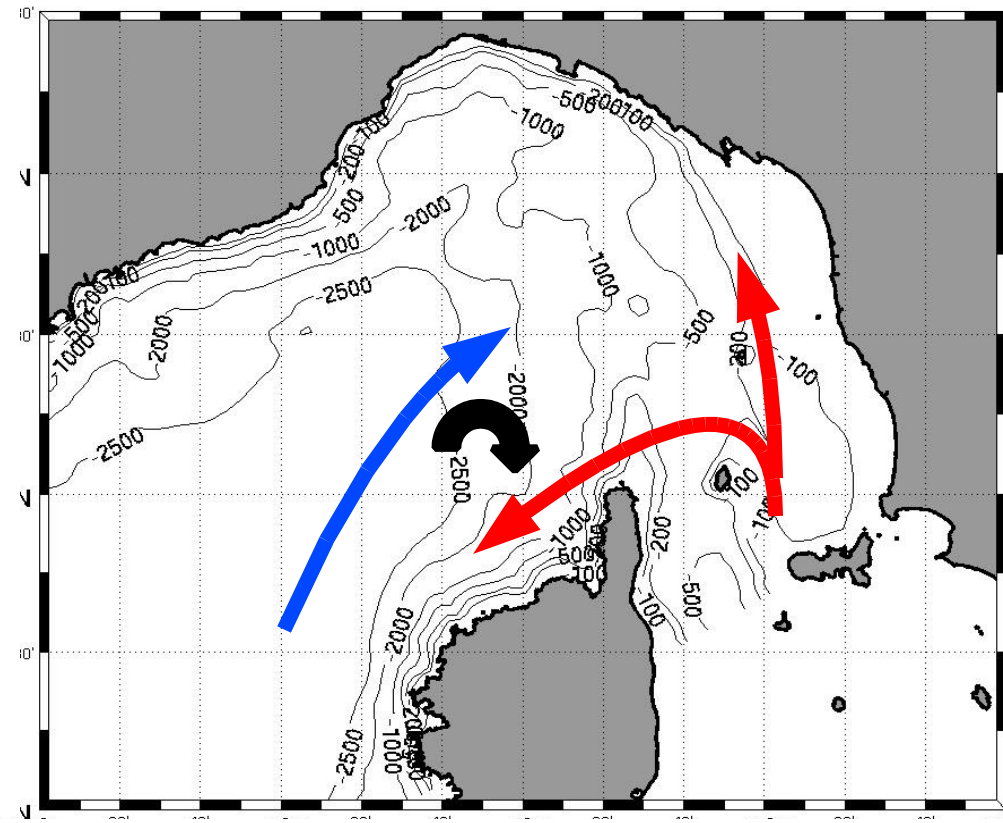


Schéma envisagé





# Conclusions

Estimation lagrangienne de la circulation régionale moyenne

Forte influence de la bathymétrie sur la circulation

Flux de masse lagrangien inférieur aux mesures in situ pour la circulation Corse – Baléares

Recirculation Ligurienne très variable, inexistante en 2001, anticyclonique en 2002 et cyclonique en 2003

Informations sur les traceurs salinité et température fournies par Ariane insuffisante pour expliquer la LR

Origine de la Recirculation Ligurienne encore inexpliquée

# Perspectives

Diagnostique lagrangien pour le Golfe du Lion

Simulation sur une plus longue durée

Implémentation d'un modèle avec une plus grande extension offshore

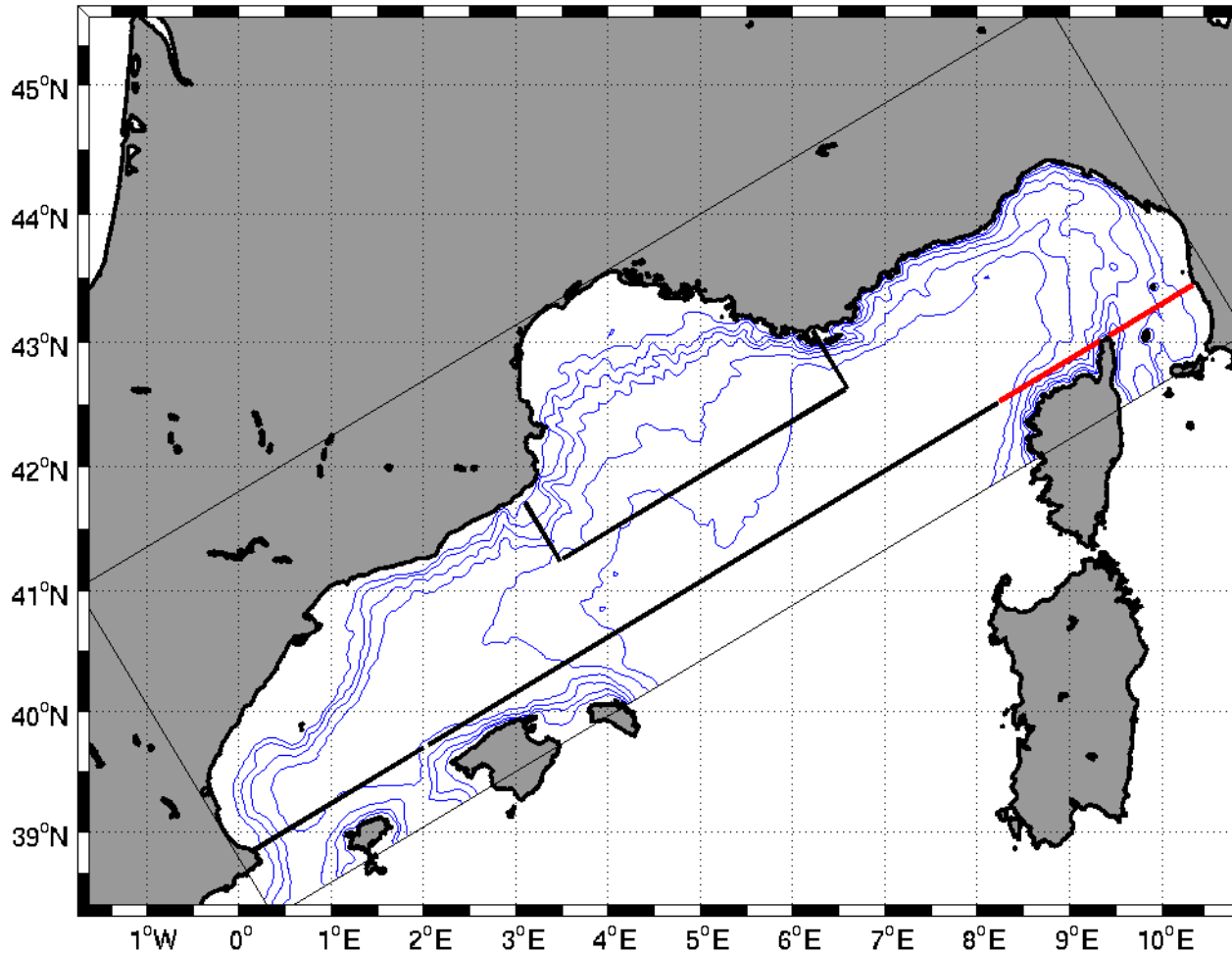
Mise en place d'un modèle haute résolution en mer ligure pour étudier la circulation et les forçages de manière approfondie



**Merci pour votre attention**

**...des questions ?**

# Pour le projet LATEX

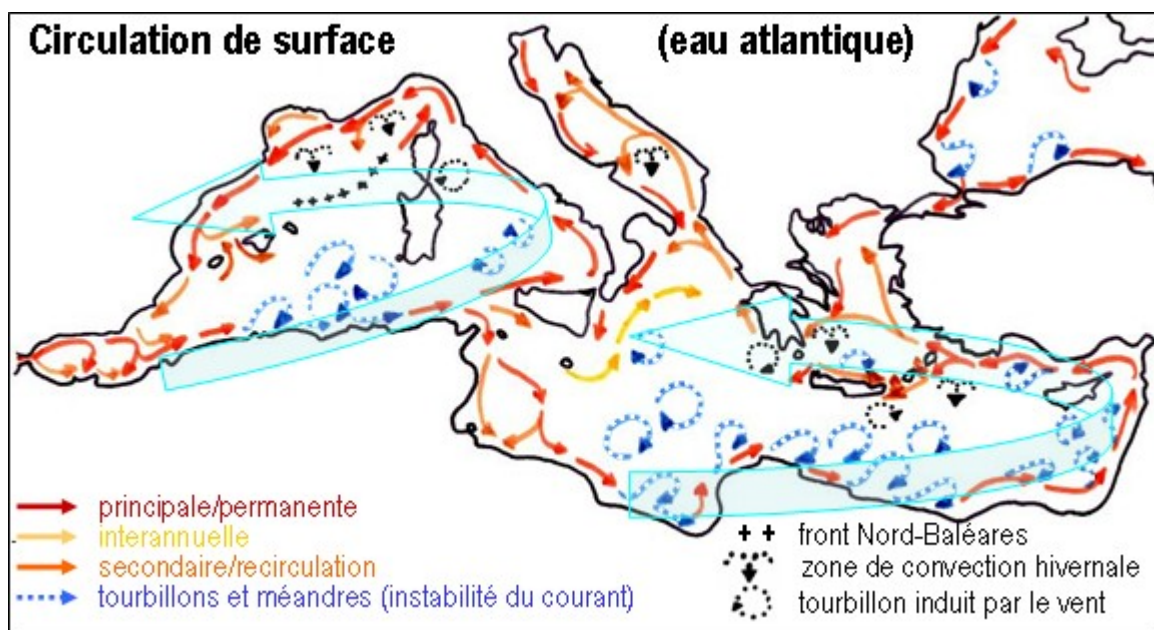


Détermination des flux entrant et sortant sur du Golfe du Lion

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 Boussinesq

Équations du mouvement associées :

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

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 :

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

# La fonction de courant

Hypothèses nécessaires au calcul de la fonction de courant :

- écoulement irrotationnel
- fluide incompressible

On a alors :

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

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

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

# 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 & 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

Table 2.2: list of runs made for the Lagrangian diagnostic of the NWM