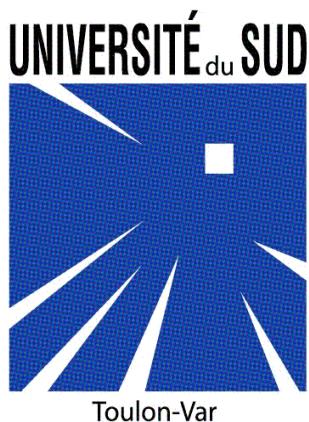


Étude numérique lagrangienne des parcours typiques des masses d'eau en Méditerranée nord occidentale

Henrick Berger

Stage d'école d'ingénieur 3^{ème} année
encadré par Anne Petrenko et Andrea Doglioli



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 inert (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]

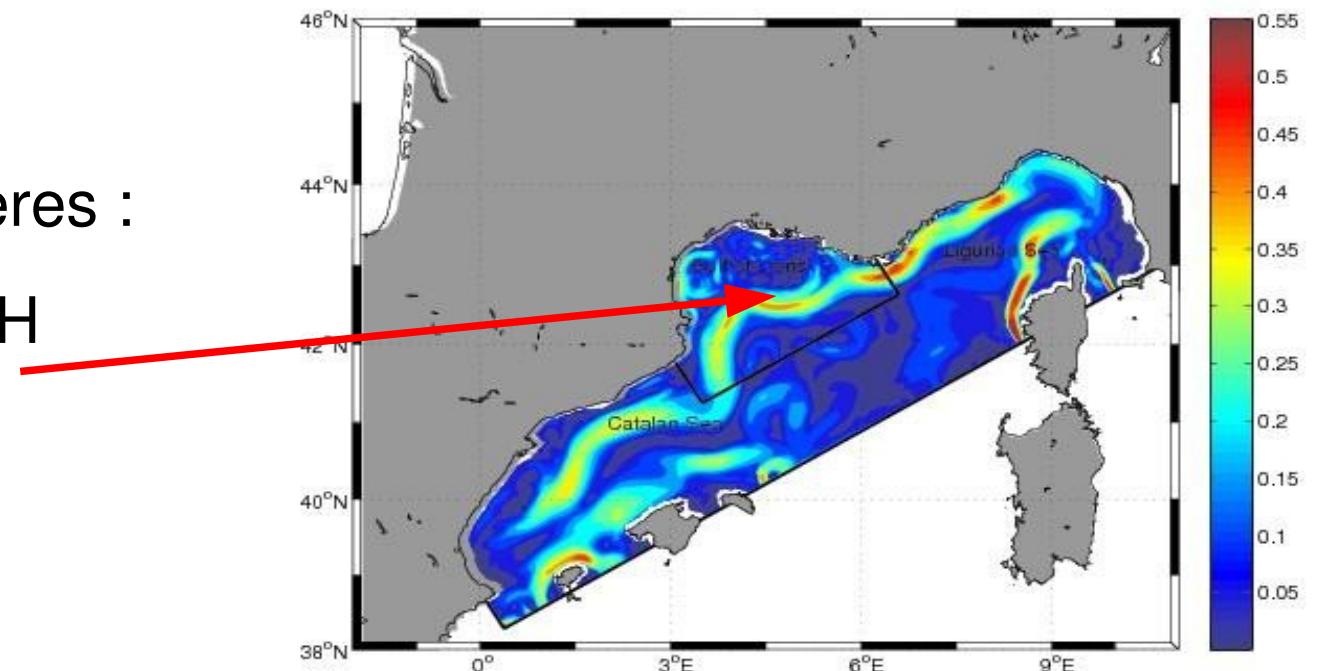
Simulation réaliste de la circulation en Méditerranée nord occidentale pour les années 2001 à 2003

Caractéristiques :

- résolution 3 km
- Sorties journalières :

U,V,W,S,T,SSH

Courant Nord (CN)



L'outil de diagnostique lagrangien Ariane

Site web : www.univ-brest.fr/lpo/ariane



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

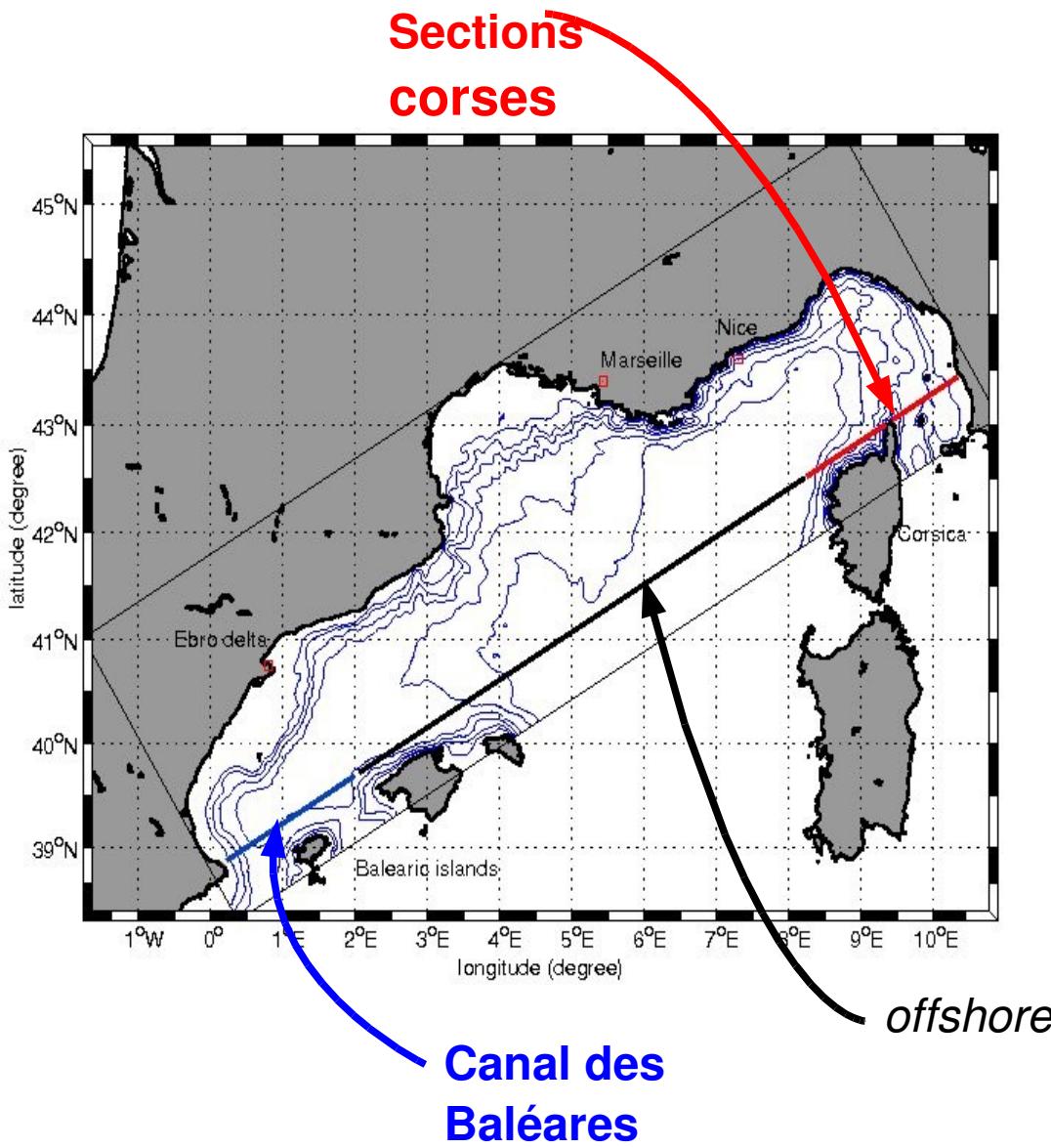
Outil d'intégration temporelle du champ de vitesse

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

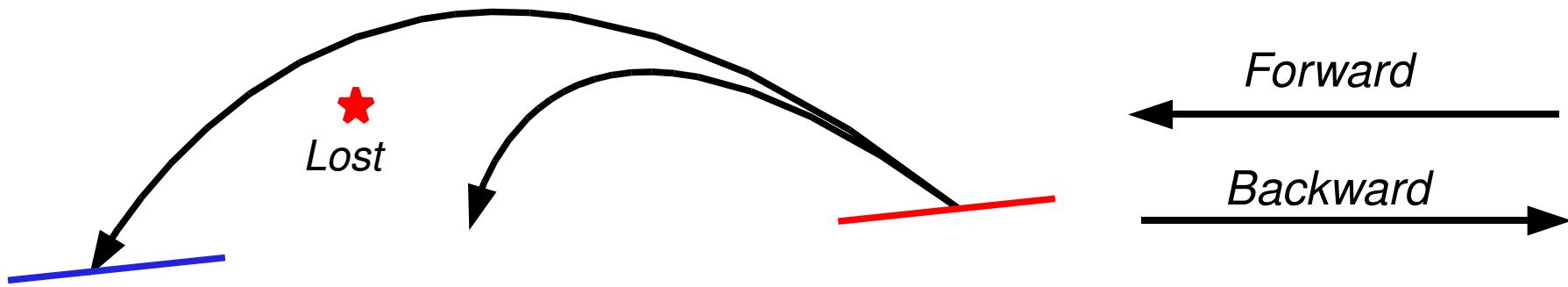
Objectif : flux entre
sections corses et
canal de Baléares

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

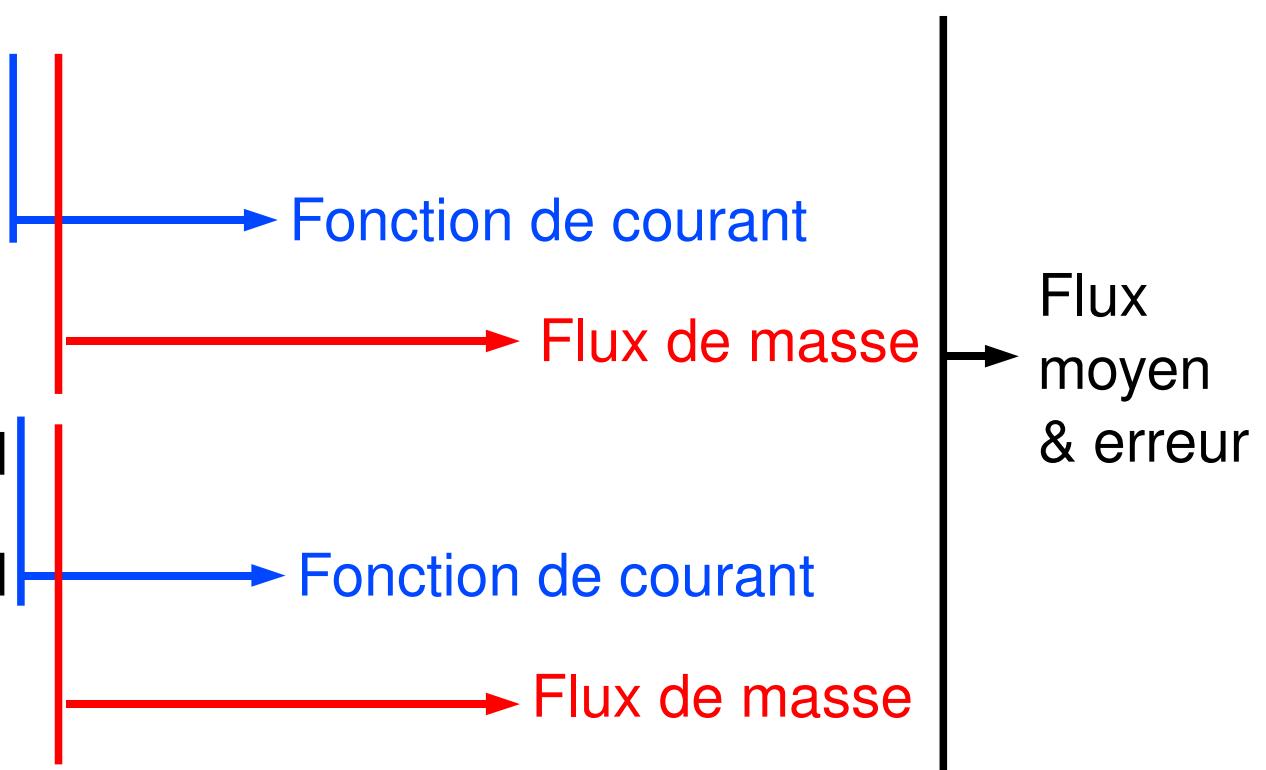
Upstream forward

→ backward

★ Downstream backward

Downstream backward

→ forward



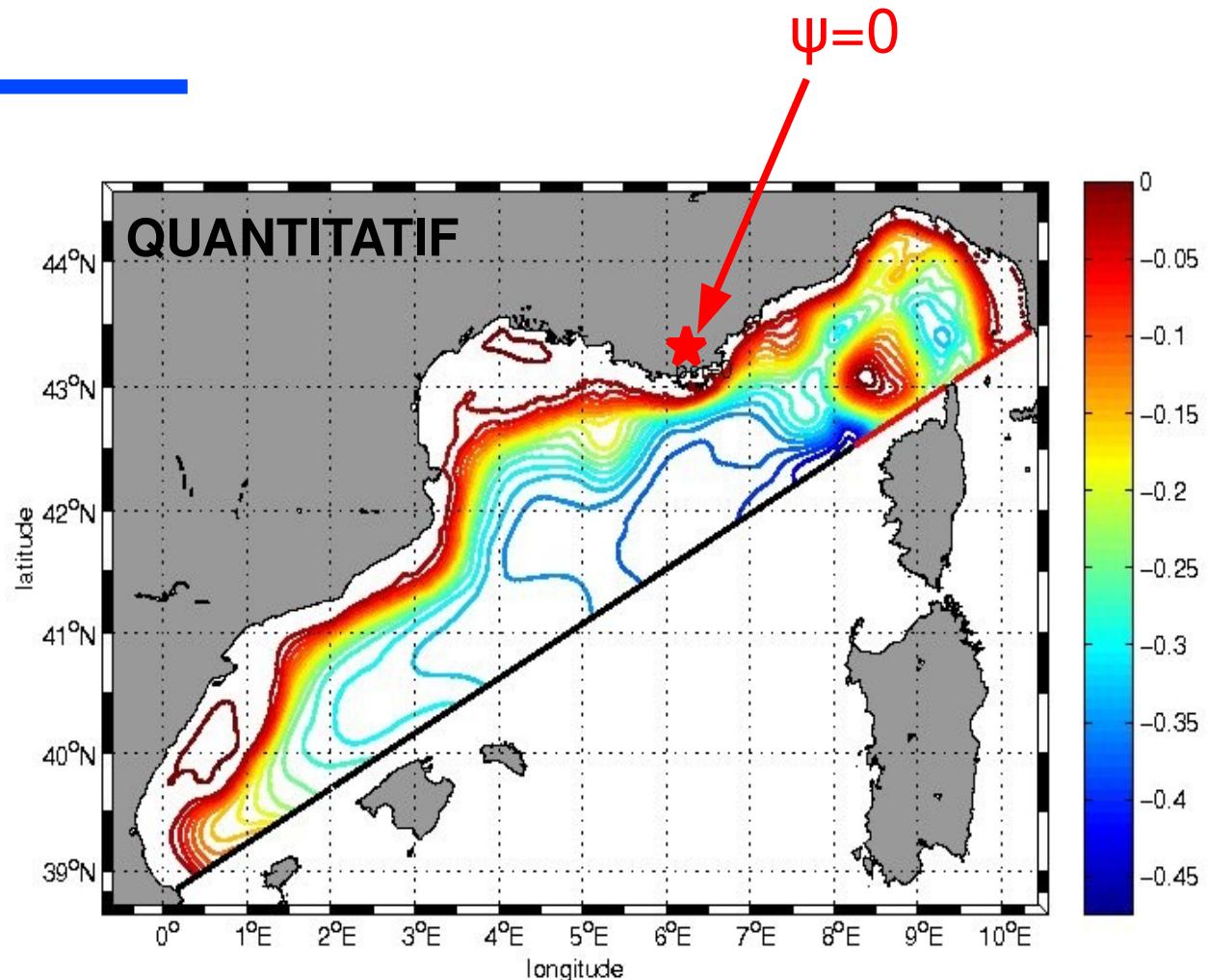
Circulation de bassin

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

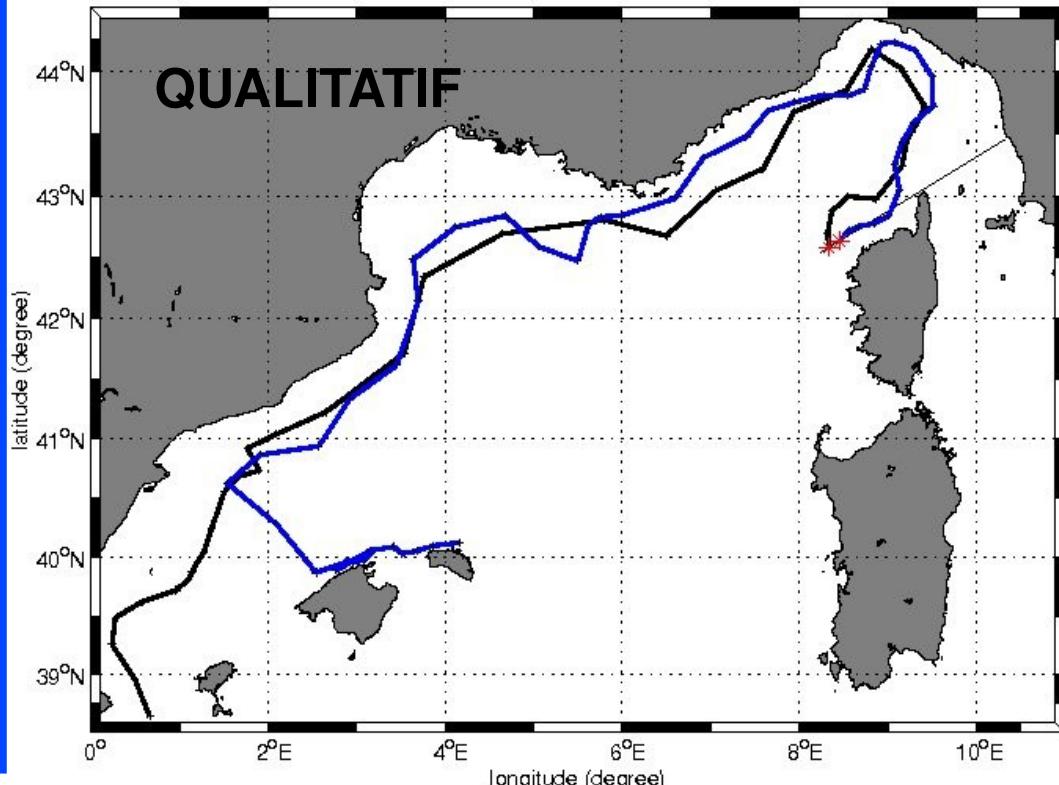


$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}$$

Fonction de courant ψ :

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

Liaisons qualitatives Corse - Baléares



2 parcours typiques :
Courant Nord
Recirculation des
Baléares

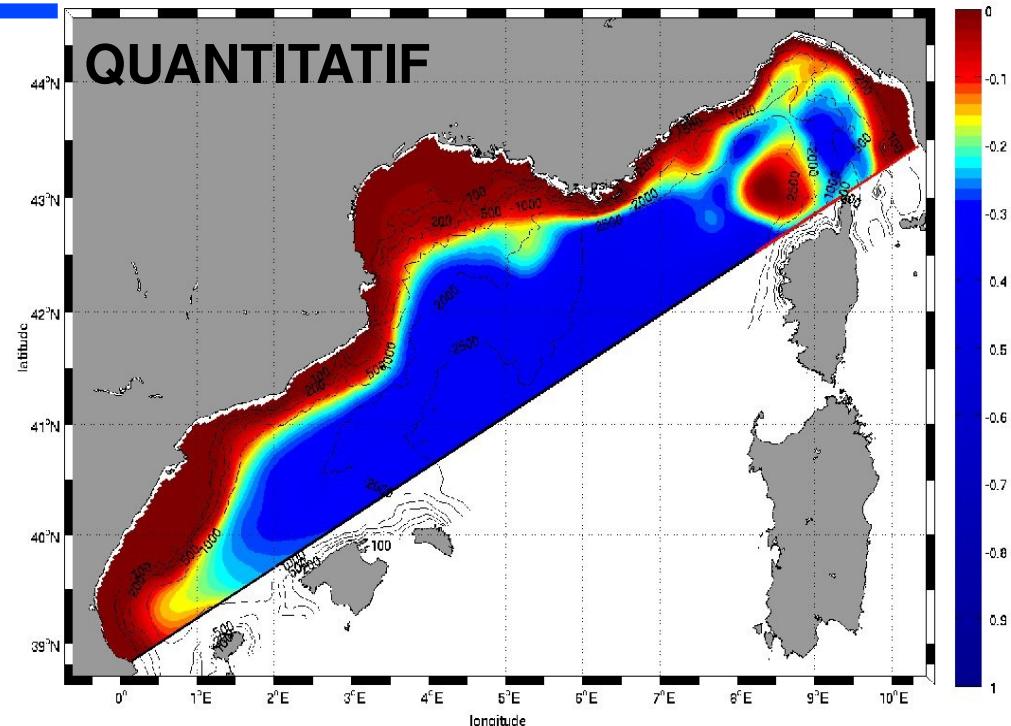
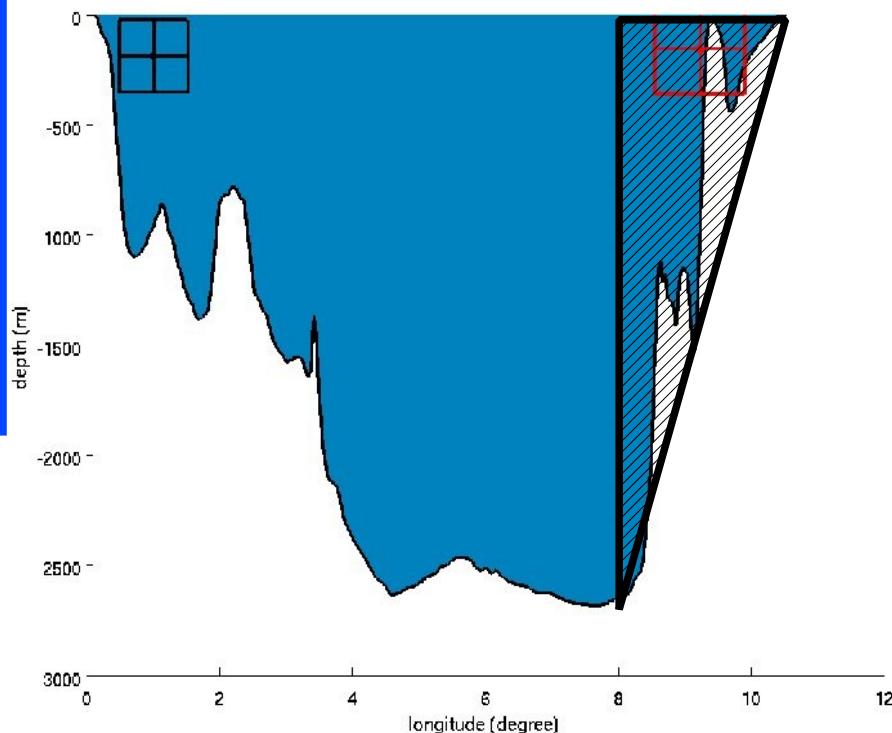
issuent de 2 particules parmi
des milliers

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

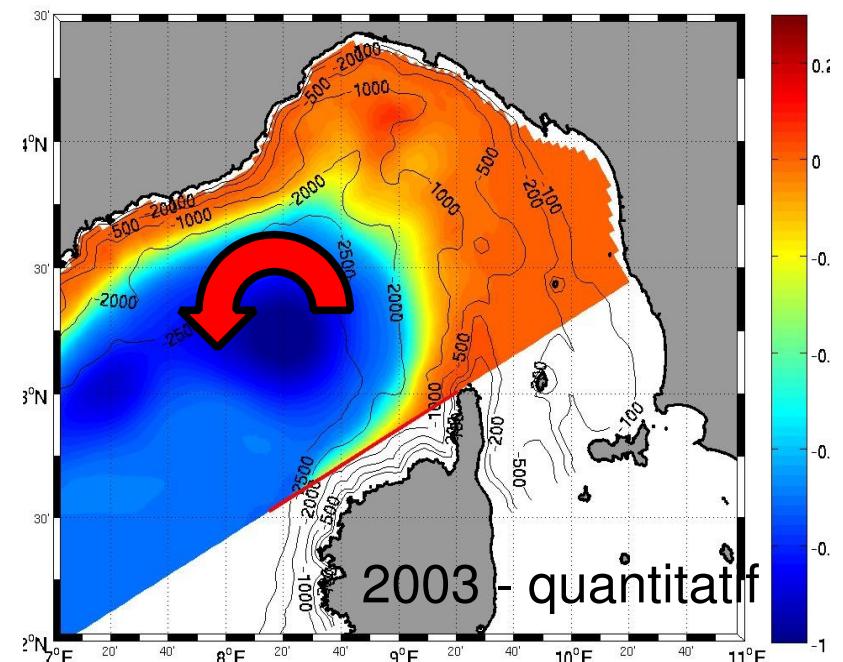
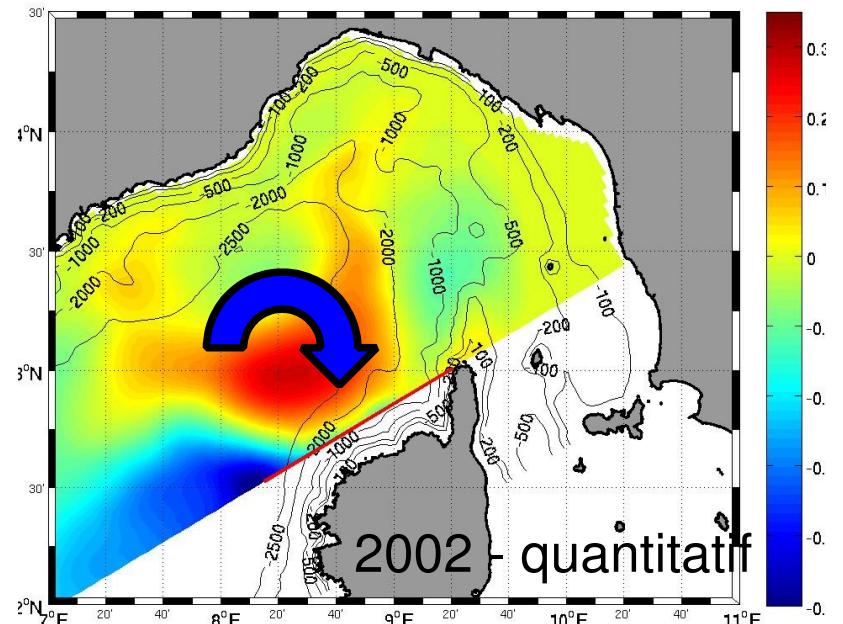
Influence de la bathymétrie

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

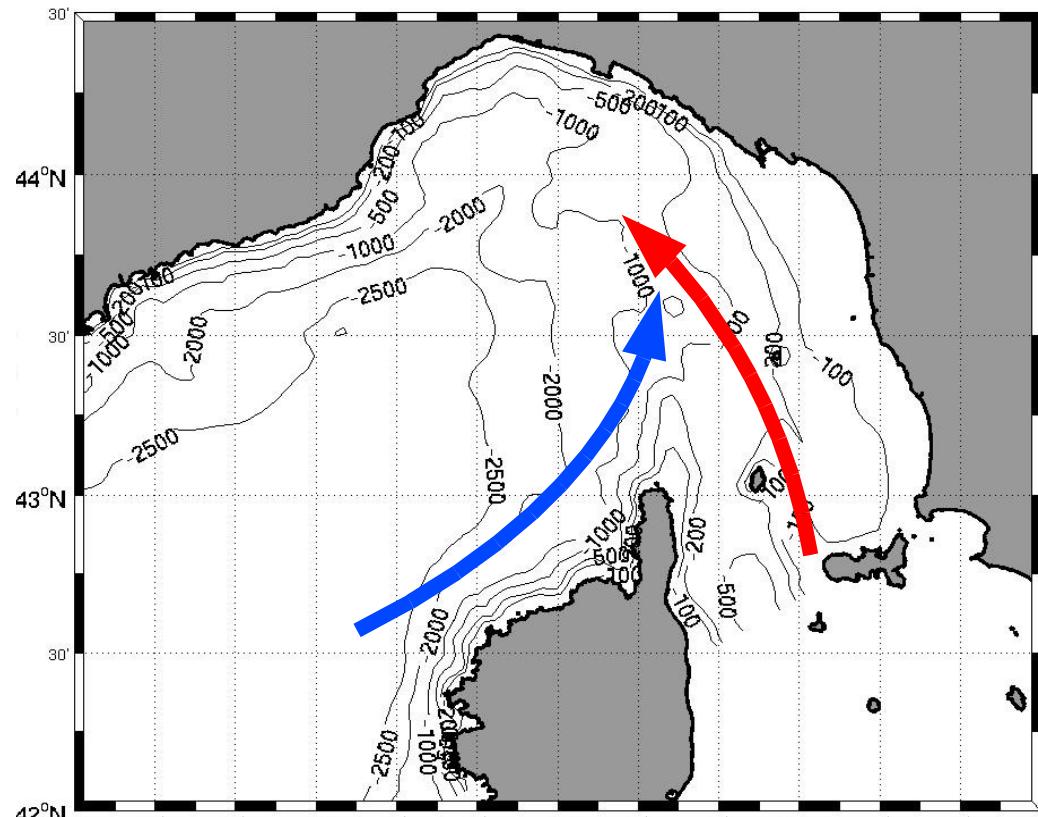
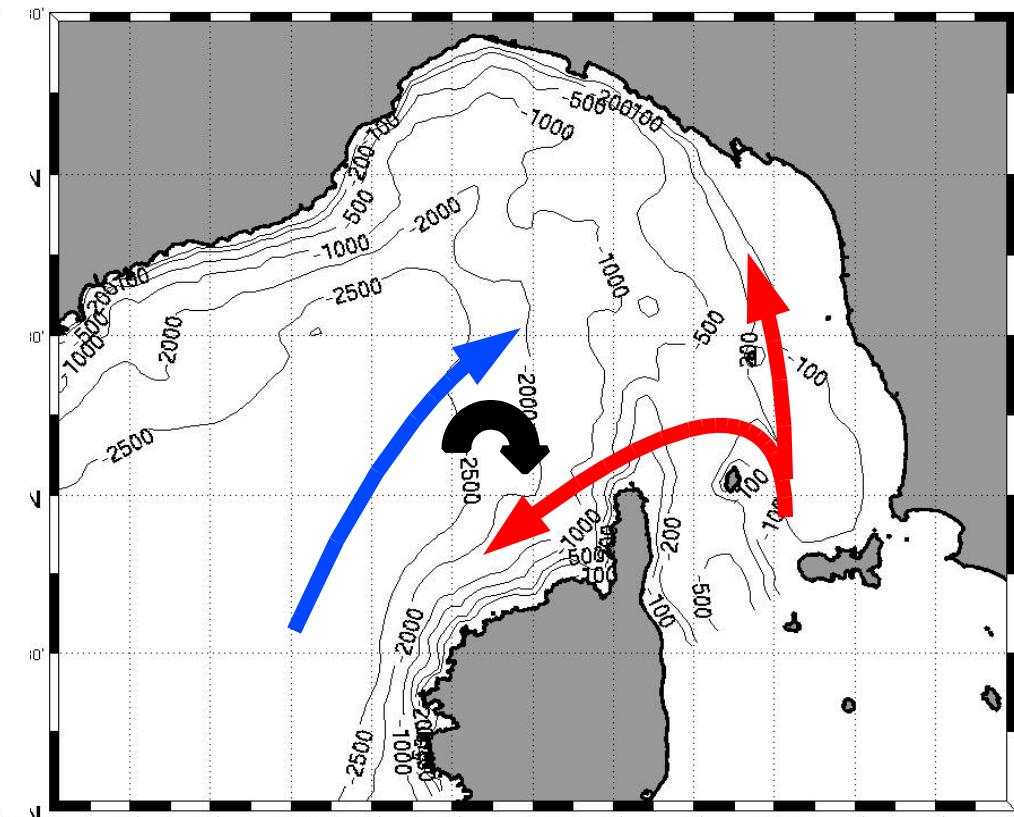


Schéma envisagé



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, inexiste 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

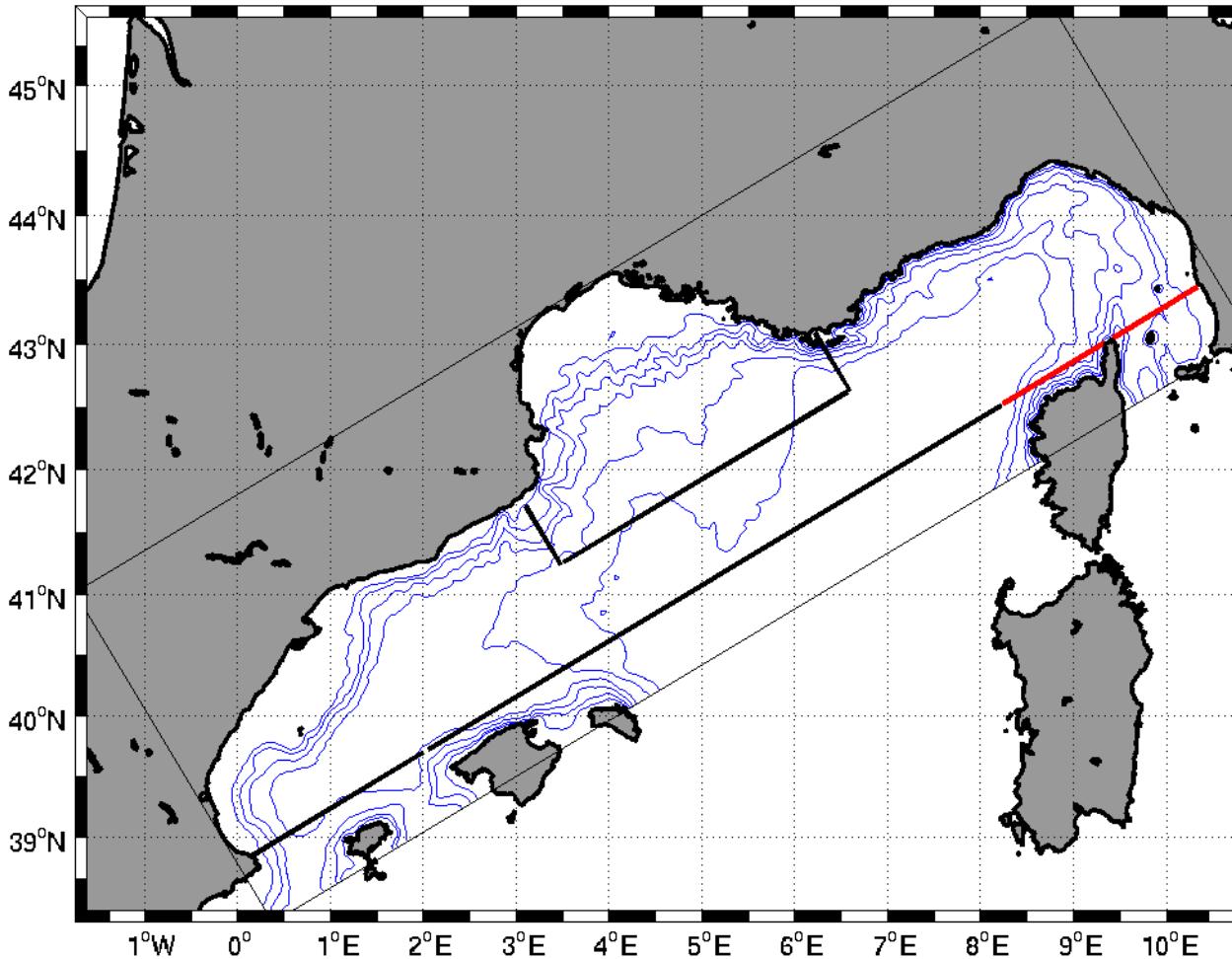
Mise en place d'un modèle haute résolution en mer ligure pour étudier la circulation et les forçages de manière approfondie



Merci pour votre attention

...des questions ?

Pour le projet LATEX

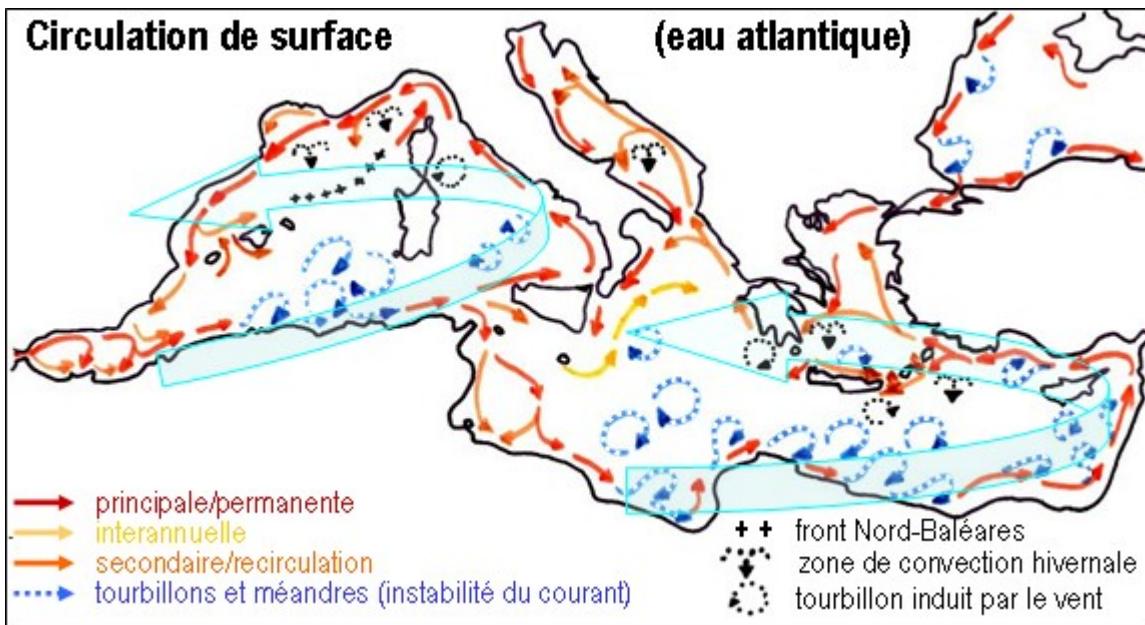


Détermination des flux entrant et sortant sur du Golfe du Lion

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 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 Boussinesq

Équations du mouvement associées :

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

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 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 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

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