

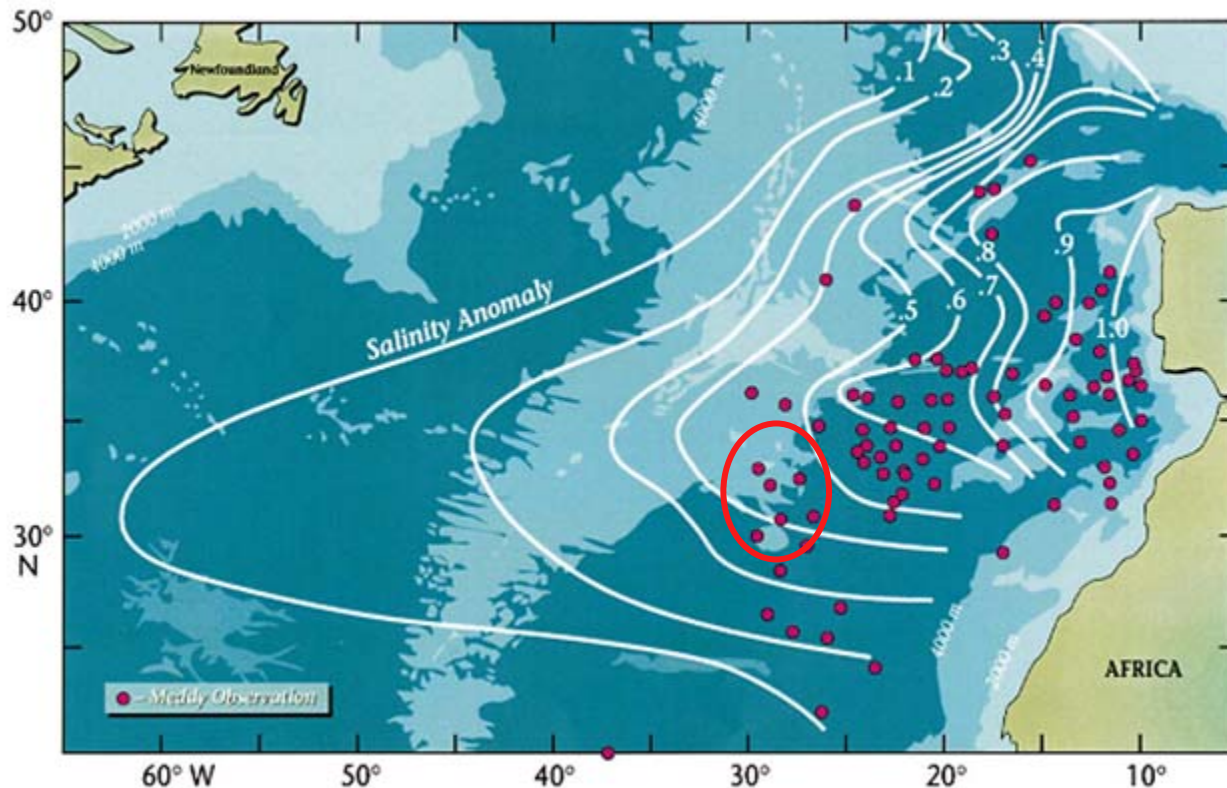
Etude numérique de la collision d'un Meddy avec une montagne sous-marine

M. Kersalé

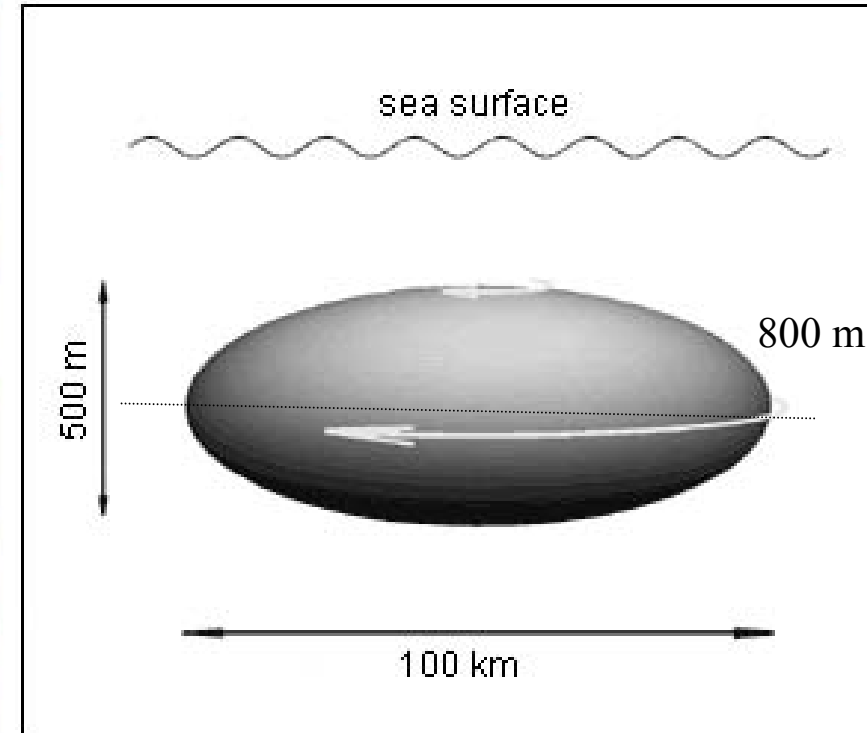
A. Peliz, A. M. Doglioli, A. Petrenko

INTRODUCTION

- Impact de l'eau Méditerranéenne dans l'Atlantique
- Meddies (*Mediterranean Eddies*) - tourbillons anticycloniques
- Dérive sud-ouest + Obstacles topographiques → COLLISION



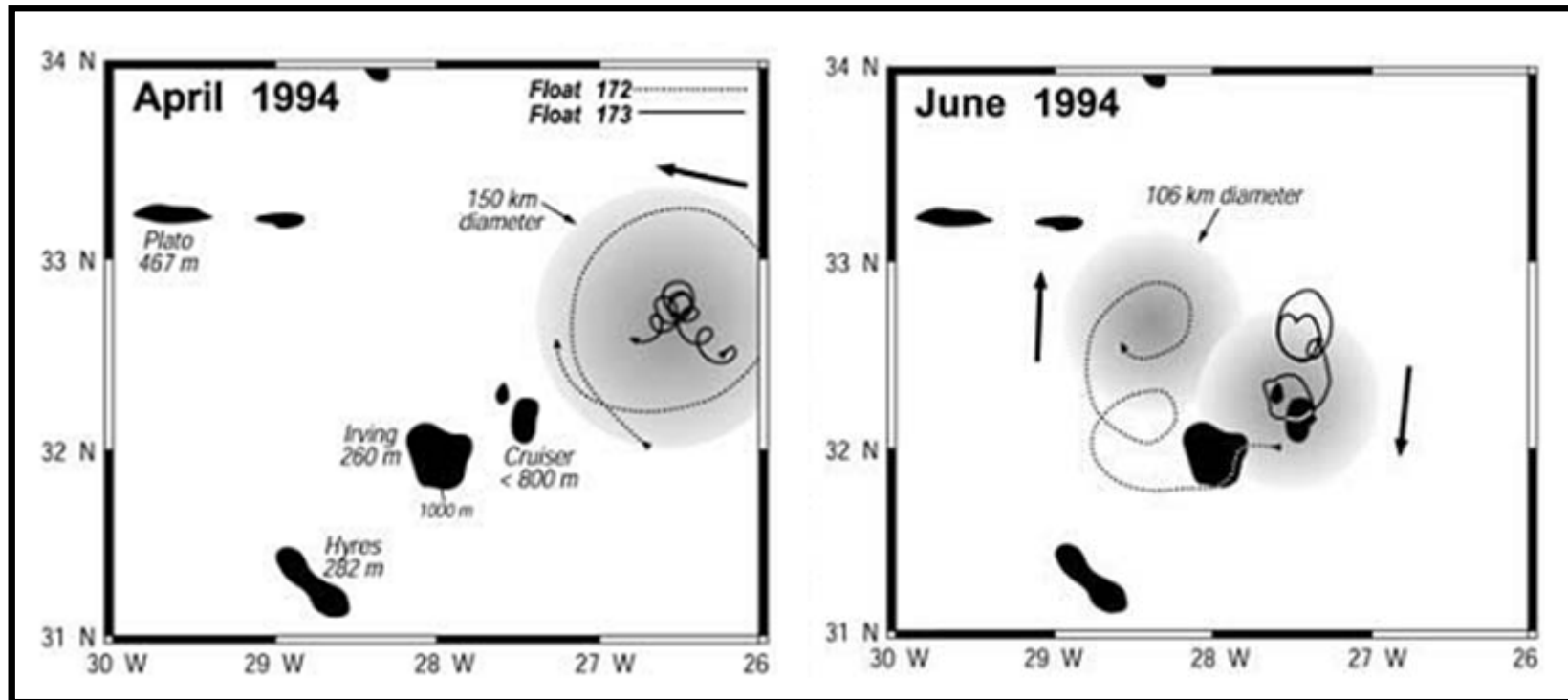
[Richardson et al., 2000]



[<http://www.gso.uri.edu>]

INTRODUCTION

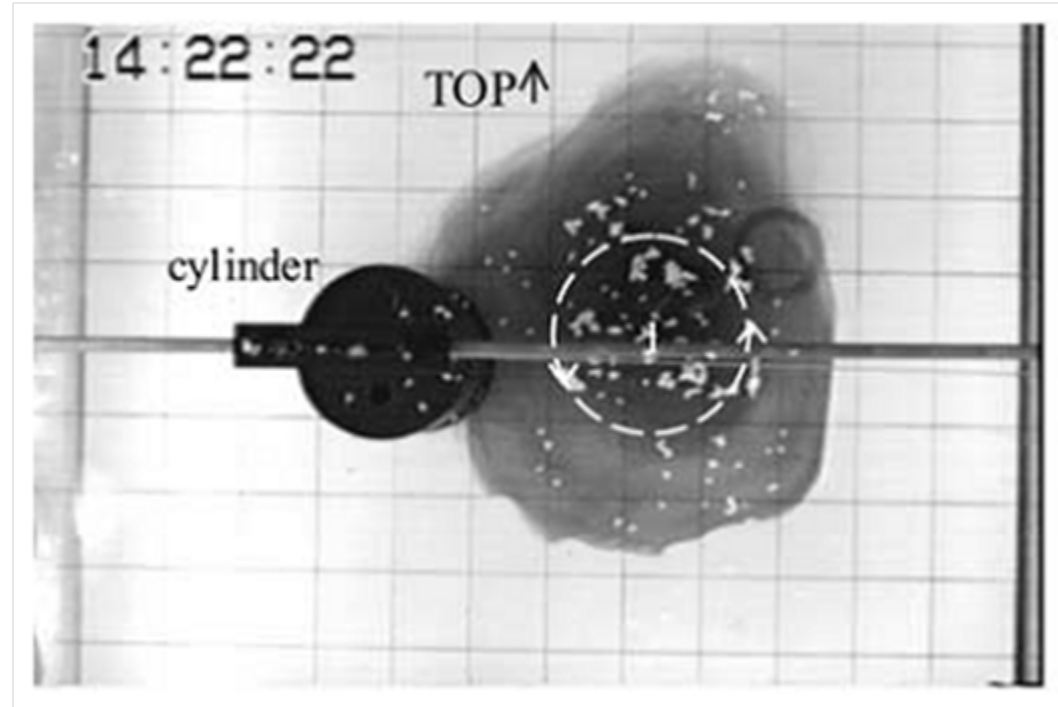
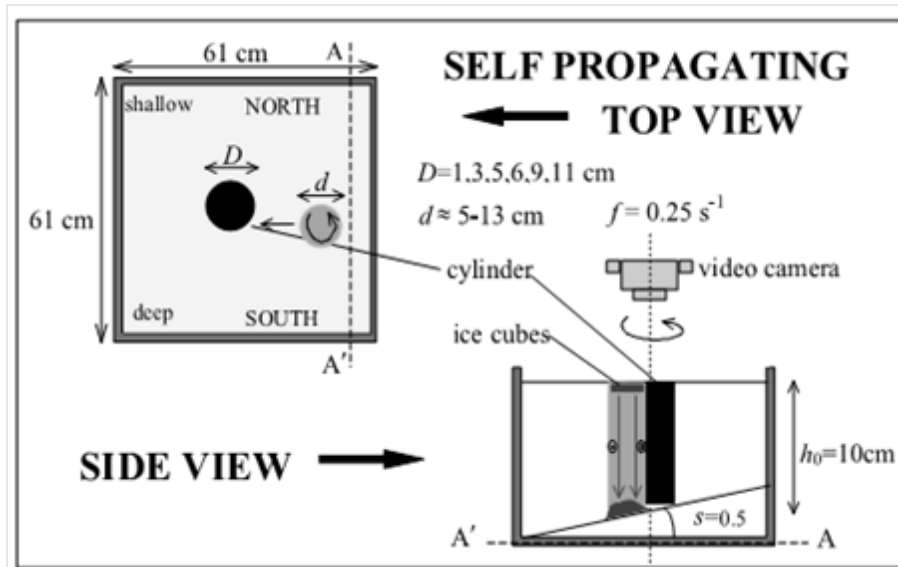
- Observations bouées lagrangiennes
- **Observation** Meddy 26 [Richardson et al., 2000]
- Hypothèse : Séparation du Meddy en deux Meddies



- Observations de collisions rares [Cenedese, 2002]
- Compréhension des processus dynamiques faibles

INTRODUCTION

- **Expériences en laboratoire de la collision d'un vortex cyclonique lors de sa collision avec un cylindre [Cenedese, 2002]**



[Cenedese, 2002]

- **Approche 2D**
 - **Tourbillons cycloniques barotrope (anticyclones instables)**
- ➔ **Extrapolation des résultats pour les cyclones à des anticyclones**

INTRODUCTION

Objectif :

Analyser la dynamique d'un Meddy lors de sa collision avec une montagne sous-marine

Méthode :

Simulation numérique 3D à haute résolution

Modèle numérique



Roms-tools
[\[http://roms.mpl.ird.fr/\]](http://roms.mpl.ird.fr/)



Surface

Flux atmo. (Q, E, P) nul
 Tension frottement ($\tau_{s_{x,y}}$) nul

Fond

Tension frottement ($\tau_{b_{x,y}}$) linéaire
 Coeff. de trainée $C_d = 3.10^{-4}$

Frontières ouvertes

Couche éponge / nudging
 Conservation volume
 Vitesse courant (u, v) nulle

Equations
 primitives 3D

3 jours
 ρ, η, T, u, v

Horizontal

Grille Arakawa C

Schéma advection avant ordre 3

Coeff. viscosité turb $A_h = 10 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

Coeff. diffusivité turb $K_h^T = 0 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

Vertical

Coordonnées sigma

Schéma advection centré ordre 4

Coeff. viscosité / diffusivité turb

$A_z = K_z^T = 1.10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

Domaine - Grille

Approximation β -plan

Domaine : 800 x 800 km

Grille : 160x160 pts

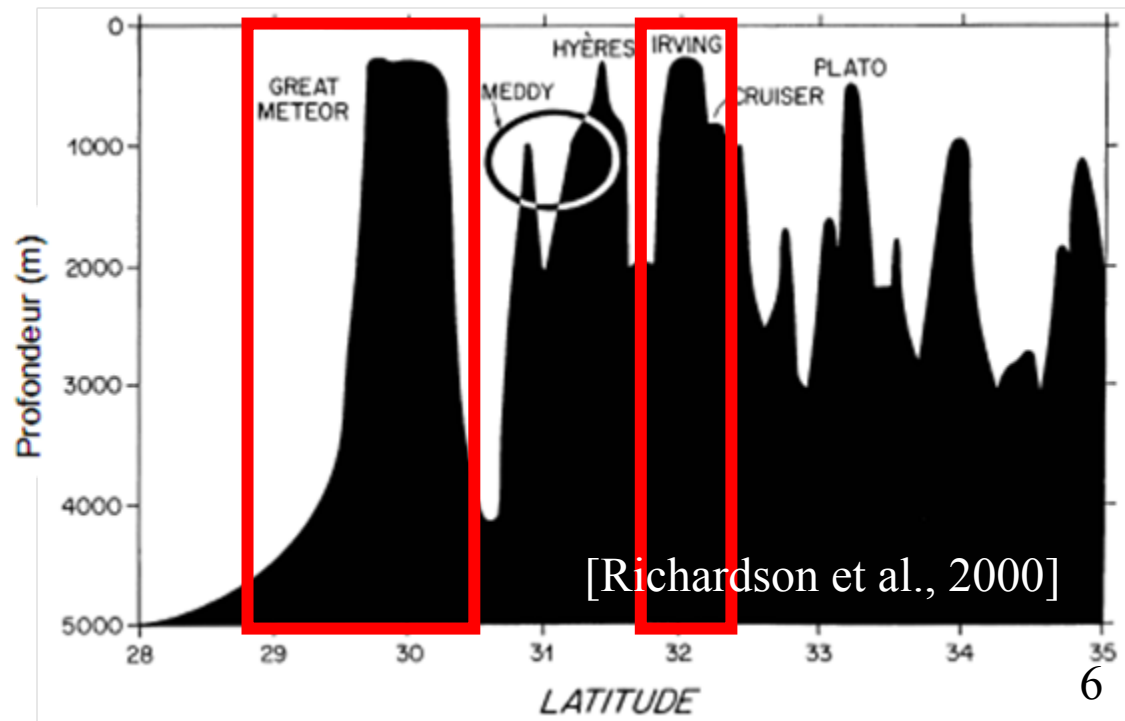
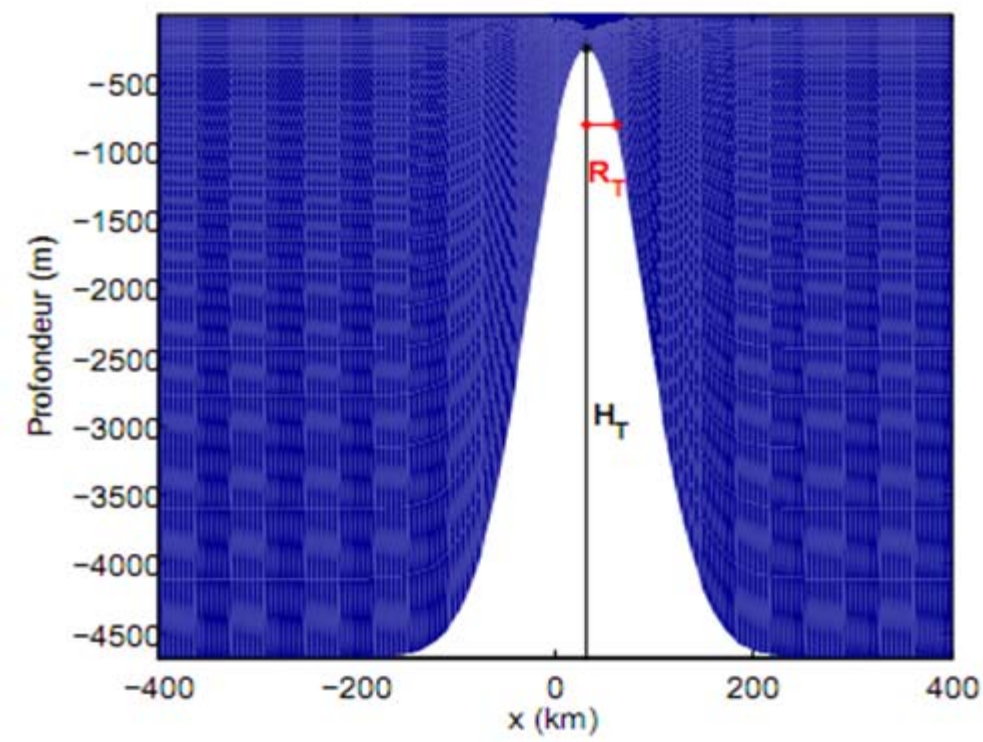
Résolution = $1/20^\circ$ ($\sim 5\text{km}$)

30 niveaux sigma

La montagne sous-marine

- Forme d'une Gaussienne

$$h_t(r) = H_t e^{\frac{-r^2}{\mu^2}}$$



Conditions initiales : Meddy isolé

Pression

$$P_{Meddy}(x,y,z) = P_b + e^{-\frac{r^2}{2R_v^2}} e^{-\frac{(z-z_v)^2}{H^2}}$$

Equilibre hydrostatique

Densité

Fonction linéaire

Température

Elévation de la surface libre

Equilibre géostrophique

Comp. horizontales de la vitesse en surface

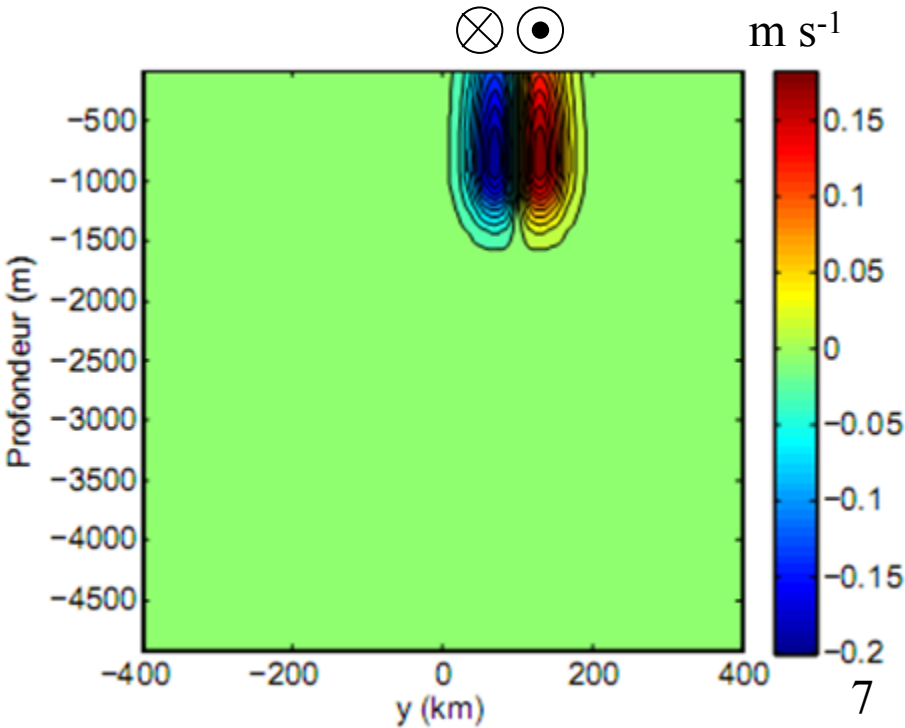
Méthode dynamique

Profil vertical de la vitesse

R_v
Rayon du vortex

z_v
Profondeur centrale

H
Epaisseur

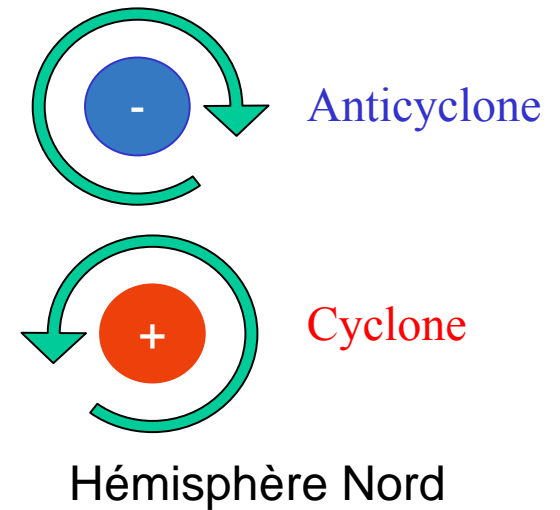


La vorticité relative

- **Définition** : Composante verticale du rotationnel de vitesse

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

- Expression de la **tendance d'un fluide à tourner**



- Utilité : Suivi du **centre du Meddy** (minimum local de vorticité relative)
Structure horizontale et verticale du Meddy

Les simulations

Simulation n°1:
Meddy de référence



- Trajectoire du Meddy sans perturbation
- Structure de la vorticité relative

Impact avec Great Meteor

Simulation n°2:
Impact au Centre

Simulation n°3:
Impact au Sud

Simulation n°4:
Impact au Nord

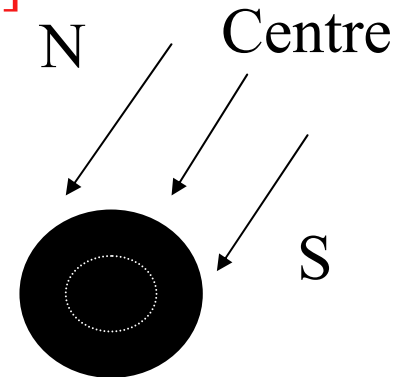


- Généralités sur la collision et différences selon la géométrie de l'impact
- Comparaison avec les expériences en laboratoire de [Cenedese, 2002]

Simulation n°5:
Impact avec Irving
au centre

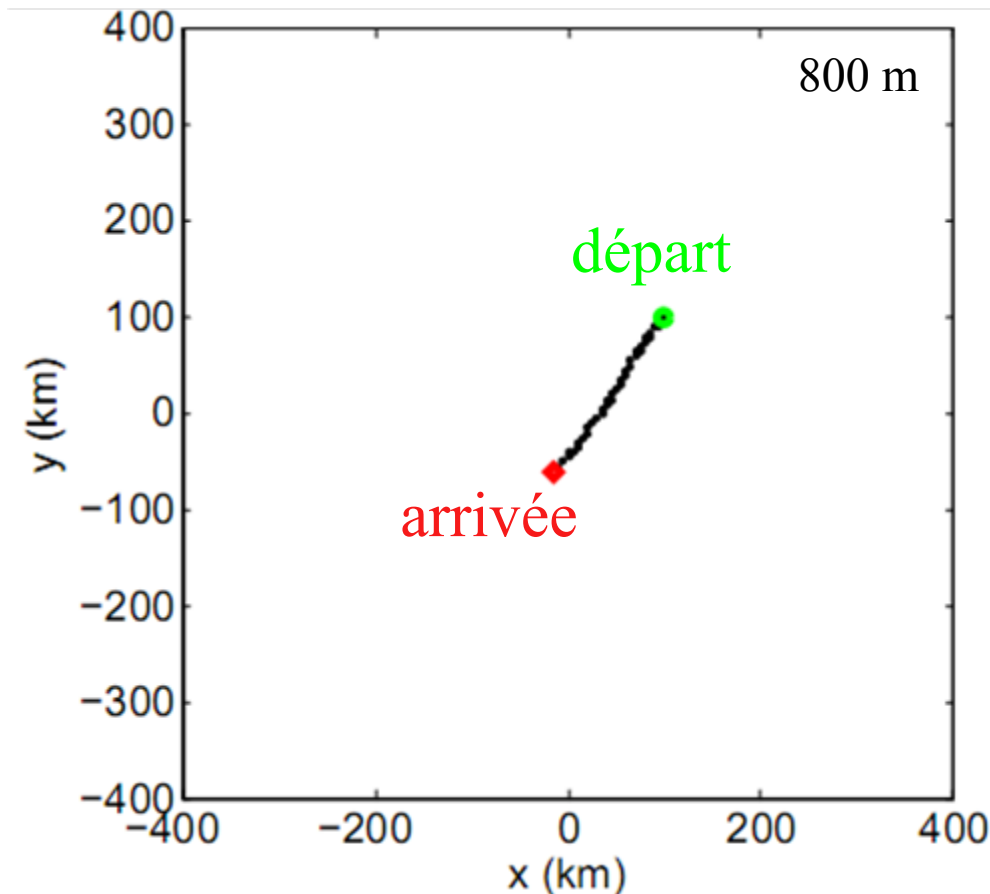


- Comparaison à l'observation [Richardson et al., 2000]



Simulation n°1 - Meddy de référence

- Déplacement d'un **anticyclone** vers l'**ouest** et vers l'**équateur** :



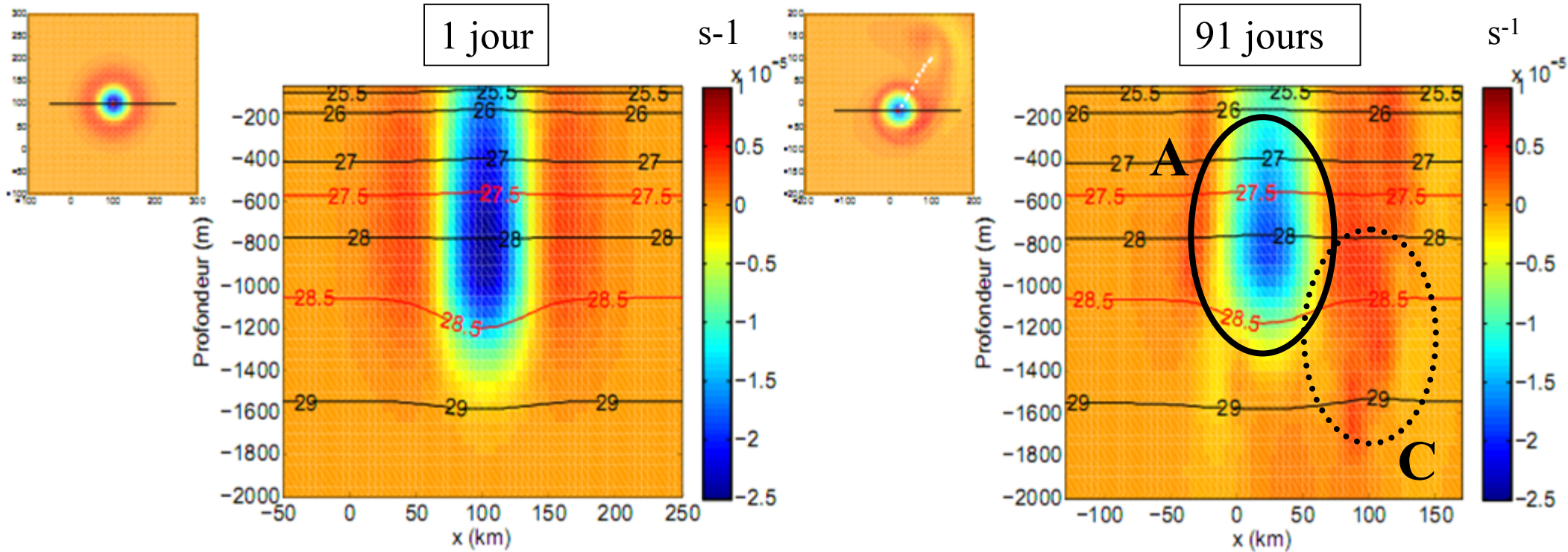
4 mois de simulation

- Effet β
- Déplacement des particules environnantes
- Effet d'étirement / écrasement

[Cushman-Roisin et al., 1990;
Cushman-Roisin et Beckers, 2010]

Simulation n°1 - Meddy de référence

- Changement de la structure de la vorticité relative du Meddy

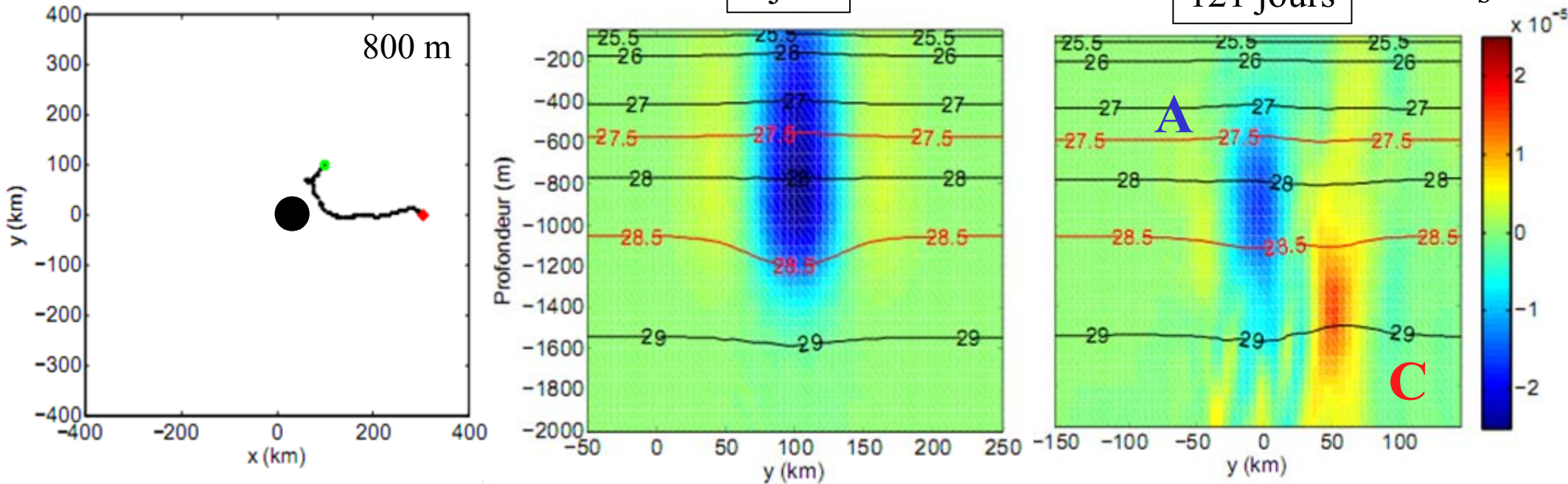


- Formation d'une structure hétonique** [Morel et McWilliams, 2003]
Création de vorticité positive en profondeur → Dipôle penché → Circulation cyclonique se développe en-dessous du Meddy → Interaction hétonique

Simulation n°2 – Impact au centre

1 jour

121 jours

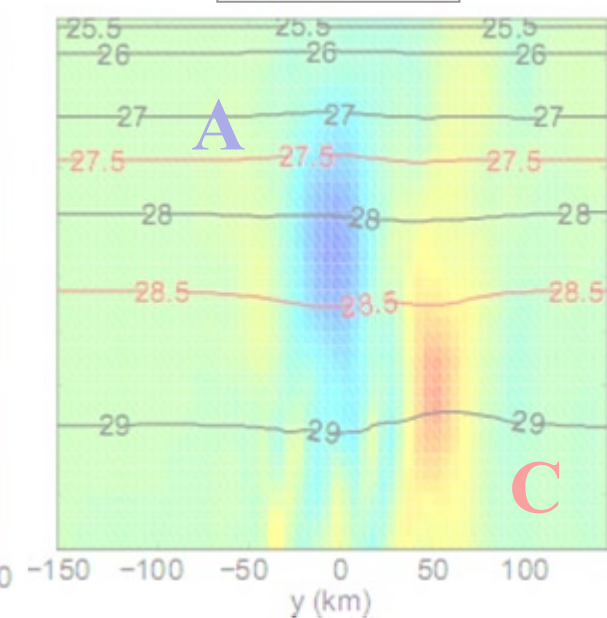
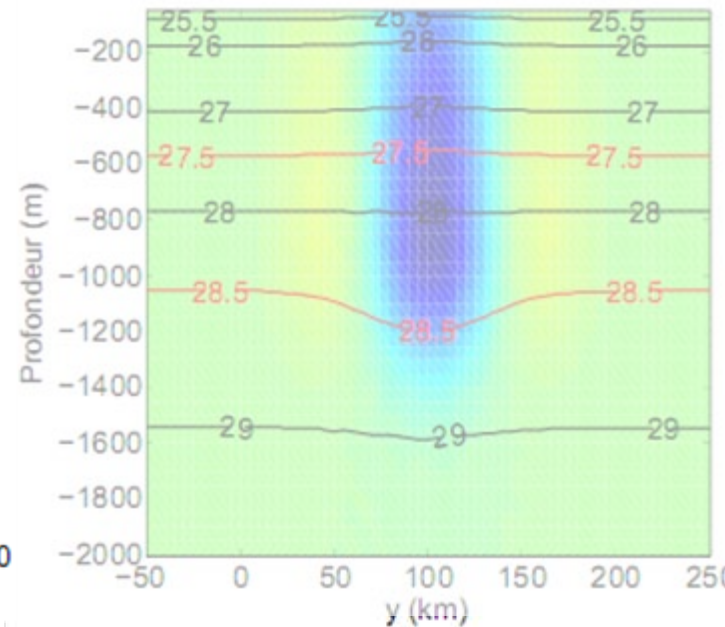
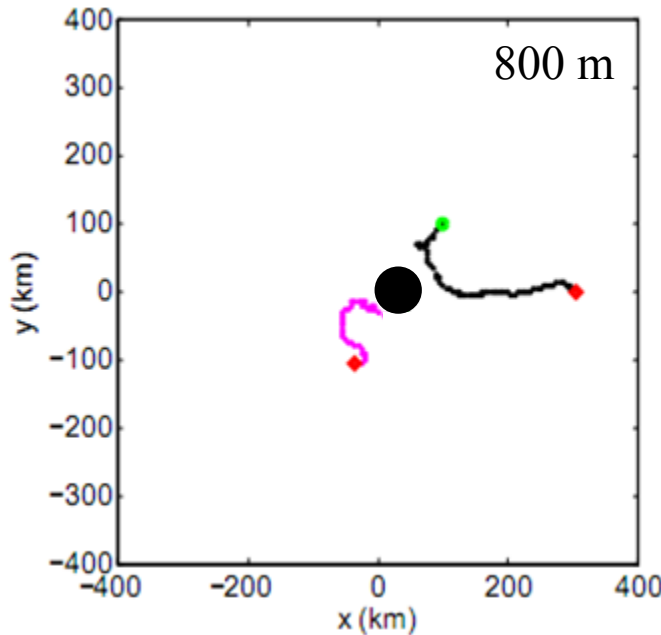
 s^{-1}
 $\times 10^{-5}$ 

- **Changement** de la structure verticale après la collision : très **important**
- Evolution vers une structure hétonique **accélérée**
- **Modon** = structure hétonique stable et persistante + propagation **vers l'est**

Simulation n°2 – Impact au centre

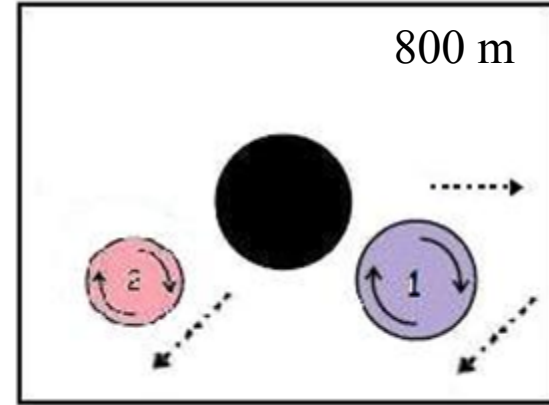
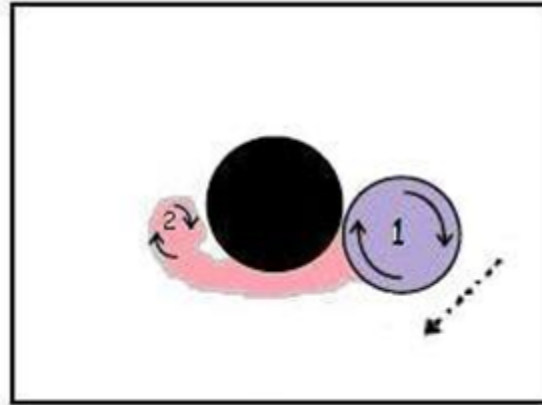
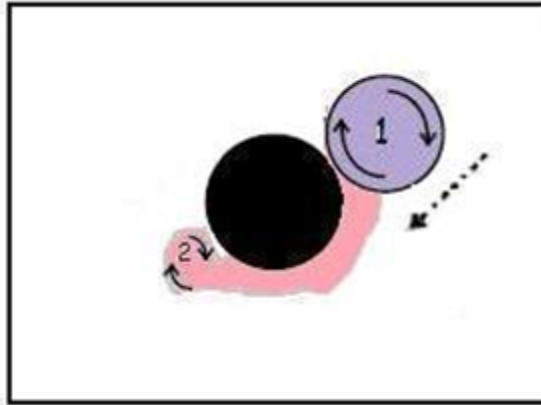
1 jour

121 jours

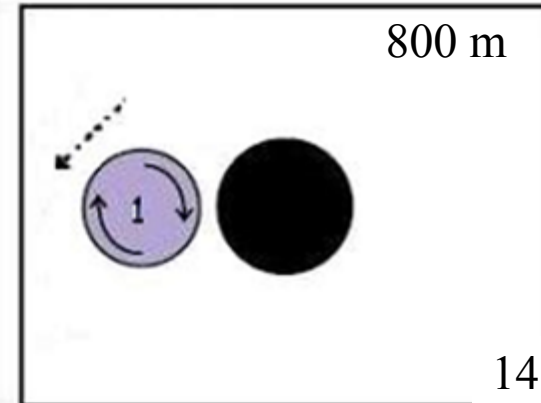
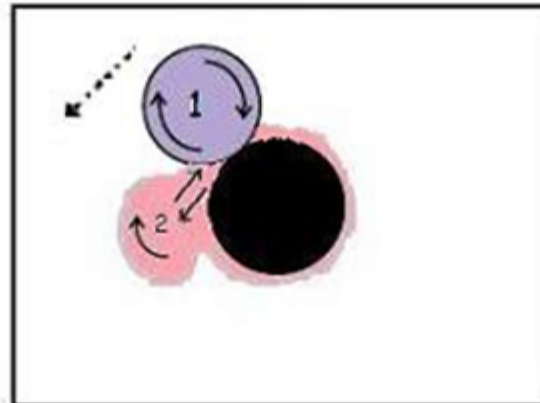
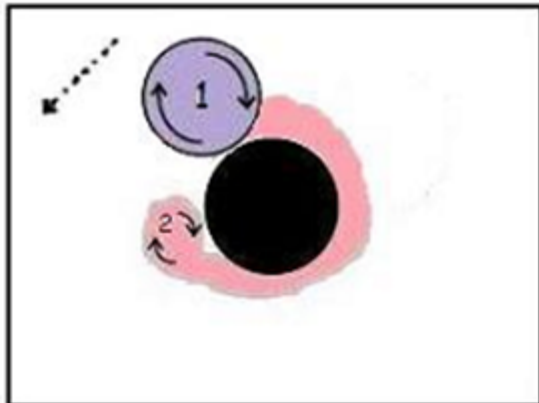
 s^{-1}
 $\times 10^{-5}$
2
1
0
-1
-2

- Changement de la structure verticale après la collision très **important**
- Evolution vers une structure hétéronique **accélérée**
- **Modon** = structure hétéronique stable et persistante + Propagation vers l'est
 - **Séparation : Meddy principal / Meddy secondaire**

La collision

Simulations
n°2-3-5

- Formation d'une langue de vorticité cyclonique qui s'enroule dans le sens horaire
- **Séparation** de la structure : Meddy principal (1) – Meddy secondaire (2)
- Le Meddy principal dérive vers le sud-ouest ou vers l'est

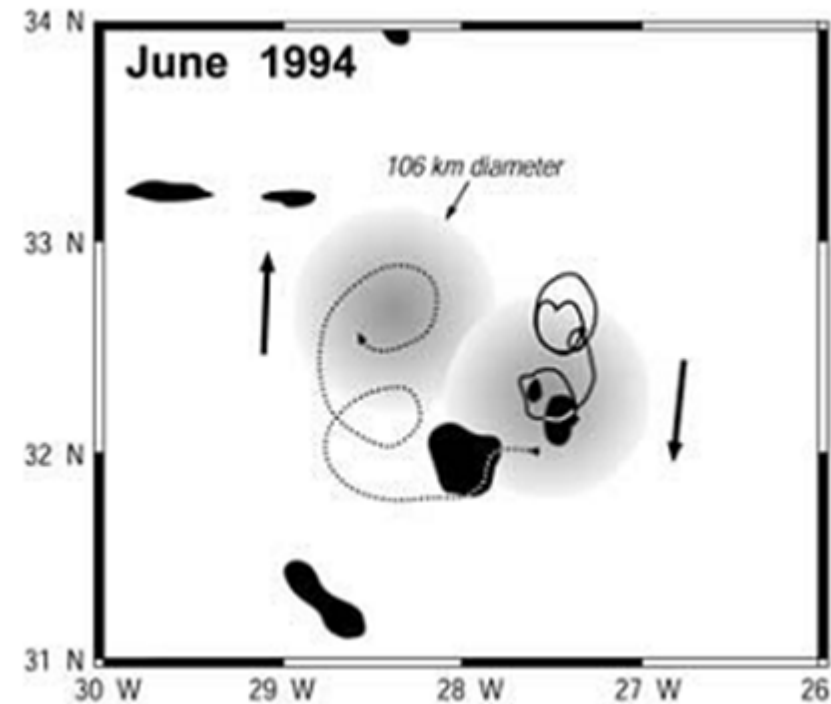
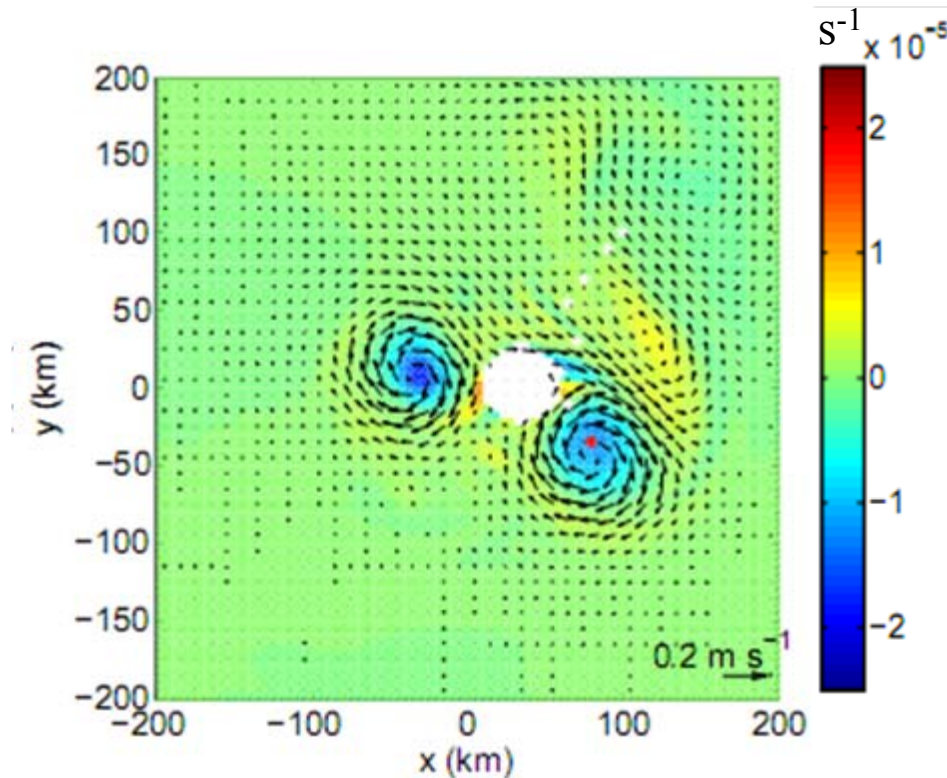
Simulation
n°4

Expériences en laboratoire de Cenedese (2002)

- Etude de l'évolution d'un **vortex cyclonique** lors de sa collision avec un **cylindre** → **Extrapolation des résultats pour les cyclones à des anticyclones**

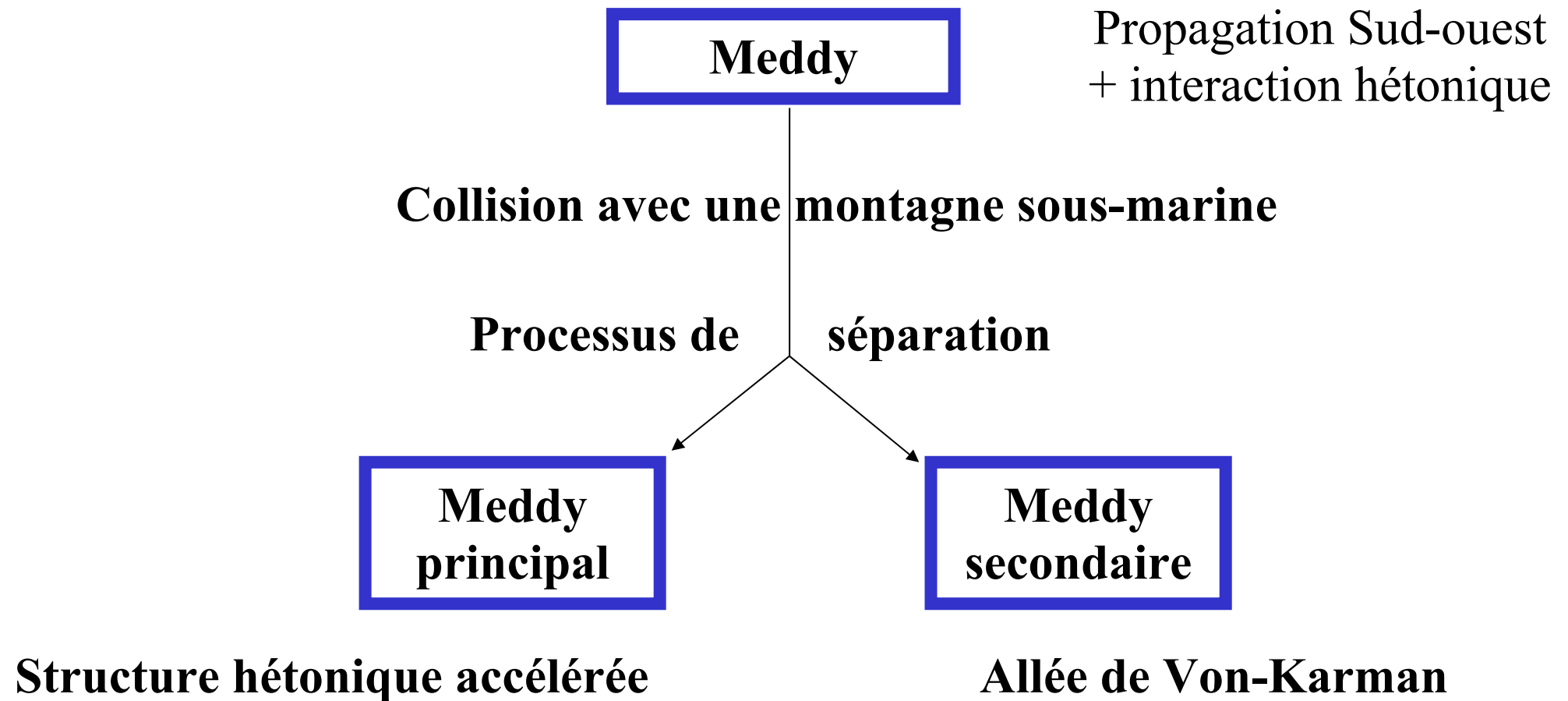
Cenedese (2002)		Cette étude
Formation d'un <i>streamer</i> dans le sens horaire autour du cylindre	✓	Formation d'une langue de vorticité dans un sens horaire autour de la montagne sous-marine
Formation d'un nouveau pôle de vorticité en aval du cylindre	✓	Formation du Meddy secondaire en aval de la montagne sous-marine
Séparation pour un impact au Nord et au centre du cylindre	✗	Séparation pour un impact au Sud et au centre de la montagne sous-marine

- Mécanisme de formation du nouveau vortex = Tourbillons de l'allée de Von-Karman

Simulation n°5 – Impact Irving**Observation Meddy 26 [Richardson et al., 2000]**

- Séparation du Meddy
- Dérive vers le nord du Meddy secondaire - Dérive vers le Sud du Meddy principal

Confirmation de l'hypothèse issue de l'observation



Impact au nord ➔ Processus d'agrégation entre le Meddy principal et le Meddy secondaire en aval de la montagne sous-marine

PERSPECTIVES

Approfondissement de la comparaison avec les résultats de laboratoire

Problématique de l'analogie dynamique cyclone/anticyclone

Etude de la collision d'un Meddy avec plusieurs montagnes sous-marines

Présence de montagne isolé rare

Présence dominante de chaîne de montagnes sous-marines

Redistribution de sel lors de la collision avec une montagne sous-marine?

Meddies = Rôle majeur dans le transport d'anomalie de sel et de chaleur dans tout l'Atlantique.

Impact sur la convection profonde ➔ Influence sur le climat

Merci
de votre attention !!!

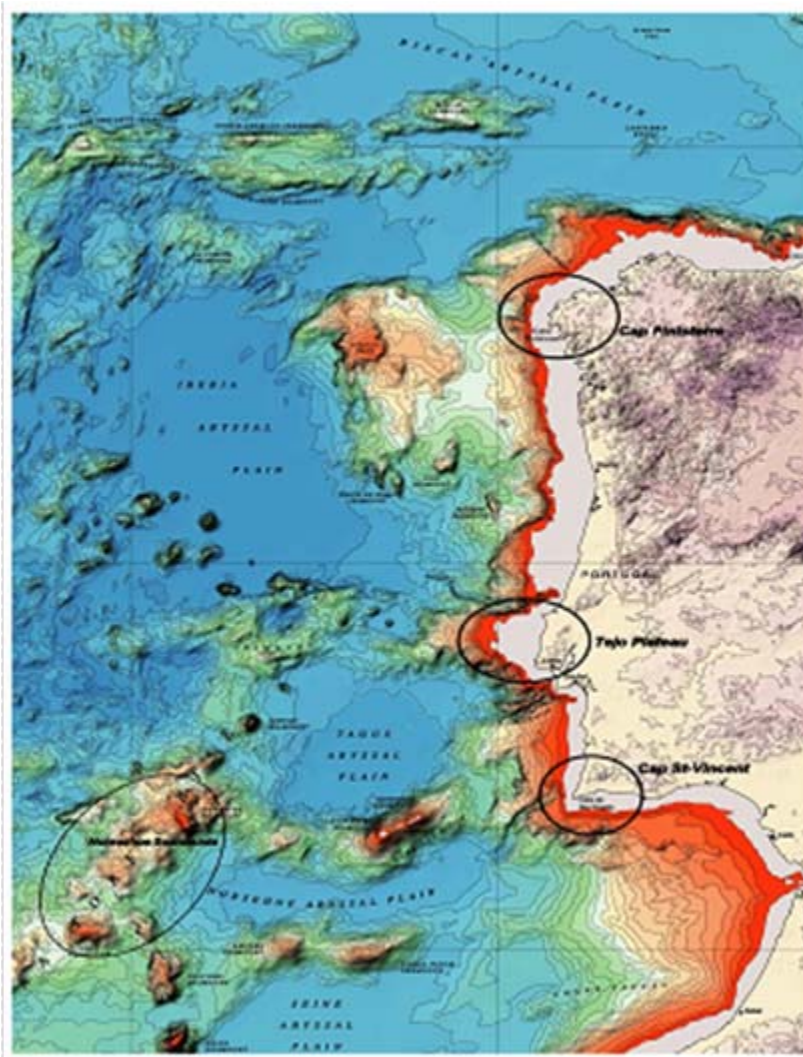
Les simulations

TABLE 1 – Les différentes simulations

	Paramètres	Valeurs	1	2	3	4	5	6	7	8
Caractéristiques du Vortex	Profondeur central [<i>m</i>]	-800	X	X	X	X	X	X	X	
		-1000								X
	Diamètre [<i>km</i>]	150	X	X	X	X	X	X		X
		100							X	
	Position [<i>km</i> ; <i>km</i>]	100;100	X	X	X	X	X		X	X
		50;50						X		
Caractéristiques de la montagne sous-marine	Great Meteor Hauteur[<i>m</i>]; Diamètre[<i>km</i>]	4750		X	X	X		X	X	X
		60		X	X	X		X	X	X
	Irving Hauteur[<i>m</i>]; Diamètre[<i>km</i>]	4750					X			
		38					X			
	Position [<i>km</i> ; <i>km</i>] (Impact)	0;0 (Sud)			X					
		32;0 (Central)		X			X	X	X	X
		64;0 (Nord)				X				

8 simulations *2 ➔ Simulations sans frottement sur le fond

Formation des Meddies



Accidents topographiques :

Cap St Vincent

Tejo Plateau

Cap Finisterre

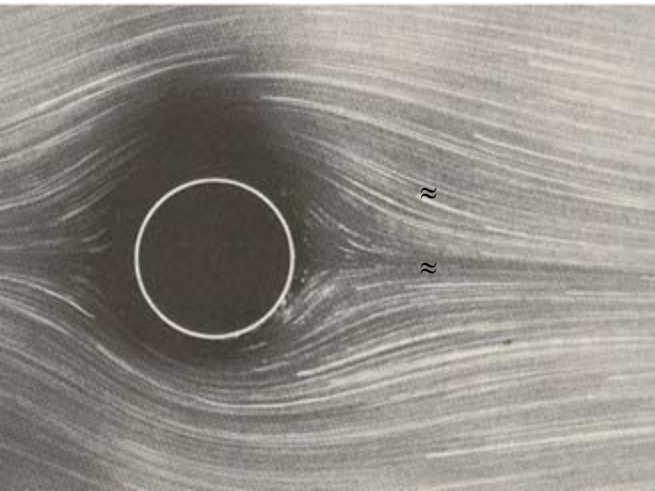
Allée de Von-Karman

$$Re = \frac{U.d}{\nu}$$

U : Vitesse de l'écoulement du fluide (m/s)

d : diamètre de l'obstacle

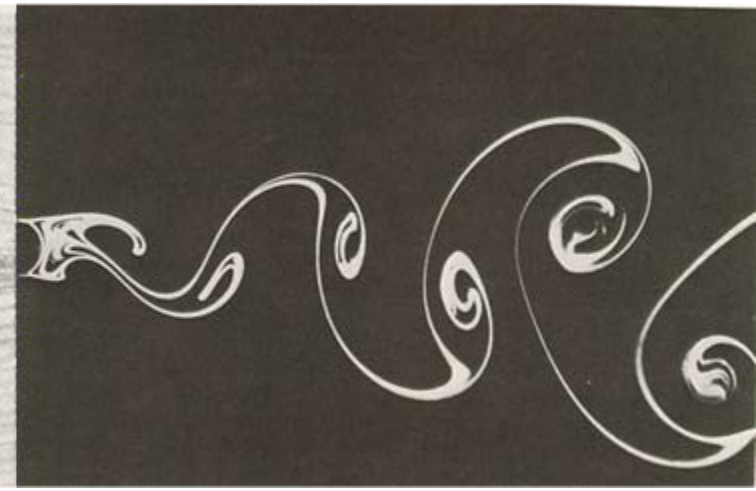
ν : Viscosité du fluide ($m^2.s^{-1}$)



$Re \approx 1$



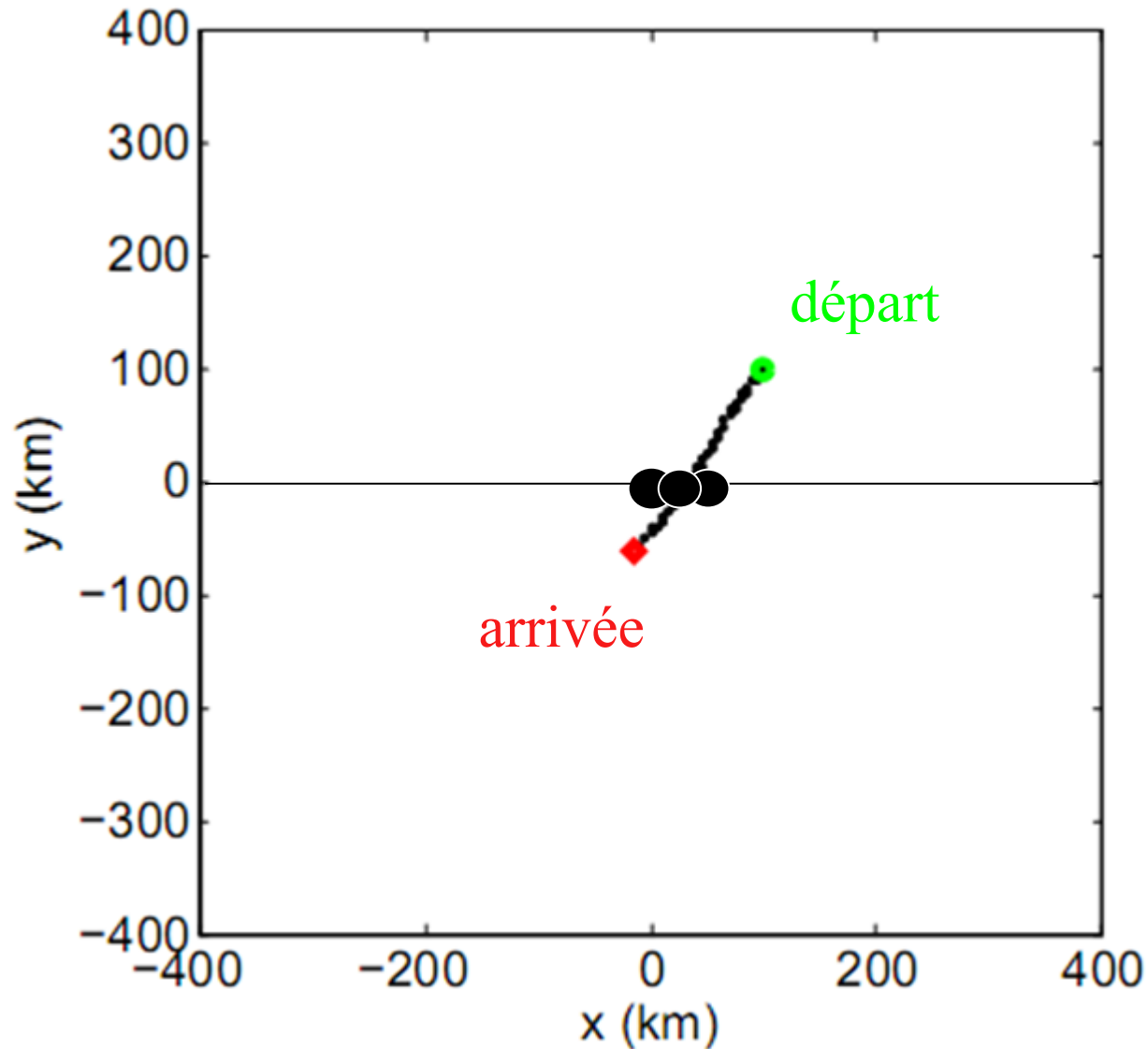
$Re \approx 30$



$Re > 150$

[\[http://www.media.mit.edu\]](http://www.media.mit.edu)

Position de la montagne sous-marine



Centre (0,30km)

Sud (0,0km)

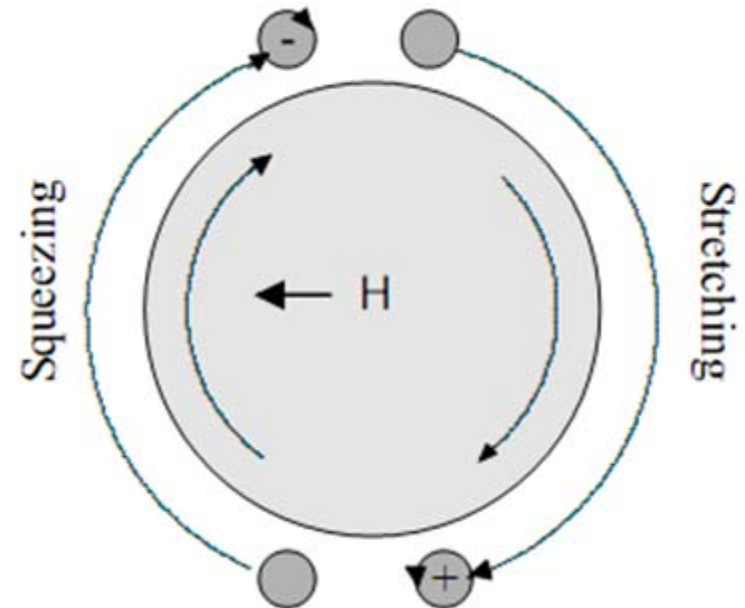
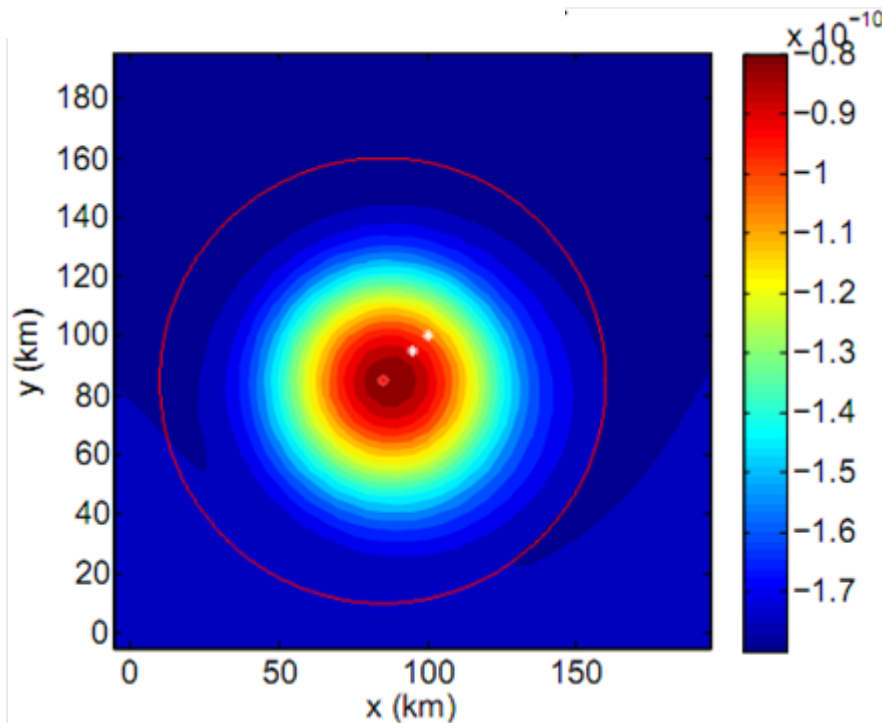
Nord (0,60km)

Trajectoire des tourbillons [Cushman-Roisin et al., 1990; Cushman-Roisin et Beckers, 2010]

Mouvement zonal

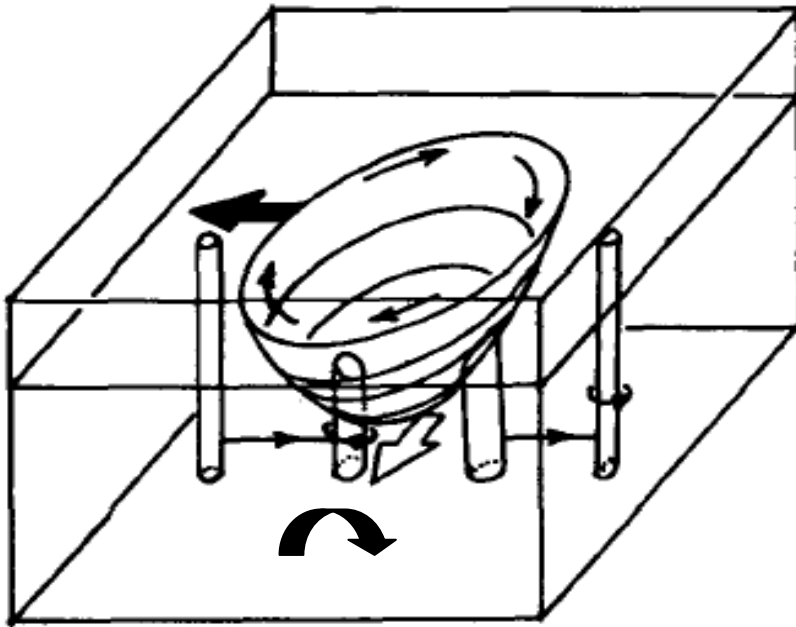
Déplacement d'un **anticyclone** vers l'ouest

- Effet β
- Déplacement des particules environnantes
- Effet d'étirement / écrasement



Trajectoire des tourbillons [Cushman-Roisin et al., 1990]

Mouvement méridional



Anticyclone (A) – vers l'ouest

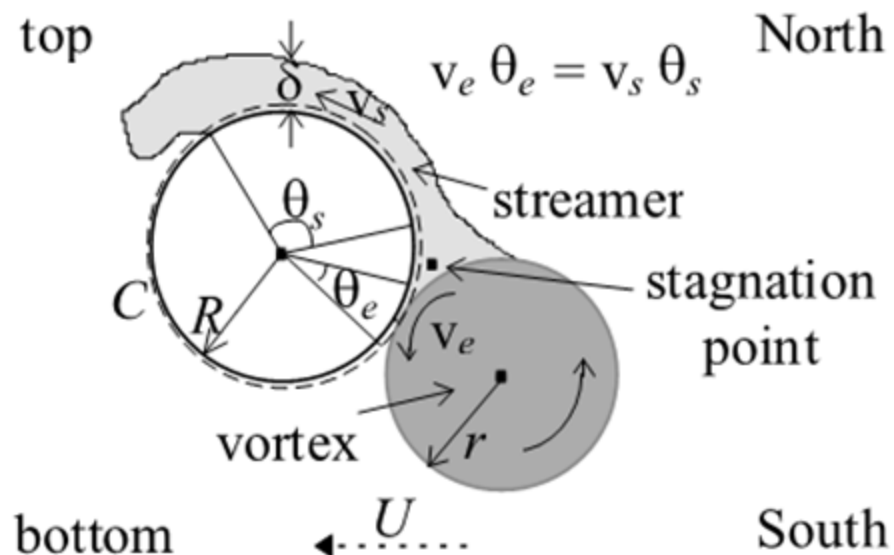
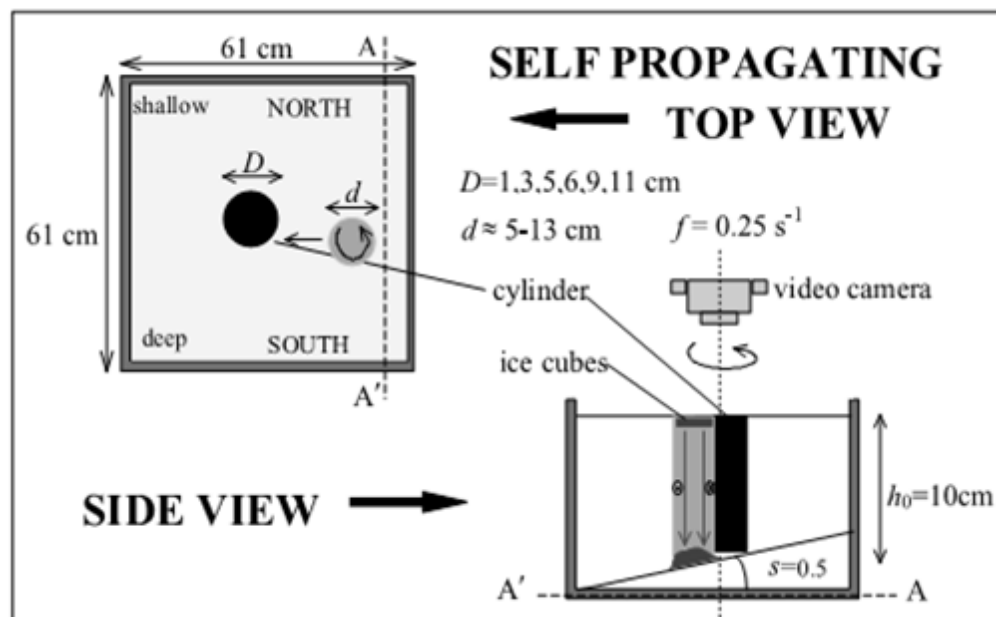
Couche inférieure diminuée par A

Vorticité relative diminuée en-dessous

Rotation anticyclonique

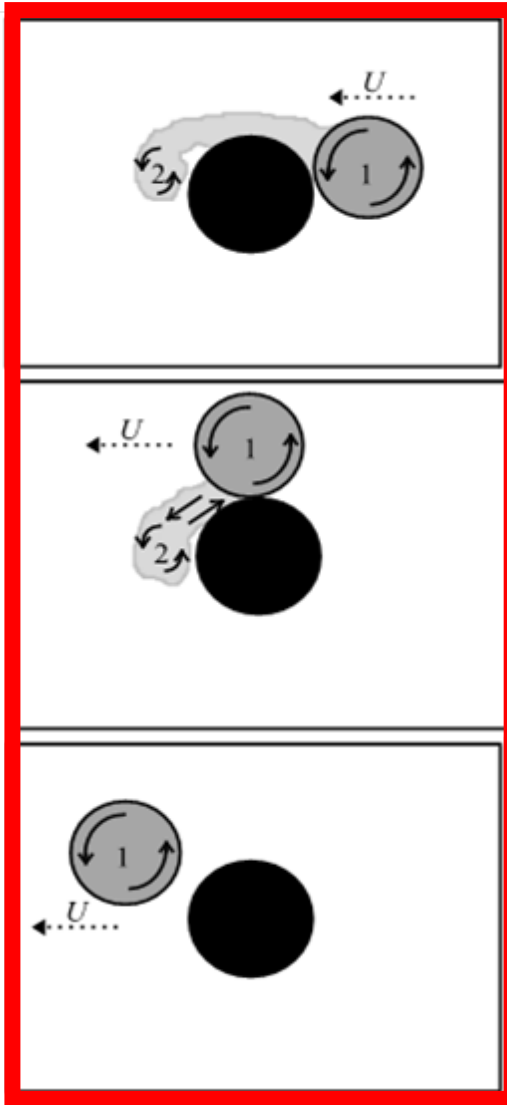
Mouvement vers l'équateur

Expérience en laboratoire [Cenedese, 2002]

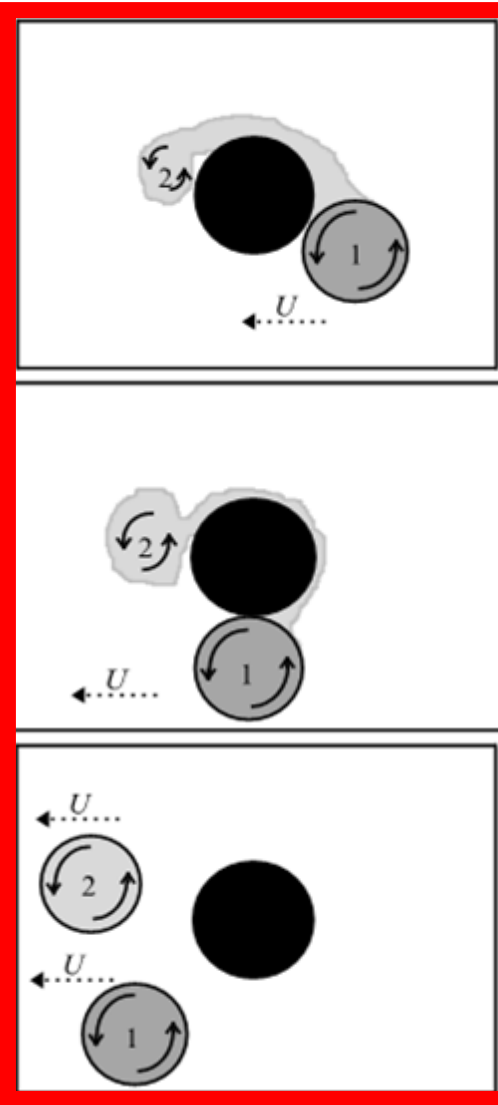


Expérience en laboratoire [Cenedese, 2002]

Résultats de Cenedese

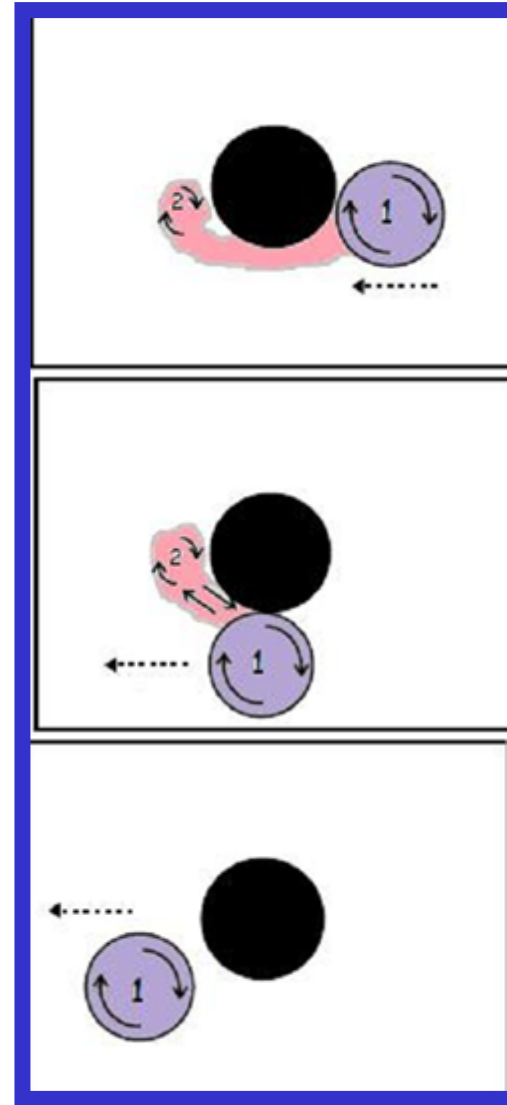


Nord

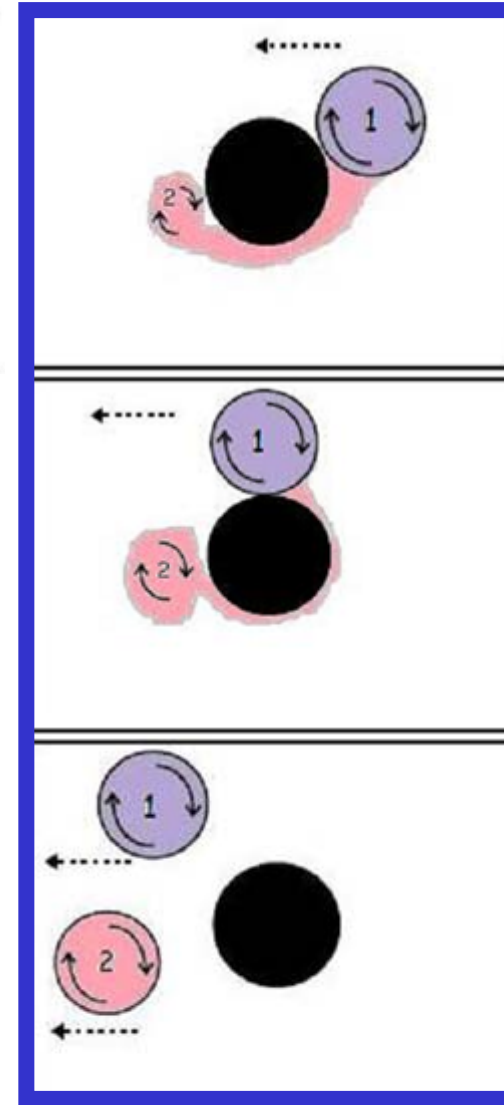


Sud/centre

Extrapolation de Cenedese



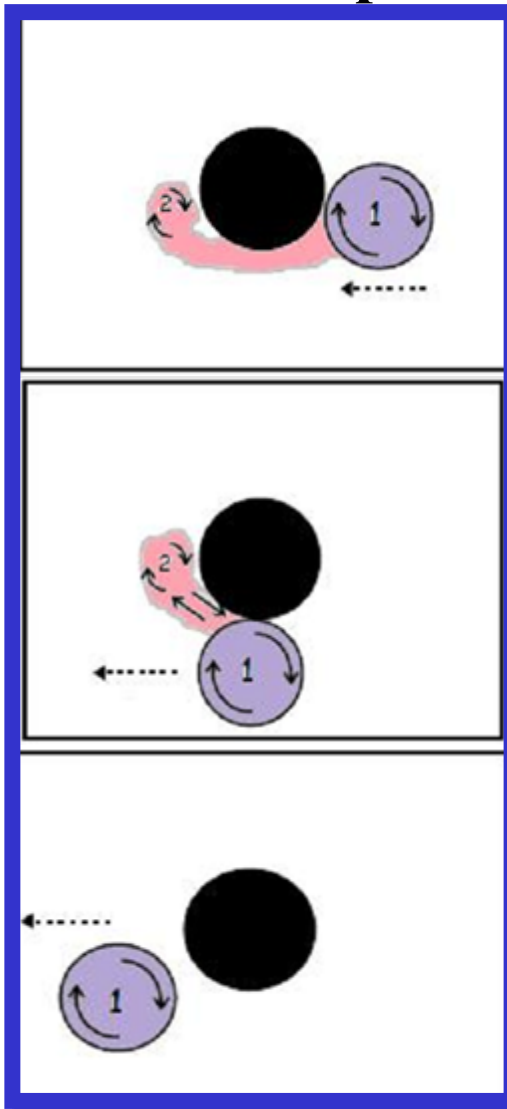
Sud



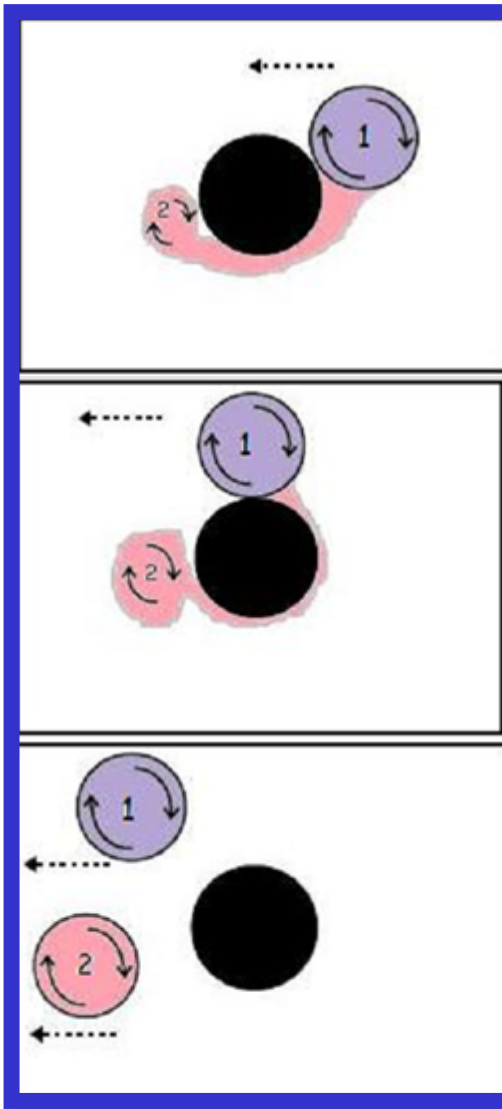
Nord/centre

Expérience en laboratoire [Cenedese, 2002]

Extrapolation de Cenedese

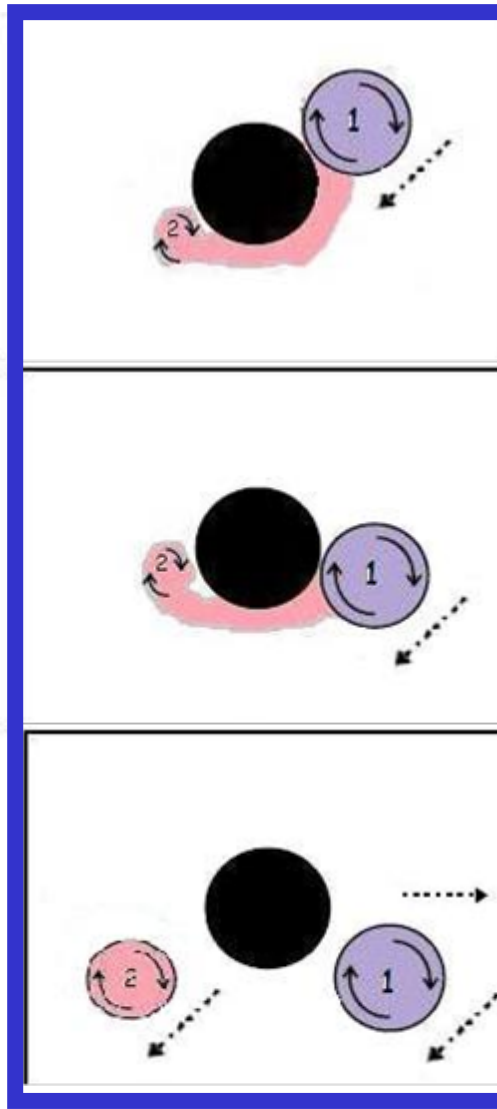


Sud

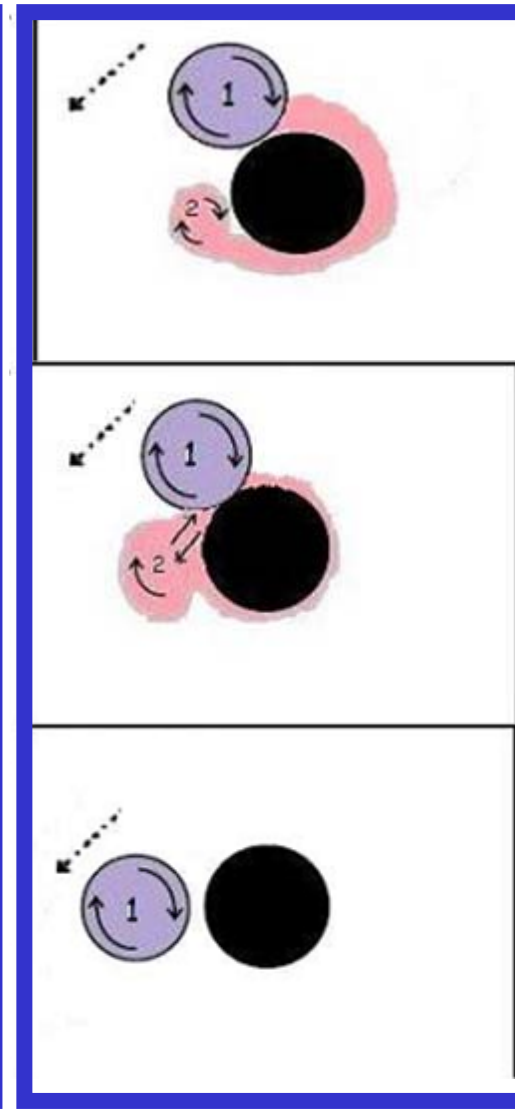


Nord/centre

Cette étude

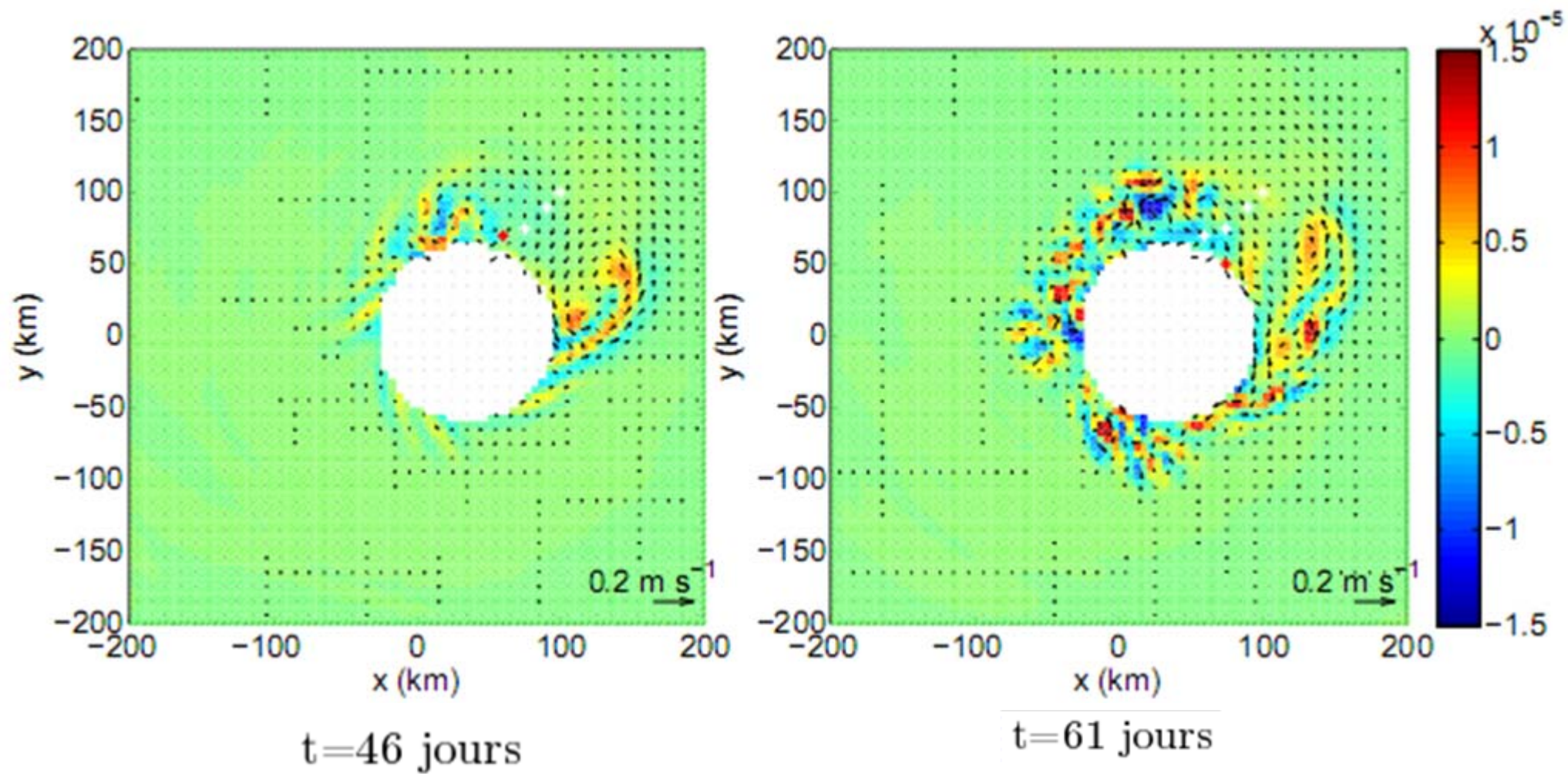


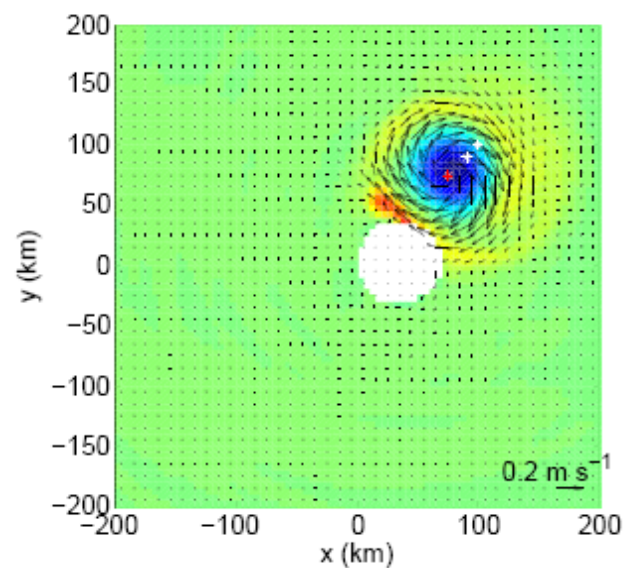
Sud/centre



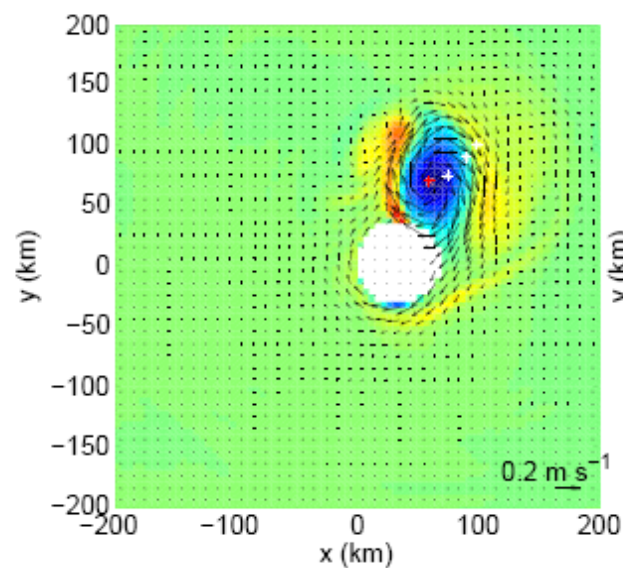
Nord

Ondes topographiques

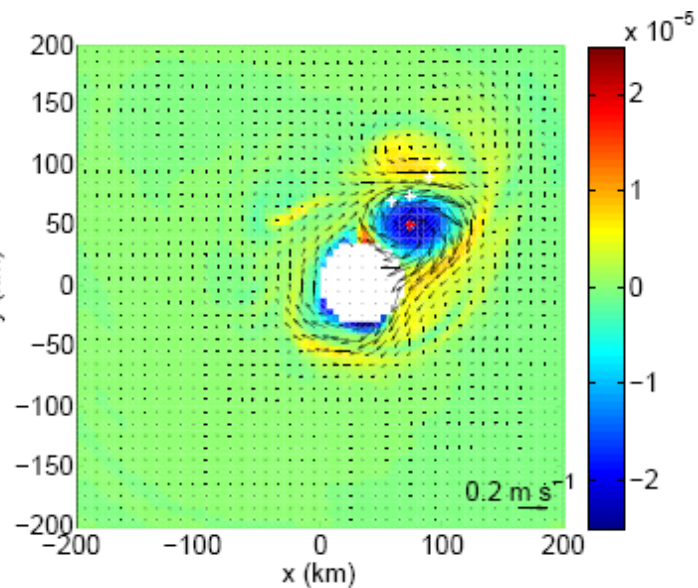




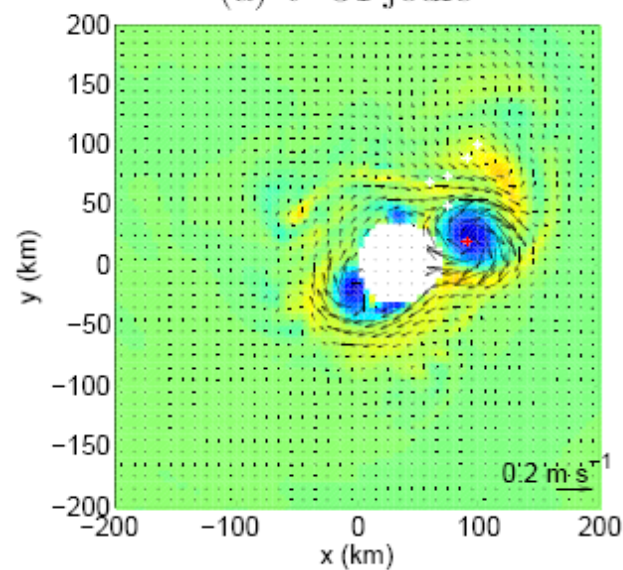
(a) $t=31$ jours



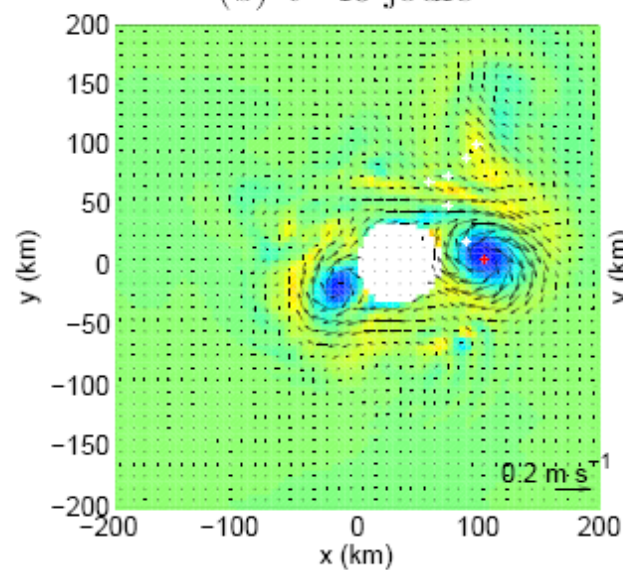
(b) $t=46$ jours



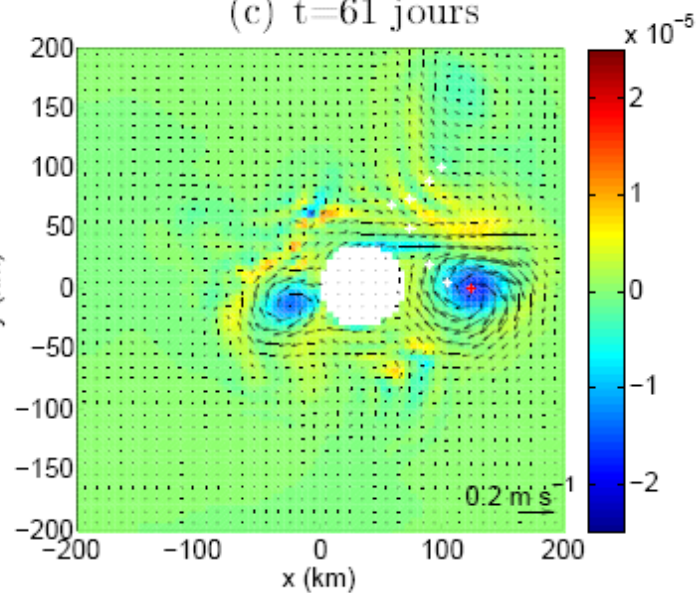
(c) $t=61$ jours



(d) $t=76$ jours



(e) $t=91$ jours



(f) $t=106$ jours

ROMS – Les équations primitives 3D

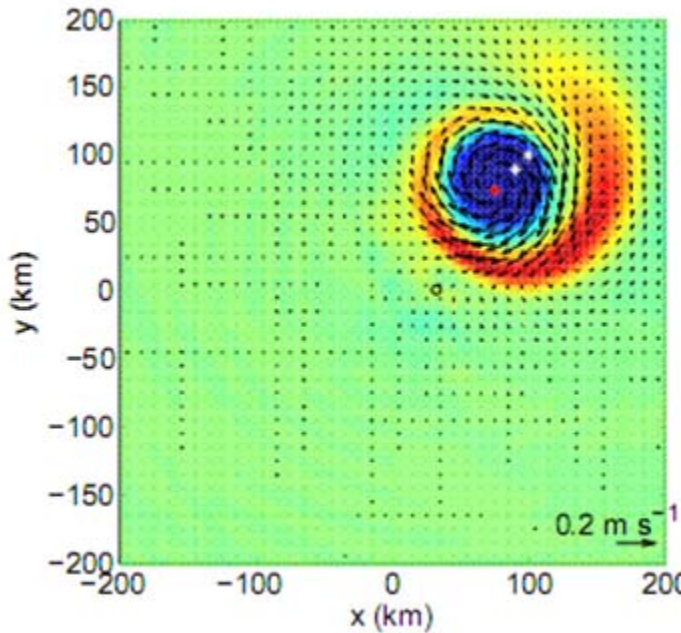
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \bar{u} - f \bar{v} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + A_h \nabla_h^2 \bar{u} + A_z \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \\ \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \bar{v} + f \bar{u} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + A_h \nabla_h^2 \bar{v} + A_z \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2} \\ 0 = \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \rho g \\ \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \bar{T} = K_h^T \nabla_h^2 \bar{T} + K_z^T \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial z^2} \\ \frac{\partial \bar{S}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \bar{S} = K_h^S \nabla_h^2 \bar{S} + K_z^S \frac{\partial^2 \bar{S}}{\partial z^2} \\ \rho = \rho(T, S, z) \end{array} \right.$$

ROMS – Les conditions aux limites

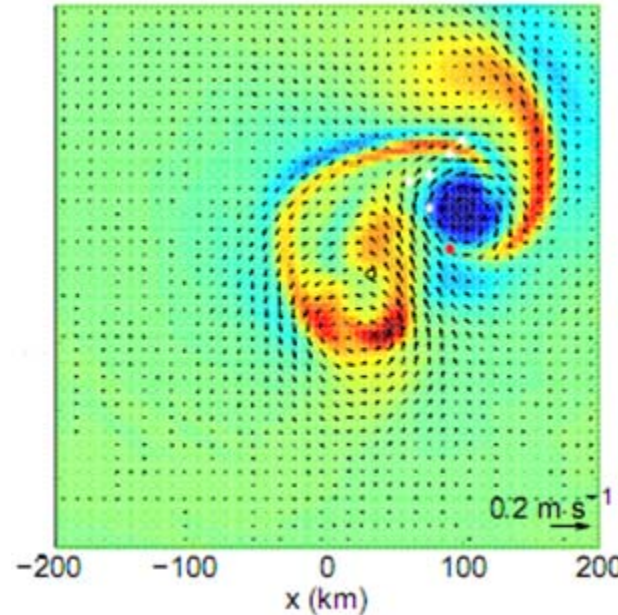
$$z = \eta \left\{ \begin{array}{l} A_z \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \tau_{sx} \\ A_z \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = \tau_{sy} \\ K_z^T \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} = \frac{Q}{\rho_0 C_p} \\ K_z^S \frac{\partial \bar{S}}{\partial z} = \frac{(E-P)S}{\rho_0} \\ \frac{d\bar{\eta}}{dt} = \bar{w} \end{array} \right. \quad z = H \left\{ \begin{array}{l} A_z \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \tau_{bx} \\ A_z \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = \tau_{by} \\ K_z^T \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} = 0 \\ K_z^S \frac{\partial \bar{S}}{\partial z} = 0 \\ -\bar{u} \frac{\partial H}{\partial x} - \bar{v} \frac{\partial H}{\partial y} = \bar{w} \end{array} \right.$$

Processus en surface (10 m)

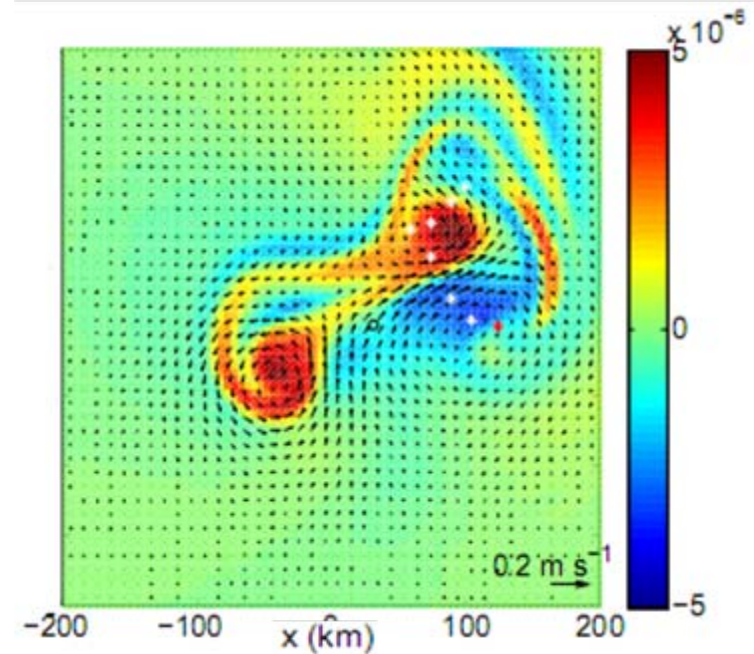
31 jours



76 jours

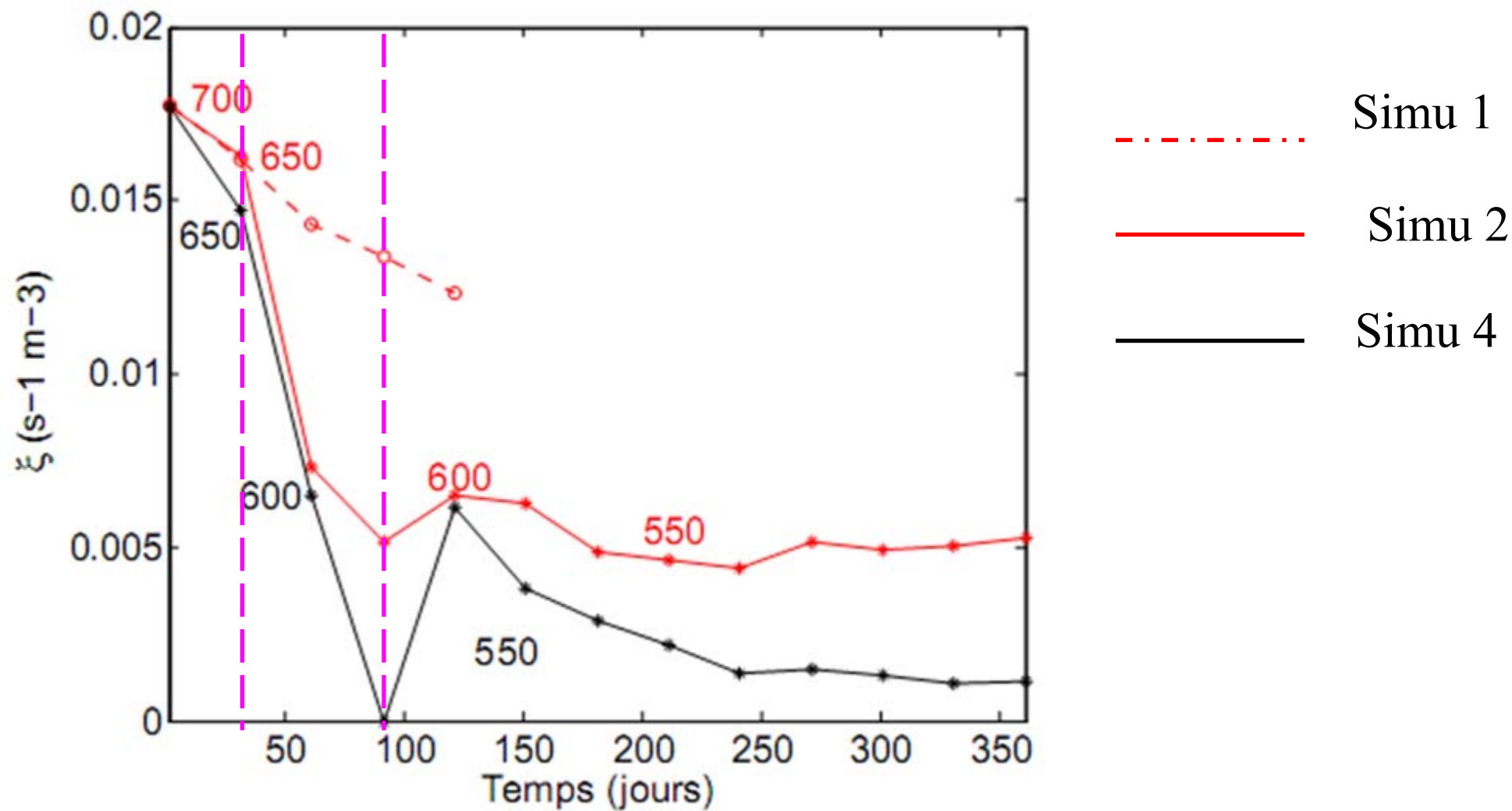


106 jours

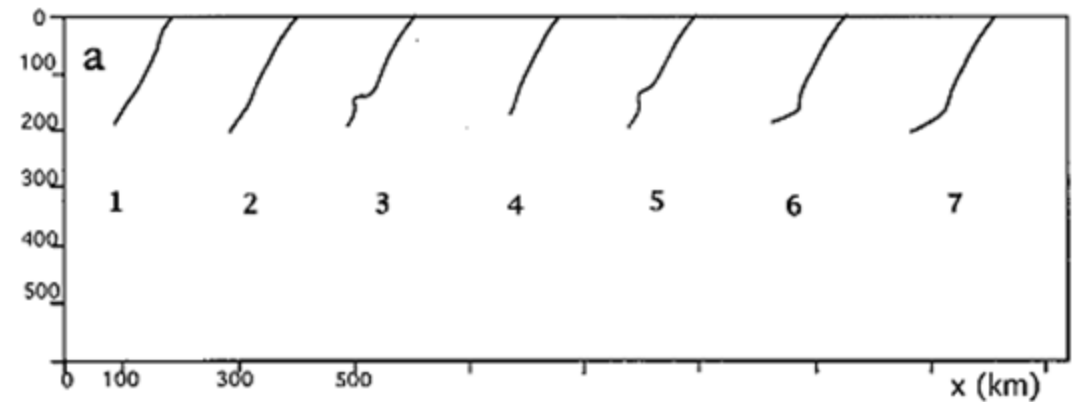
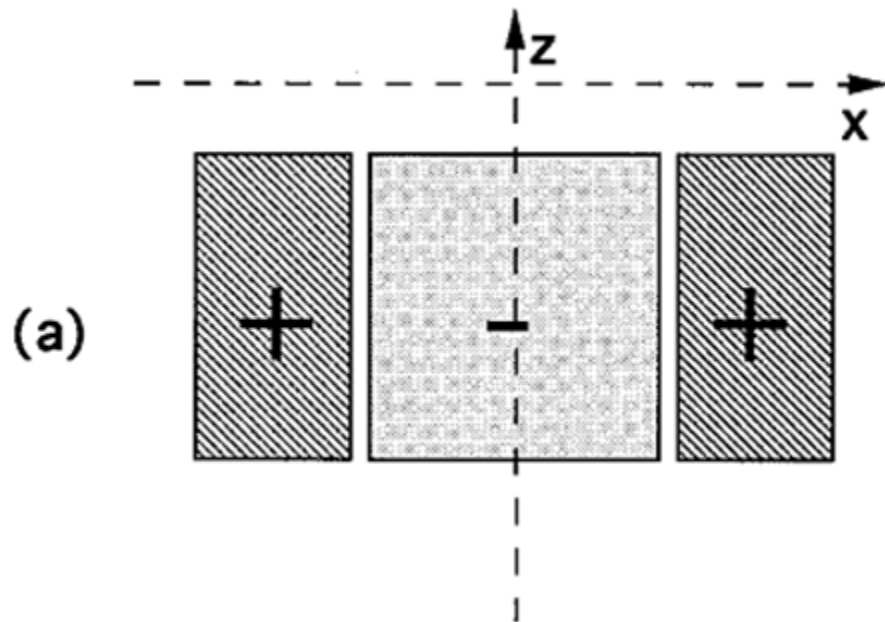


- Processus de **filamentation** du Meddy [Herbette et al., 2002]
- **Accumulation** au niveau du Meddy secondaire + circulation cyclonique en profondeur
- Impact en surface des **circulations profondes**

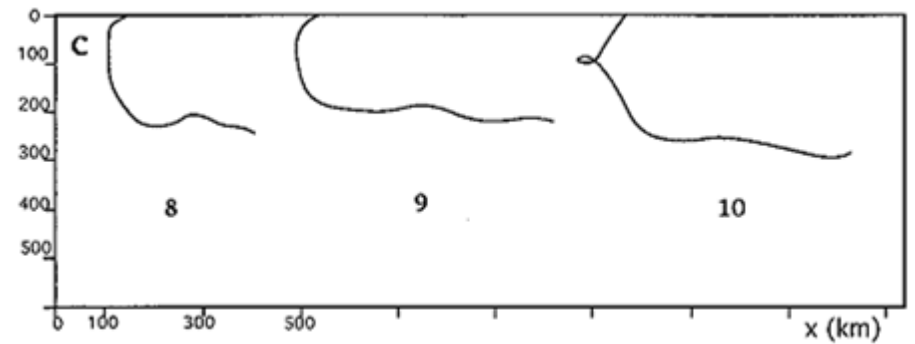
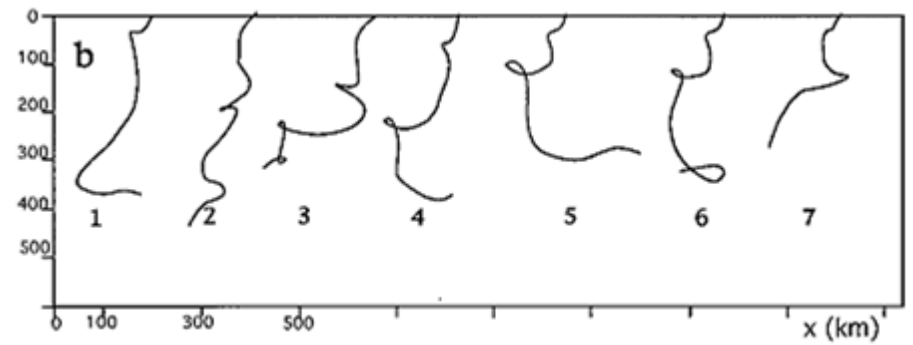
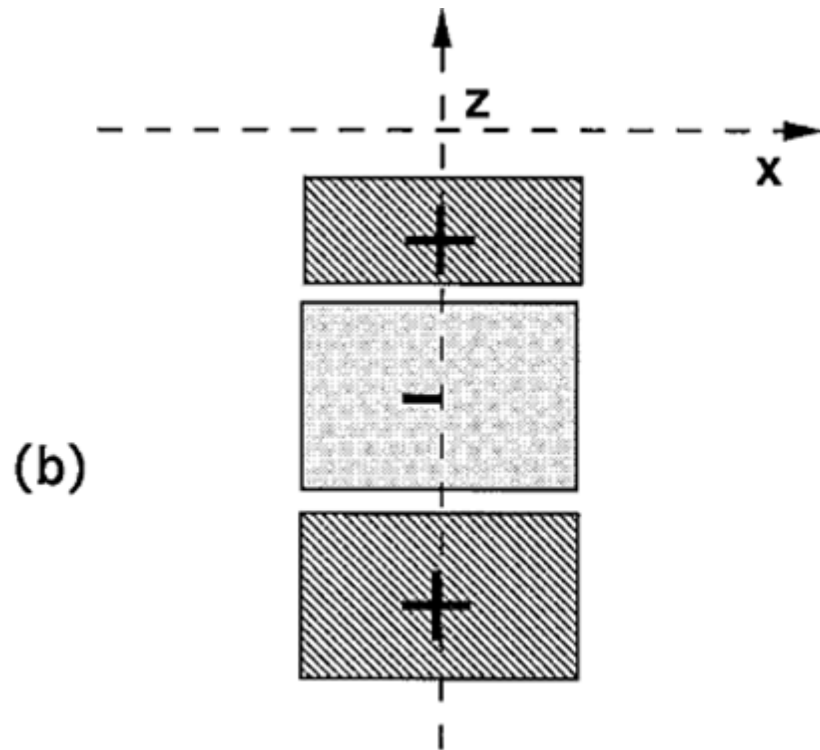
Evolution vorticité (Collision-Agrégation)



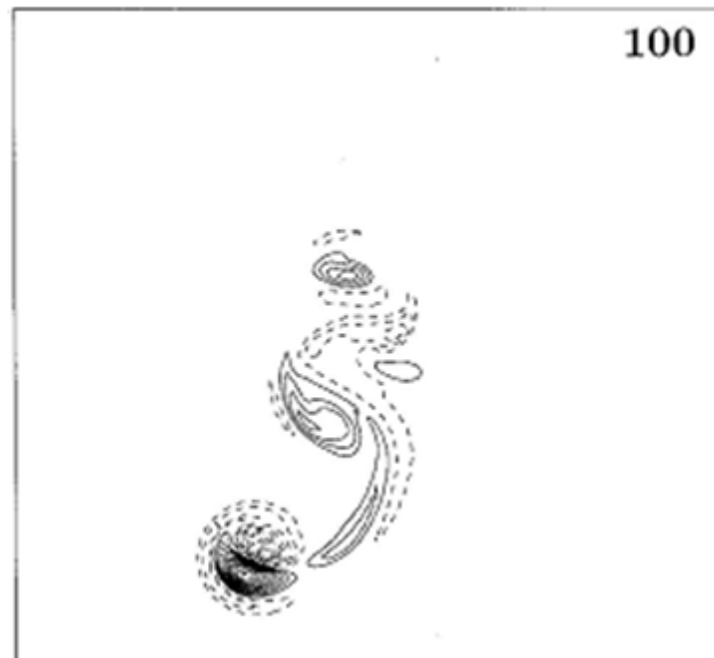
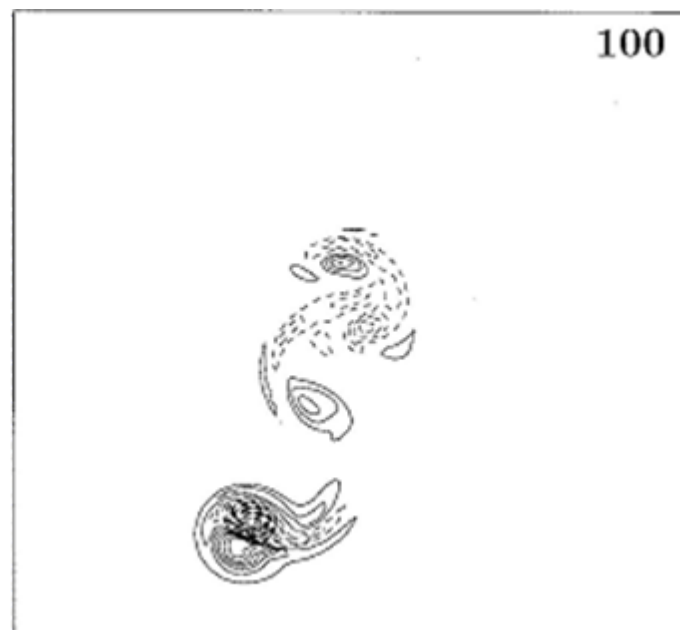
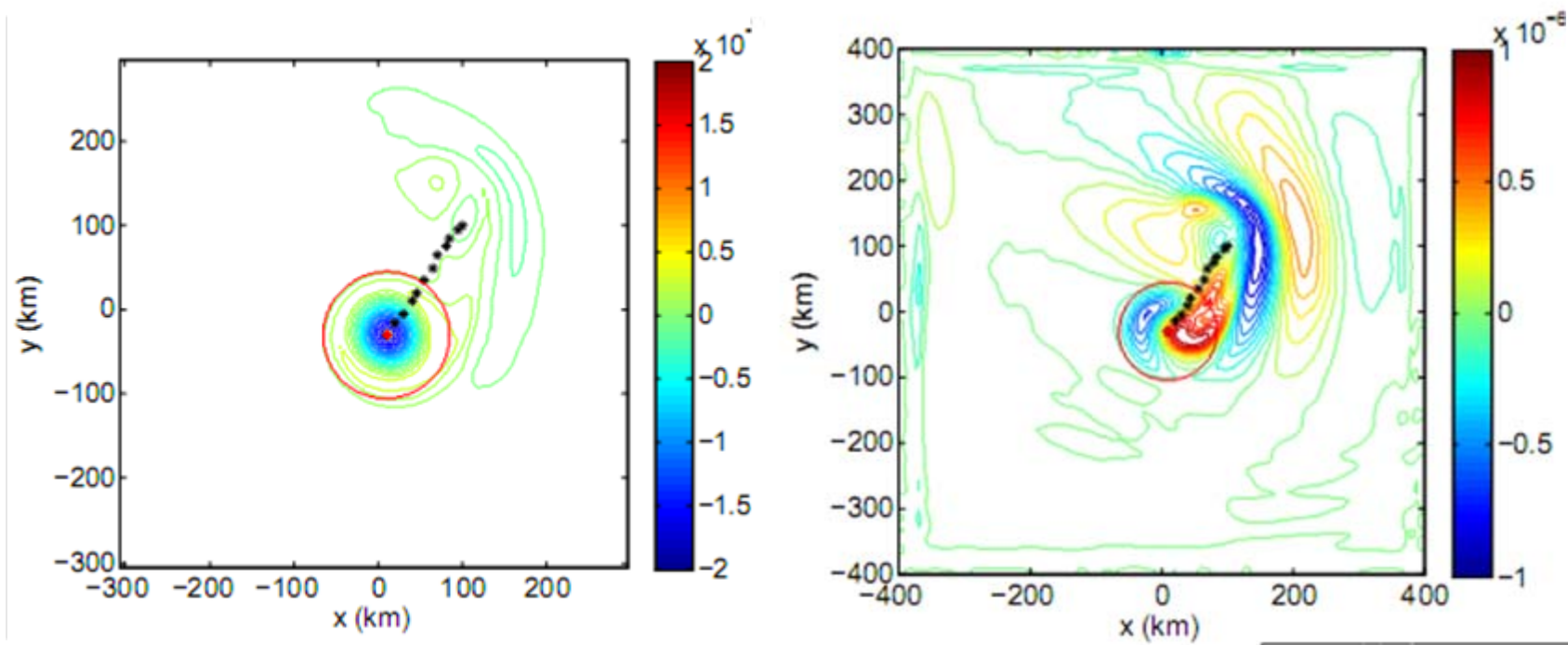
R-vortex [Morel & McWilliams, 2002]



S-vortex [Morel & McWilliams, 2002]



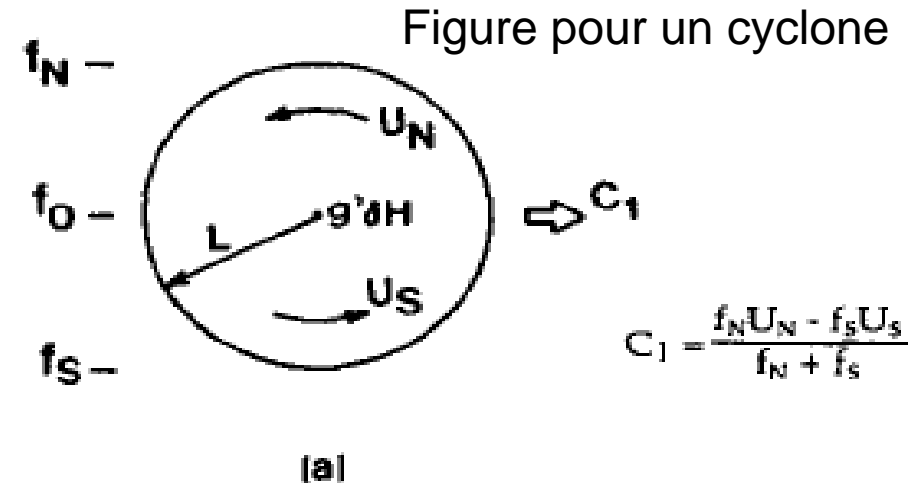
S-vortex [Morel & McWilliams, 2002]



Trajectoire des tourbillons [Cushman-Roisin et al., 1990]

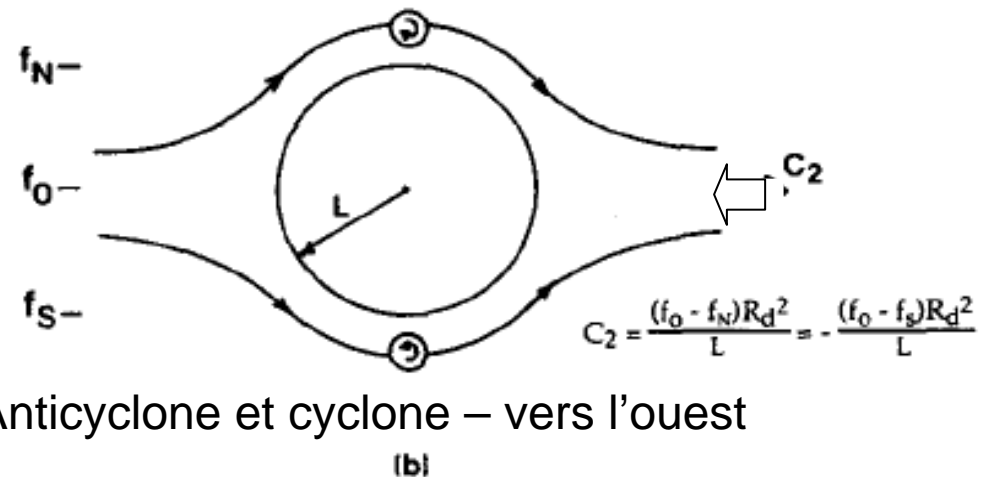
Mouvement zonal

- 2 effets:
 - a) Effet β – Force de Coriolis non homogène
 - b) Déplacement des particules environnantes
- $|c_2| > |c_1|$ Mouvement vers l'ouest pour les cyclones et les anticyclones



Anticyclone – vers l'ouest

Cyclone – vers l'est



Anticyclone et cyclone – vers l'ouest