

Le laboratoire de simulation physique du CNRM-GAME

Alexandre Paci

Météo-France--CNRS/CNRM-GAME/GMEI/SPEA

Etude de l'atmosphère et de l'océan

OBSERVATION

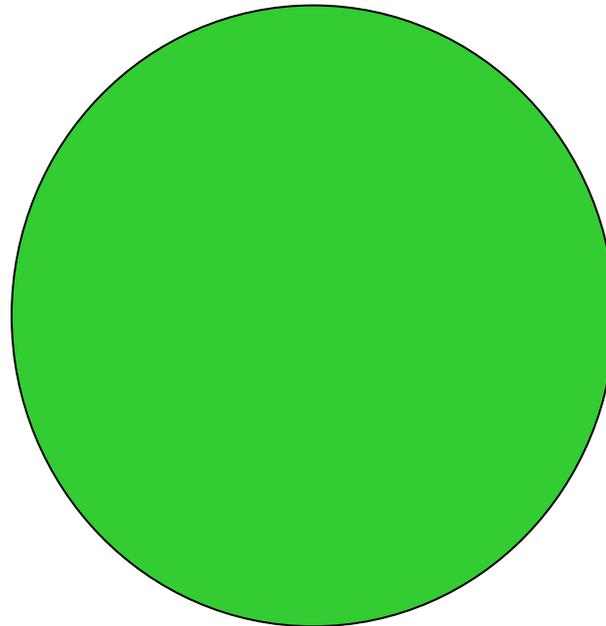
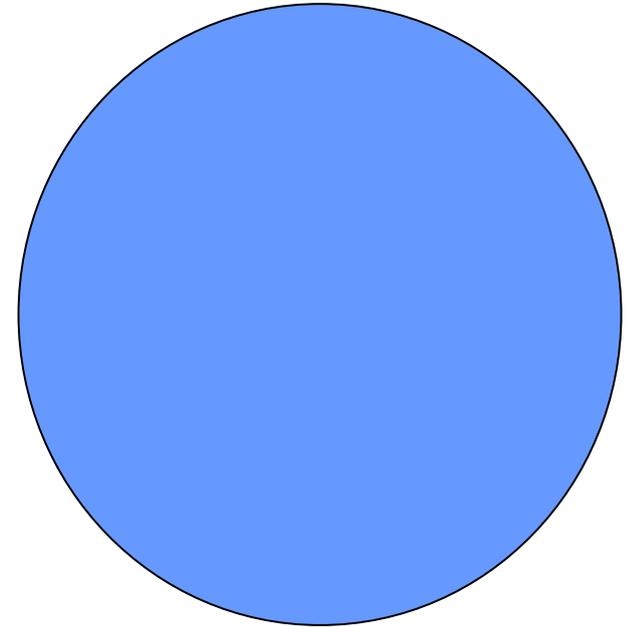
Etude de l'atmosphère et de l'océan

OBSERVATION



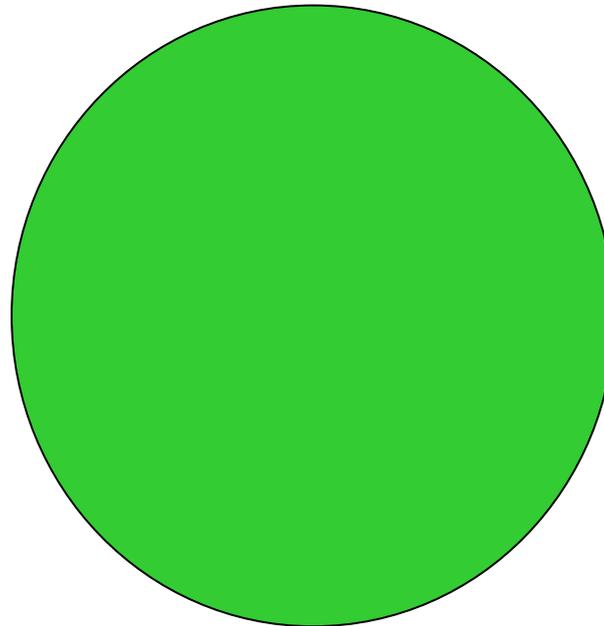
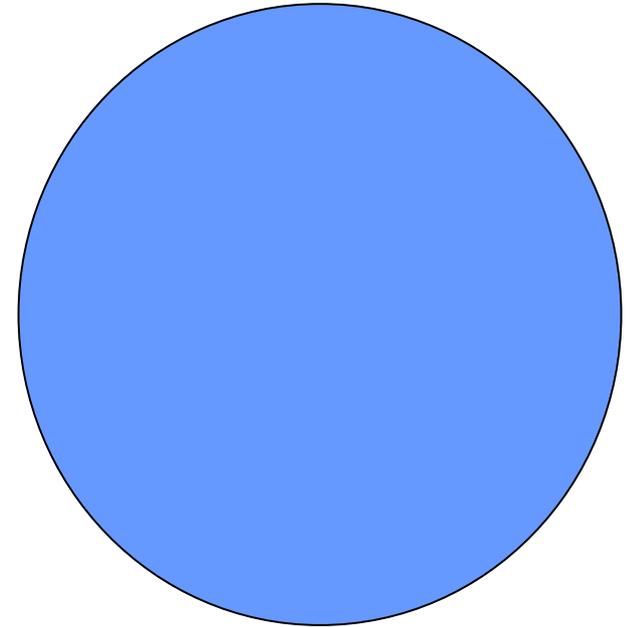
Etude de l'atmosphère et de l'océan

OBSERVATION



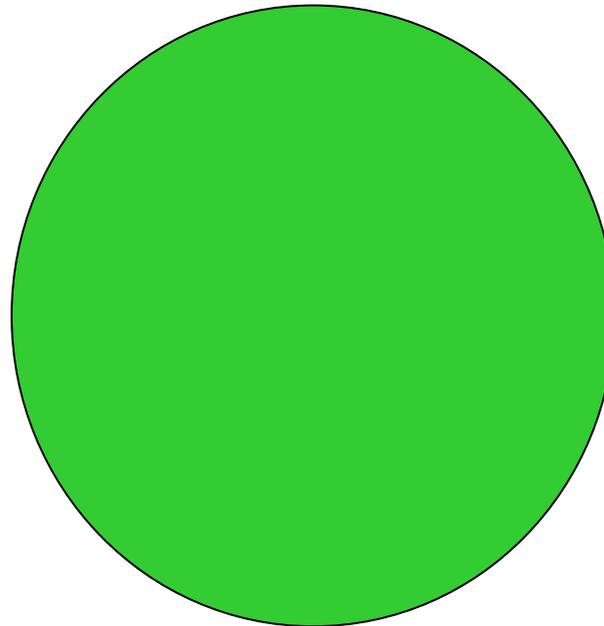
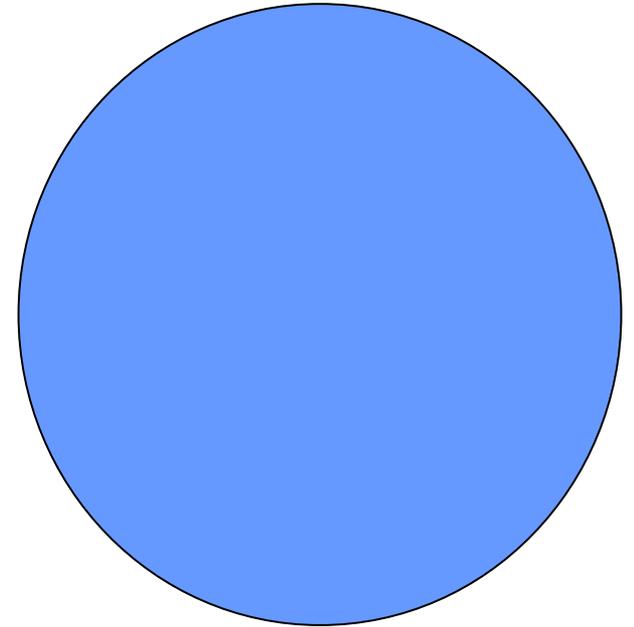
Etude de l'atmosphère et de l'océan

OBSERVATION



Etude de l'atmosphère et de l'océan

OBSERVATION



Etude de l'atmosphère et de l'océan

OBSERVATION



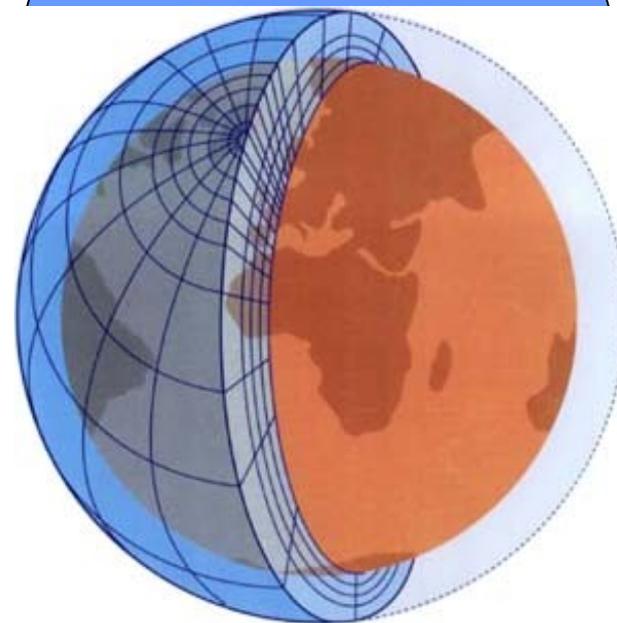
MODELISATION
NUMERIQUE

Etude de l'atmosphère et de l'océan

OBSERVATION



MODELISATION
NUMERIQUE



Etude de l'atmosphère et de l'océan

OBSERVATION



MODELISATION NUMERIQUE

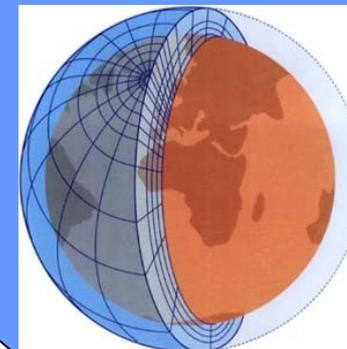


Etude de l'atmosphère et de l'océan

OBSERVATION



MODELISATION
NUMERIQUE



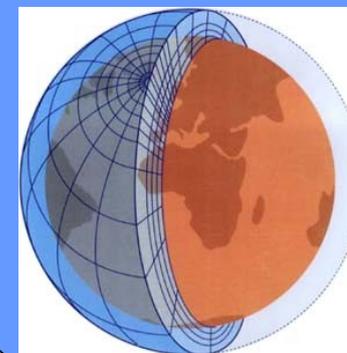
SIMULATION
PHYSIQUE

Etude de l'atmosphère et de l'océan

OBSERVATION



MODELISATION NUMERIQUE



SIMULATION PHYSIQUE

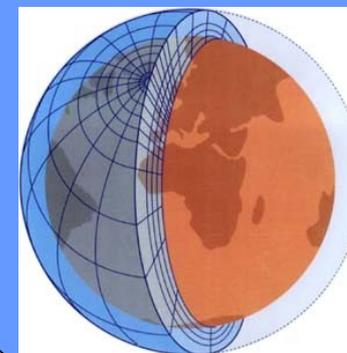


Etude de l'atmosphère et de l'océan

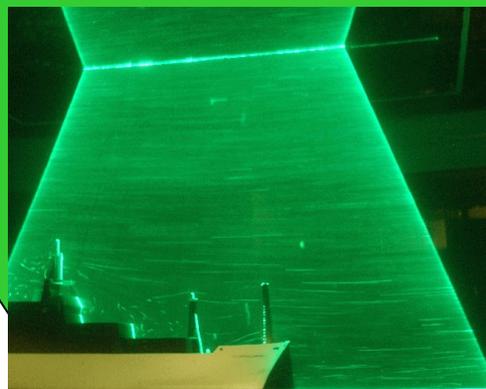
OBSERVATION



MODELISATION NUMERIQUE



SIMULATION PHYSIQUE

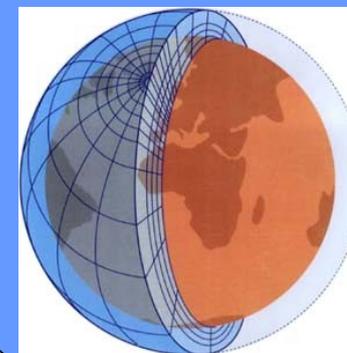


Etude de l'atmosphère et de l'océan

OBSERVATION



MODELISATION NUMERIQUE



SIMULATION PHYSIQUE

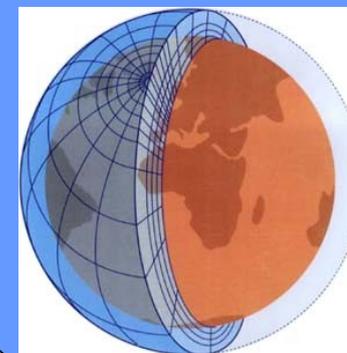


Etude de l'atmosphère et de l'océan

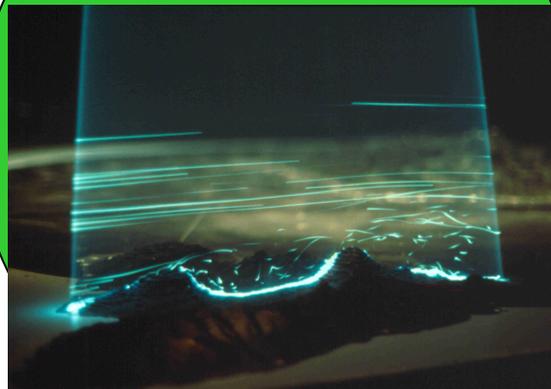
OBSERVATION



MODELISATION NUMERIQUE



SIMULATION PHYSIQUE



Etude de l'atmosphère et de l'océan

~~OBSERVATION~~



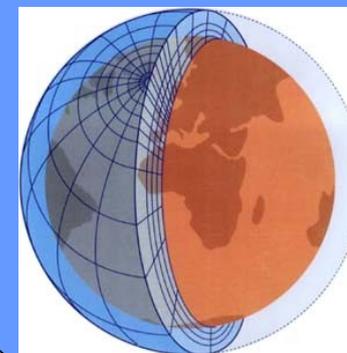
Si phénomène:

_intermittent

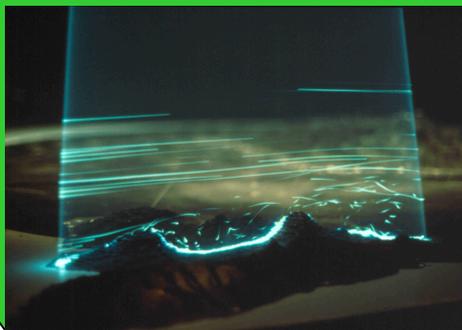
_dangereux

_résulte de qqch qui
n'existe pas encore

MODELISATION
NUMERIQUE



SIMULATION
PHYSIQUE



Etude de l'atmosphère et de l'océan

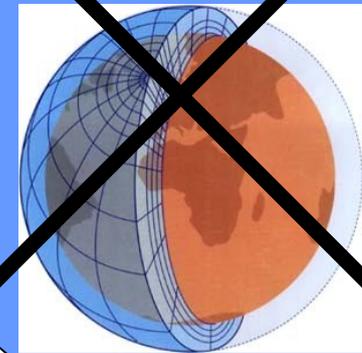
~~OBSERVATION~~



Si phénomène:

- _intermittent
- _dangereux
- _résulte de qqch qui n'existe pas encore

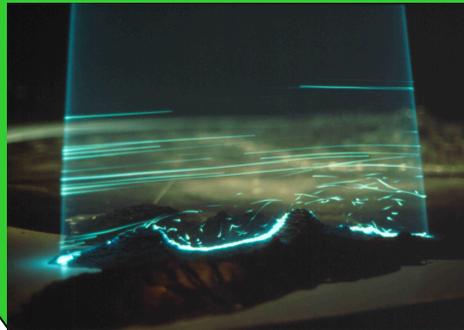
~~MODELISATION
NUMERIQUE~~



Si:

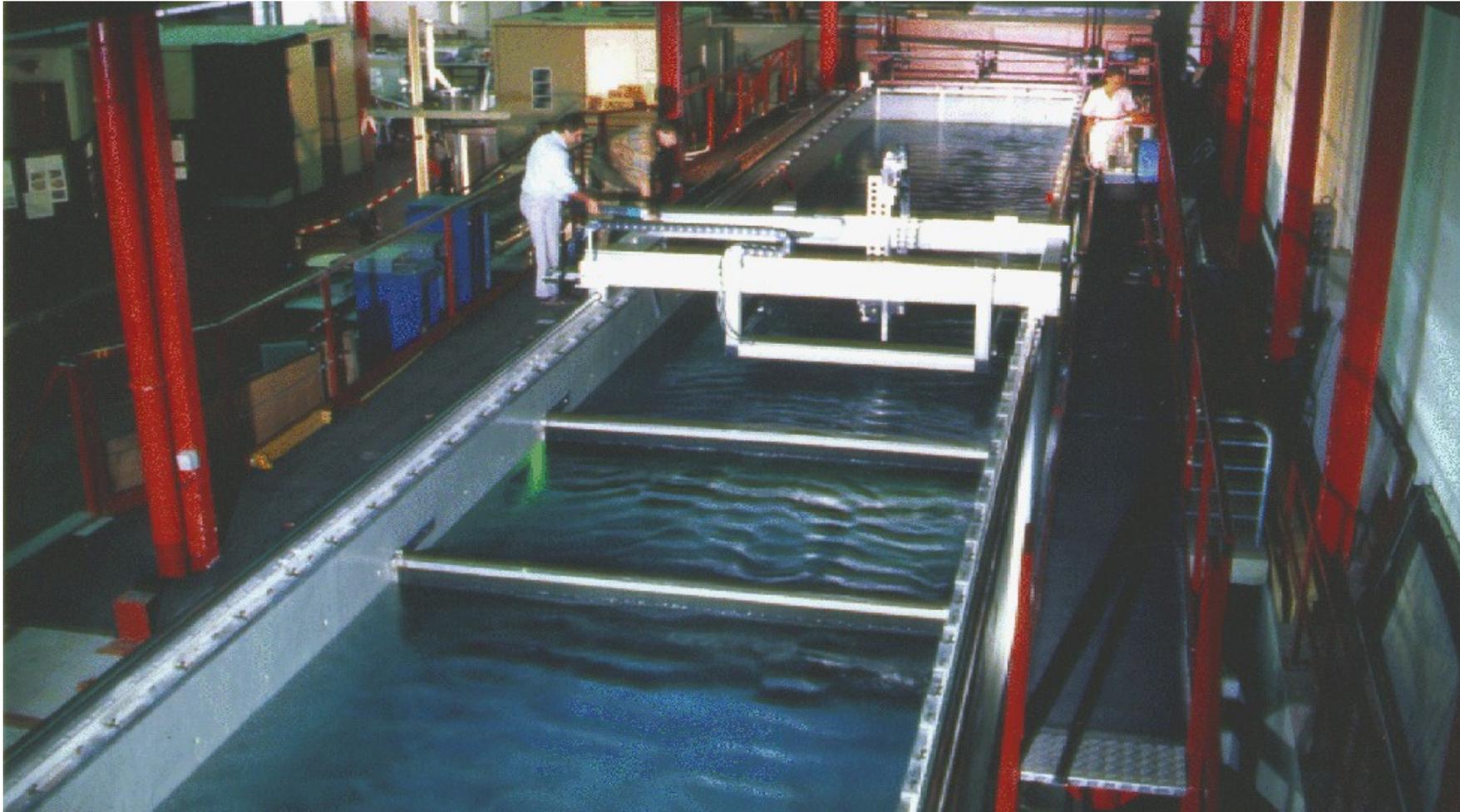
- _écoulement/topographie complexe
- _étude petites échelles sur grand domaine

SIMULATION
PHYSIQUE



La simulation physique au CNRM

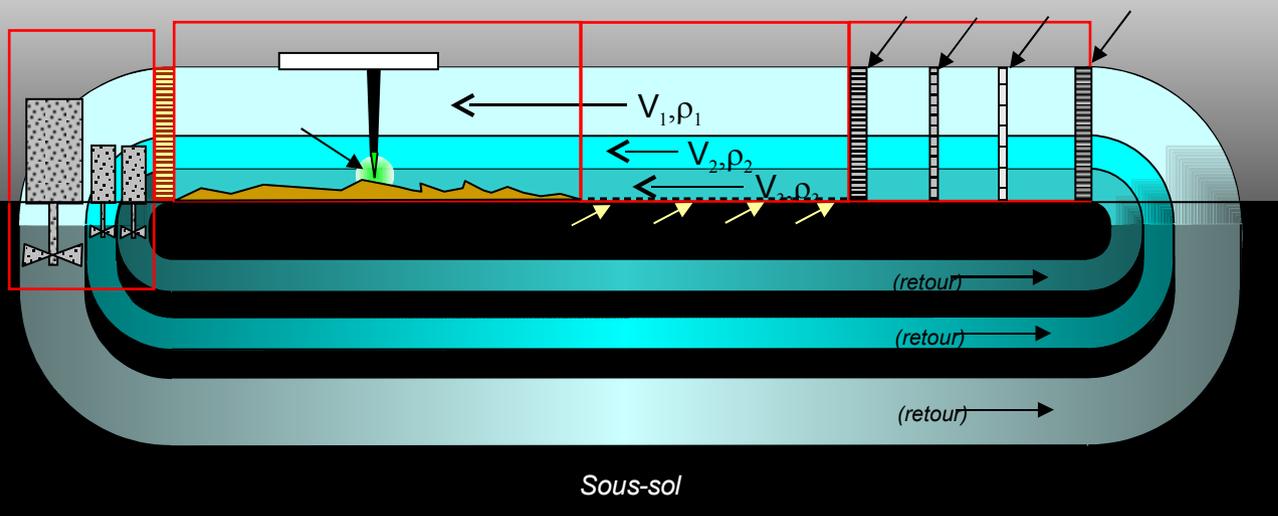
- Infrastructure principale: veine hydraulique stratifiée



La simulation physique au CNRM

- Infrastructure principale: veine hydraulique stratifiée

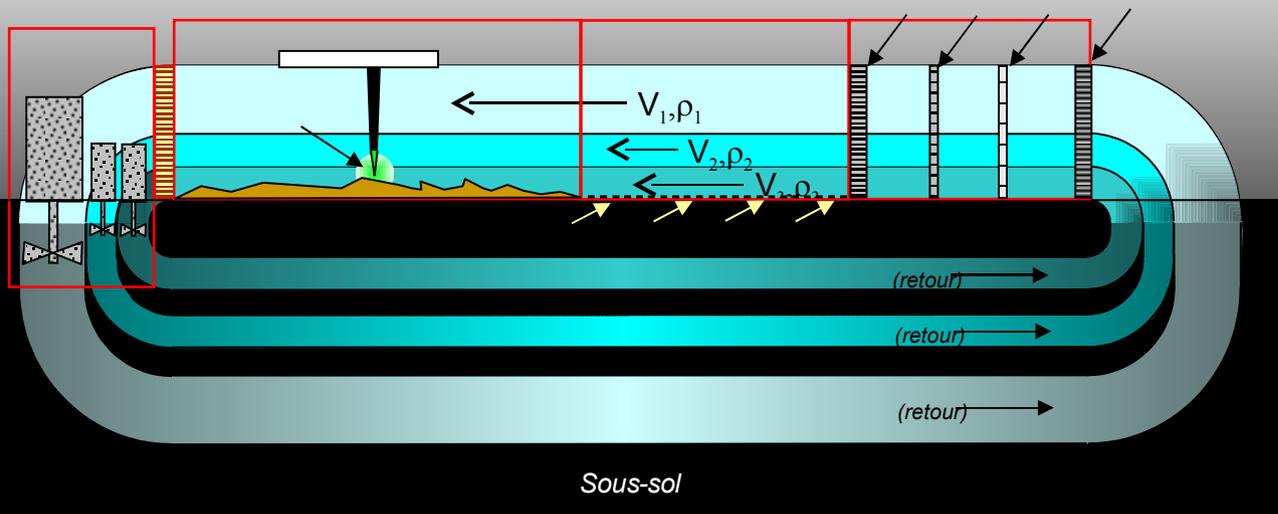
- 30m*3m*1m
- 3 couches indépendantes:
 - U: 0-75cm/s
 - ρ : 1.0-1.2kg/L



La simulation physique au CNRM

- Infrastructure principale: veine hydraulique stratifiée

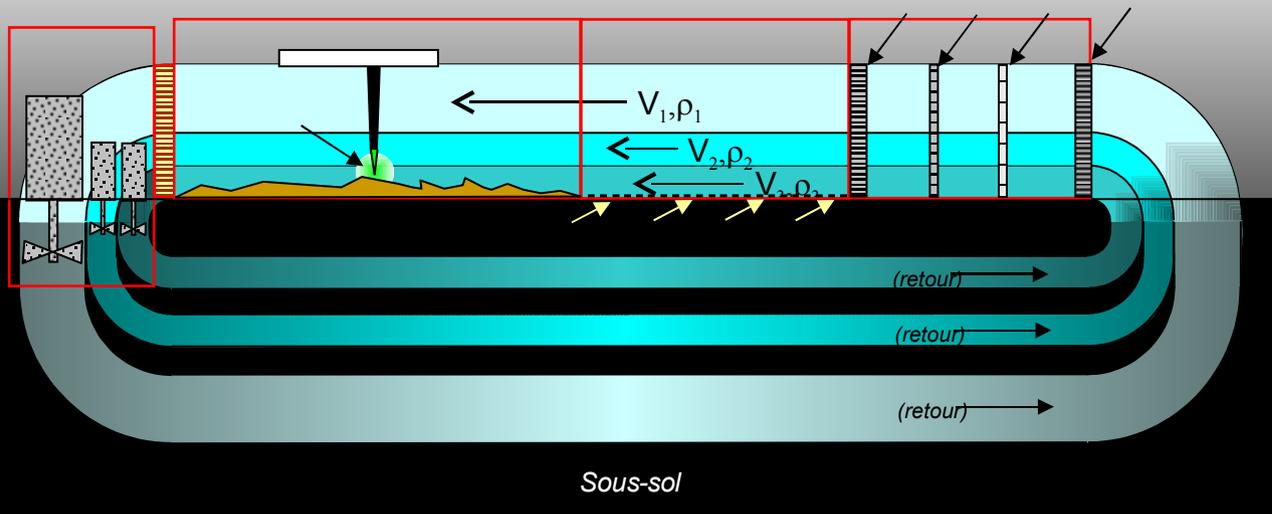
- 30m*3m*1m
- 3 couches indépendantes
- instrument unique:
 - grand Re
 - faible confinement
 - stratification



La simulation physique du CNRM

- Infrastructure principale: veine hydraulique stratifiée

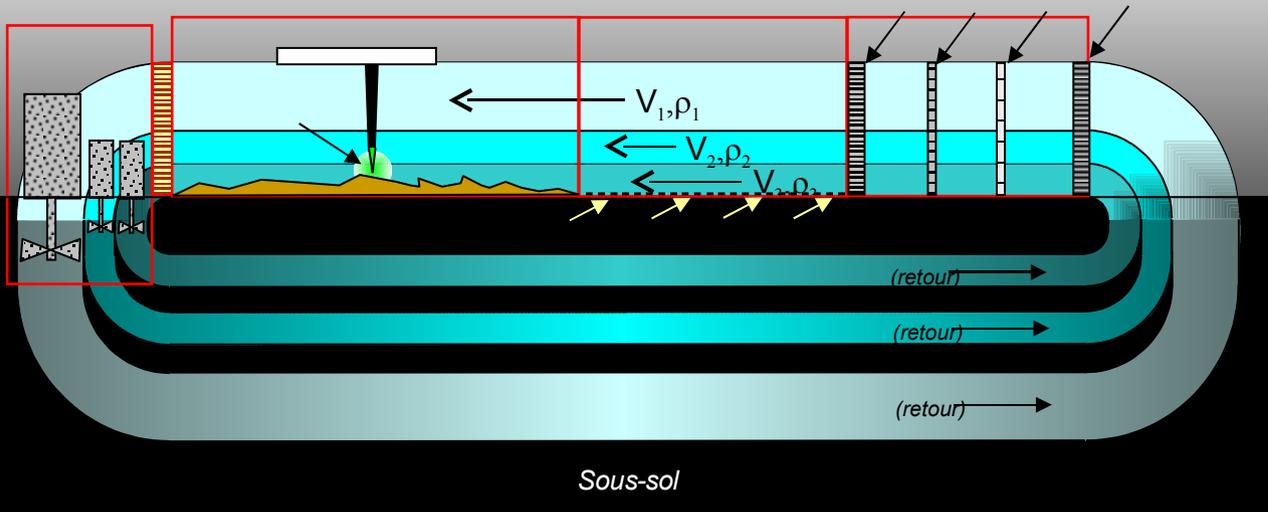
- 30m*3m*1m
- 3 couches indépendantes
- instrument unique
- applications:
 - atmosphère
 - océan
 - rivière, sédiment



La simulation physique au CNRM

- Infrastructure principale: veine hydraulique stratifiée

- 30m*3m*1m
- 3 couches indépendantes
- instrument unique
- applications:
 - atmosphère
 - océan
 - rivière, sédiment



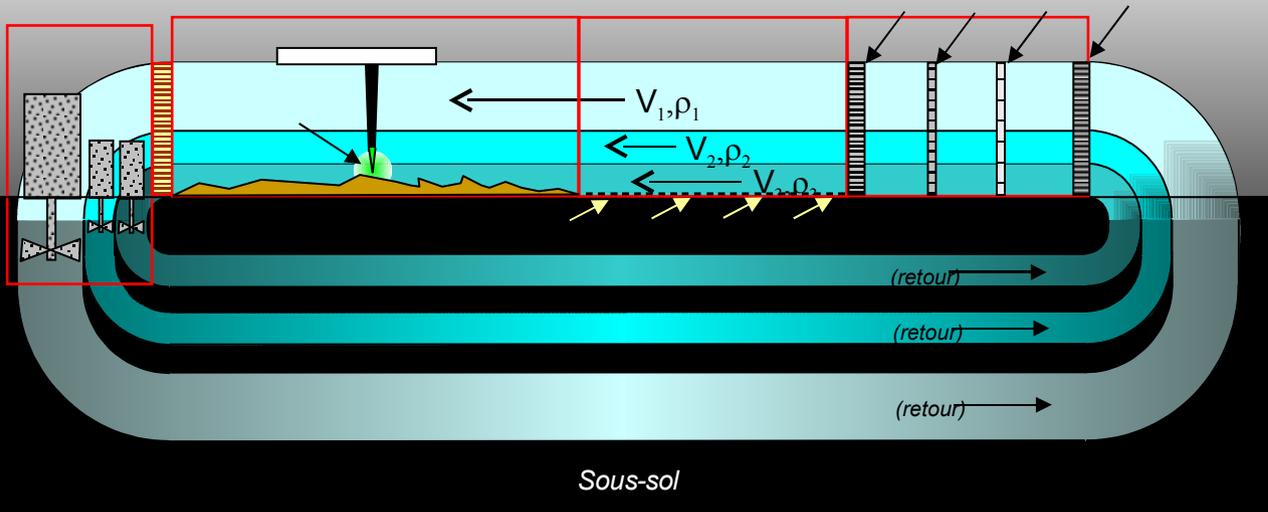
- Autres infrastructures:
 - 2 canaux (4 et 7 m de long)



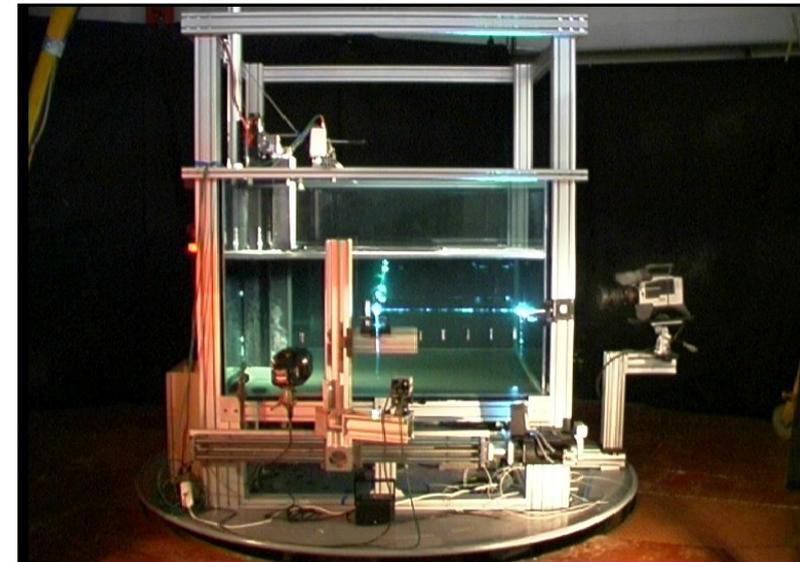
La simulation physique au CNRM

- Infrastructure principale: veine hydraulique stratifiée

- 30m*3m*1m
- 3 couches indépendantes
- instrument unique
- applications:
 - atmosphère
 - océan
 - rivière, sédiment



- Autres infrastructures:
 - 2 canaux (4 et 7 m de long)
 - une table tournante (2.5m de diamètre)



La simulation physique au CNRM

Activités de l'équipe: études

- Etudes appliquées (veine hydraulique):

- **Atmosphère**

- Site réel (échelle 1)

- Vent

- Gradient de température



- Laboratoire**

- Maquette (échelle 1/x)

- Ecoulement d'eau

- Gradient de salinité

- Critères de similitude: Re , Fr

La simulation physique au CNRM

Activités de l'équipe: études

- Etudes appliquées (veine hydraulique):

- **Atmosphère**

- Site réel (échelle 1)

- Vent

- Gradient de température



- Laboratoire**

- Maquette (échelle 1/x)

- Ecoulement d'eau

- Gradient de salinité

- Critères de similitude: Re , Fr

- Exemples:

- Aérologie



La simulation physique au CNRM

Activités de l'équipe: études

- Etudes appliquées (veine hydraulique):

- **Atmosphère**

- Site réel (échelle 1)

- Vent

- Gradient de température



- Laboratoire**

- Maquette (échelle 1/x)

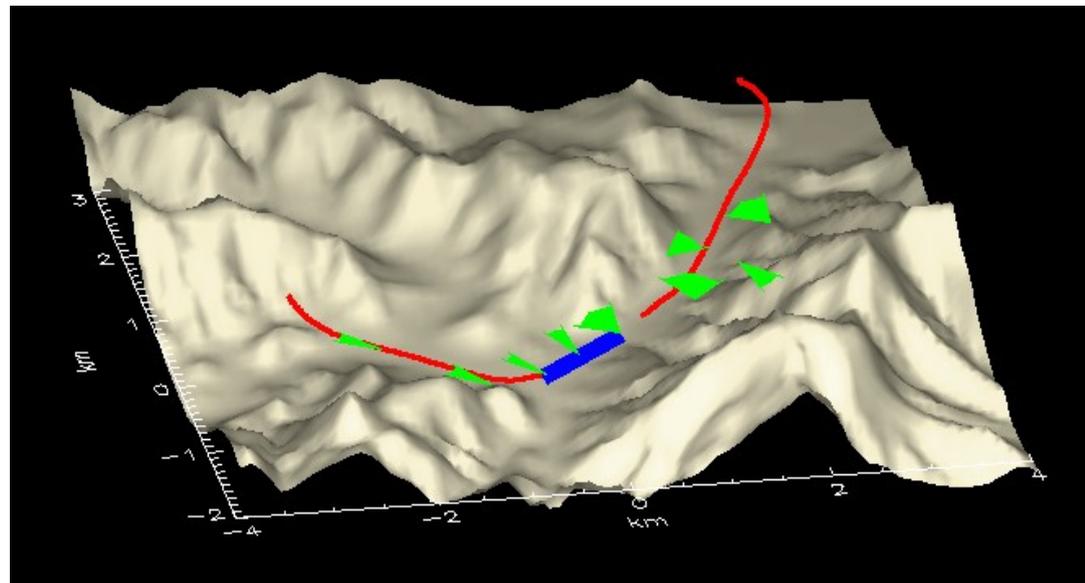
- Ecoulement d'eau

- Gradient de salinité

- Critères de similitude: Re , Fr

- Exemples:

- Aérologie
 - Sécurité aéroport



La simulation physique au CNRM

Activités de l'équipe: études

- Etudes appliquées (veine hydraulique):

- **Atmosphère**

- Site réel (échelle 1)

- Vent

- Gradient de température



- Laboratoire**

- Maquette (échelle 1/x)

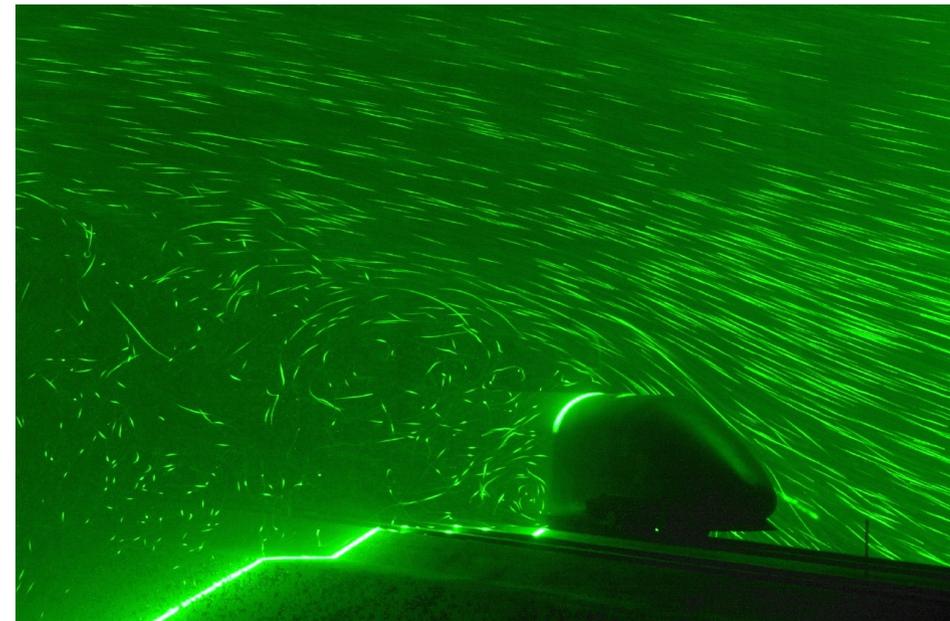
- Ecoulement d'eau

- Gradient de salinité

- Critères de similitude: Re , Fr

- Exemples:

- Aérologie
 - Sécurité aéroport
 - Aérodynamique



La simulation physique au CNRM

Activités de l'équipe: études

■ Etudes appliquées (veine hydraulique):

— Atmosphère

Site réel (échelle 1)

Vent

Gradient de température



Laboratoire

Maquette (échelle 1/x)

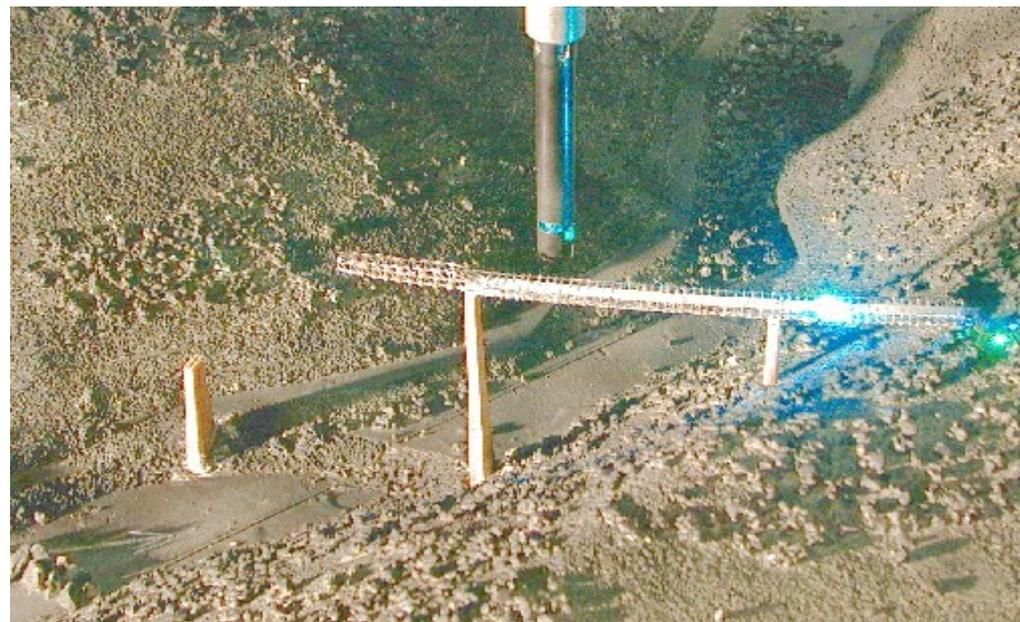
Ecoulement d'eau

Gradient de salinité

— Critères de similitude: Re , Fr

— Exemples:

- Aérologie
- Sécurité aéroport
- Aérodynamique
- Génie civil



La simulation physique au CNRM

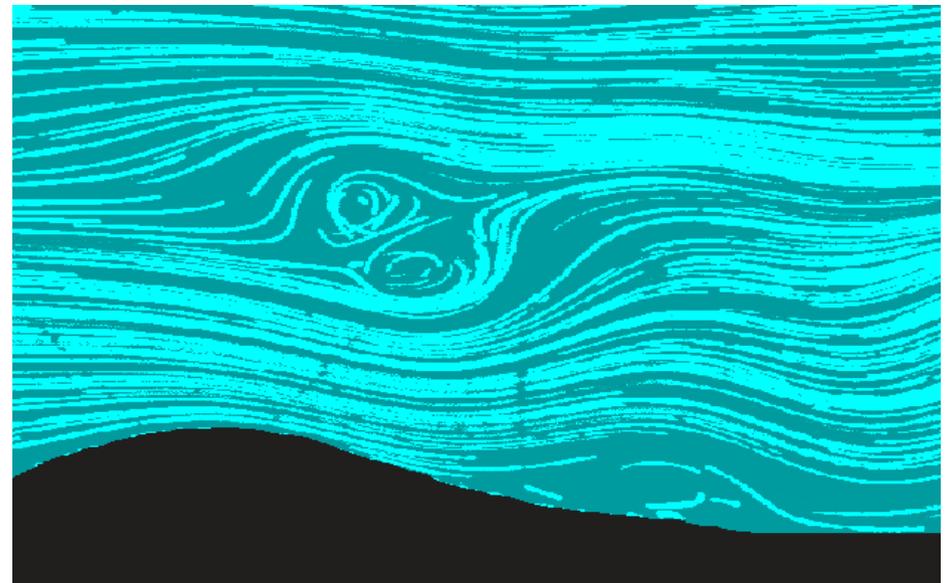
Activités de l'équipe: recherche

- Recherche (veine hydraulique, autres canaux, cuve tournante) :
 - Processus physiques
 - Fluides géophysiques (stratification et/ou rotation)
 - Recherche amont pour l'amélioration des modèles numériques

La simulation physique au CNRM

Activités de l'équipe: recherche

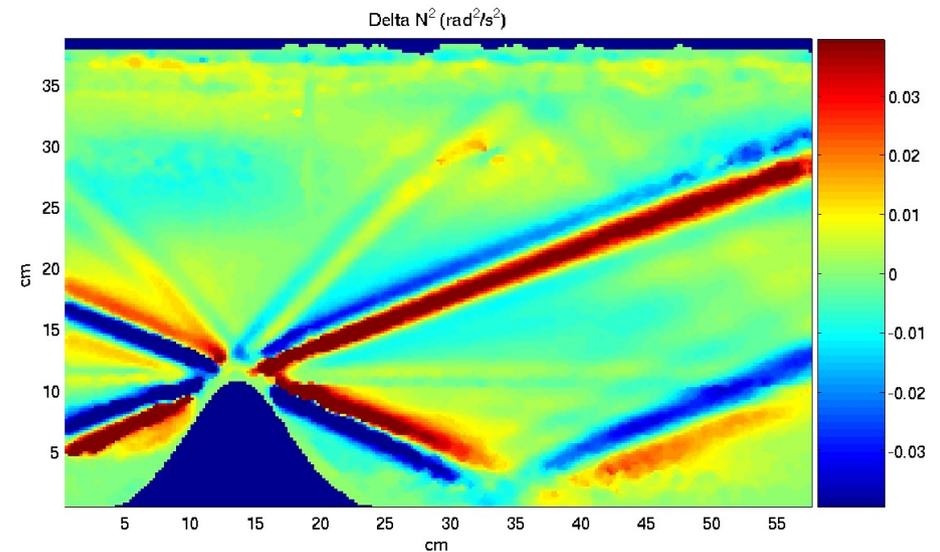
- Recherche (veine hydraulique, autres canaux, cuve tournante) :
 - Processus physiques
 - Fluides géophysiques (stratification et/ou rotation)
 - Recherche amont pour l'amélioration des modèles numériques
 - Thématiques:
 - Ondes internes dans l'atmosphère



La simulation physique au CNRM

Activités de l'équipe: recherche

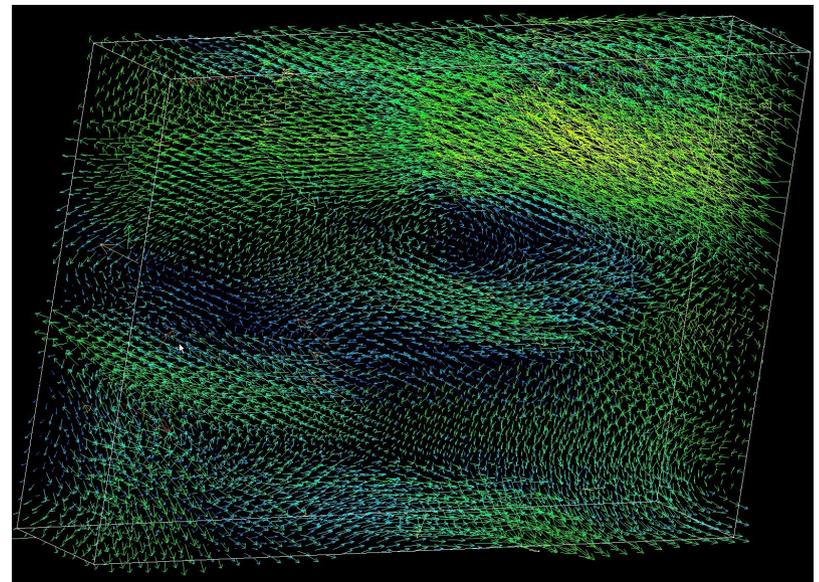
- Recherche (veine hydraulique, autres canaux, cuve tournante) :
 - Processus physiques
 - Fluides géophysiques (stratification et/ou rotation)
 - Recherche amont pour l'amélioration des modèles numériques
 - Thématiques:
 - Ondes internes dans l'atmosphère
 - Ondes internes dans l'océan



La simulation physique au CNRM

Activités de l'équipe: recherche

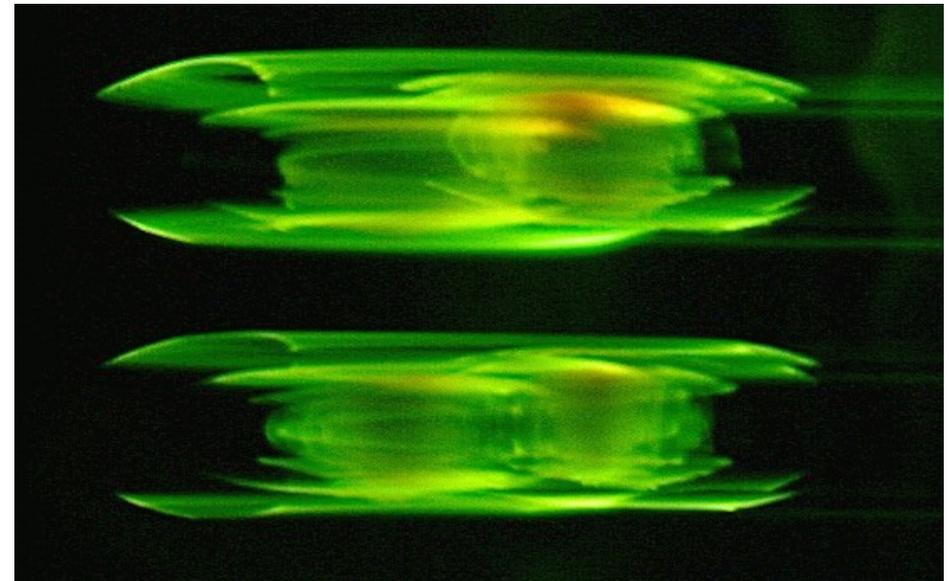
- Recherche (veine hydraulique, autres canaux, cuve tournante) :
 - Processus physiques
 - Fluides géophysiques (stratification et/ou rotation)
 - Recherche amont pour l'amélioration des modèles numériques
 - Thématiques:
 - Ondes internes dans l'atmosphère
 - Ondes internes dans l'océan
 - Turbulence en milieu stratifié



La simulation physique au CNRM

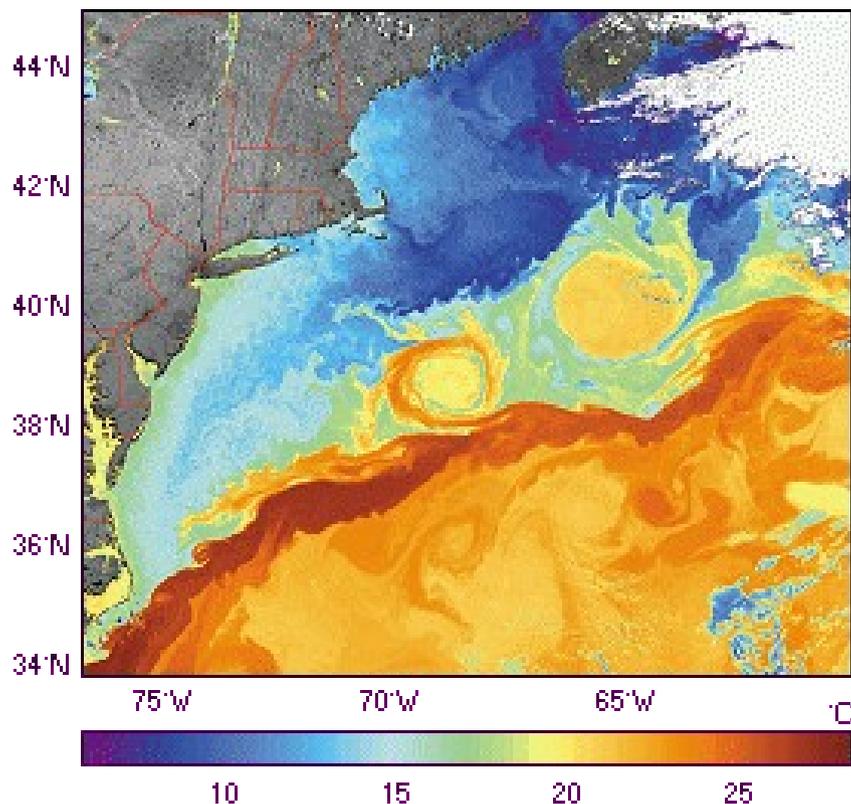
Activités de l'équipe: recherche

- Recherche (veine hydraulique, autres canaux, cuve tournante) :
 - Processus physiques
 - Fluides géophysiques (stratification et/ou rotation)
 - Recherche amont pour l'amélioration des modèles numériques
 - Thématiques:
 - Ondes internes dans l'atmosphère
 - Ondes internes dans l'océan
 - Turbulence en milieu stratifié
 - Dynamique tourbillonnaire



Exemple de sujet de recherche

Dynamique tourbillonnaire

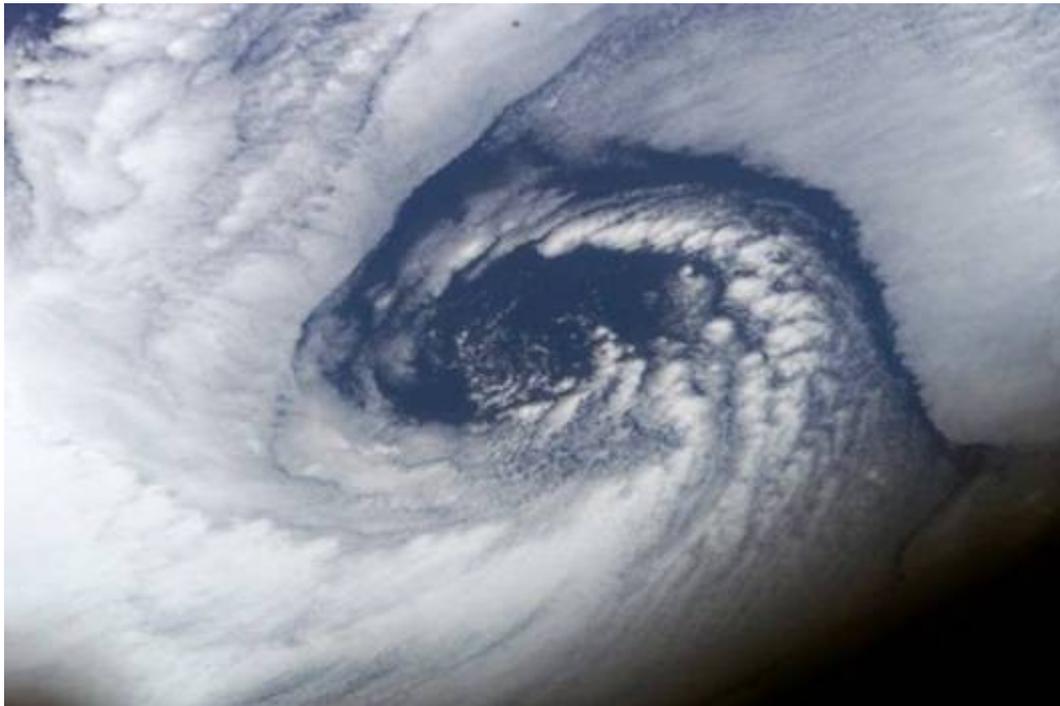


*Gulf Stream eddies,
June 11, 1997
(Johns Hopkins University)*

- Importance des tourbillons dans l'océan et l'atmosphère:
 - Interaction avec circulation générale
 - Echanges frontaux

Exemple de sujet de recherche

Dynamique tourbillonnaire

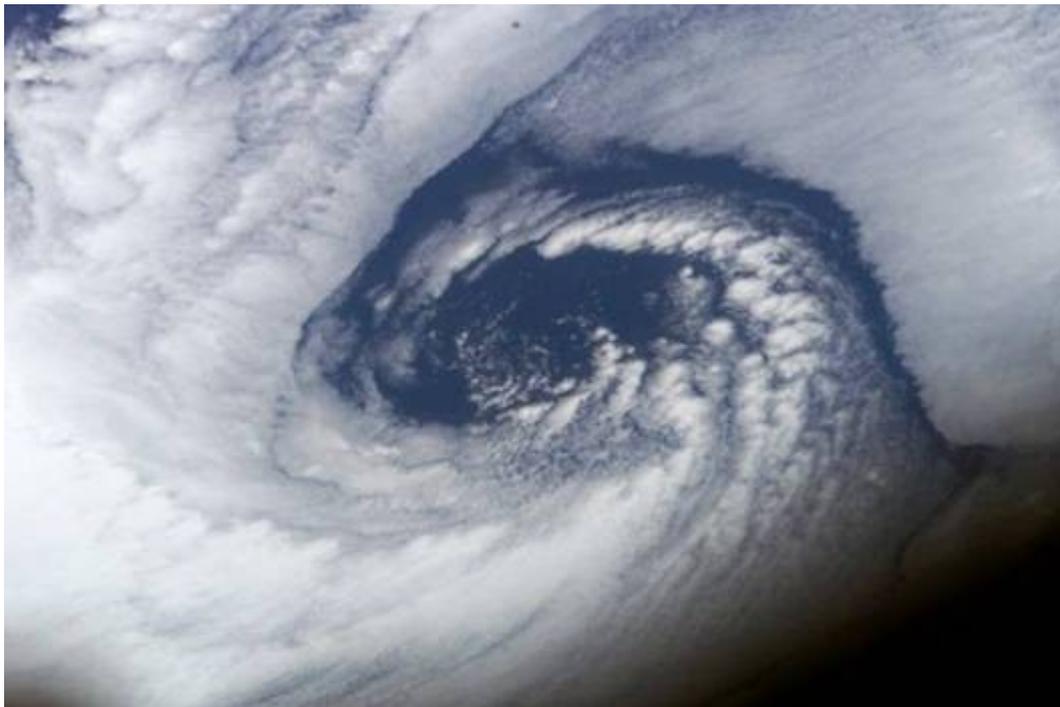


Cloud vortex over Madeira island (NASA)

- Importance des tourbillons dans l'océan et l'atmosphère:
 - Interaction avec circulation générale
 - Echanges frontaux
 - Brique élémentaire de la turbulence

Exemple de sujet de recherche

Dynamique tourbillonnaire

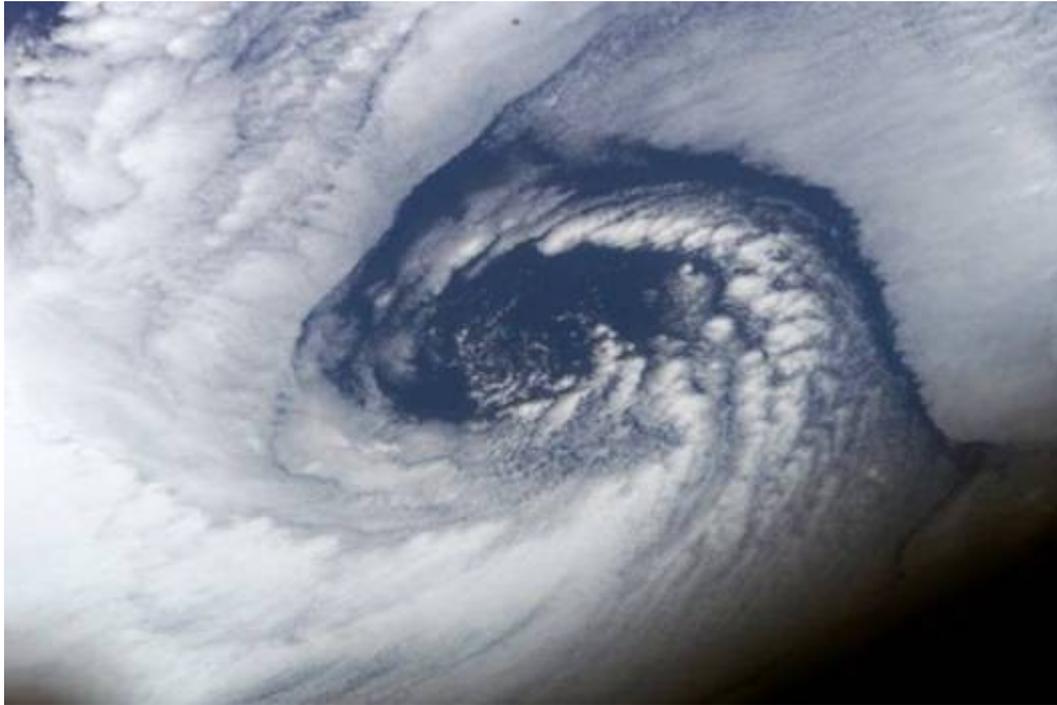


Cloud vortex over Madeira island (NASA)

- Importance des tourbillons dans l'océan et l'atmosphère:
 - Interaction avec circulation générale
 - Echanges frontaux
 - Brique élémentaire de la turbulence
- Propriétés de stabilité encore mal comprises

Exemple de sujet de recherche

Dynamique tourbillonnaire

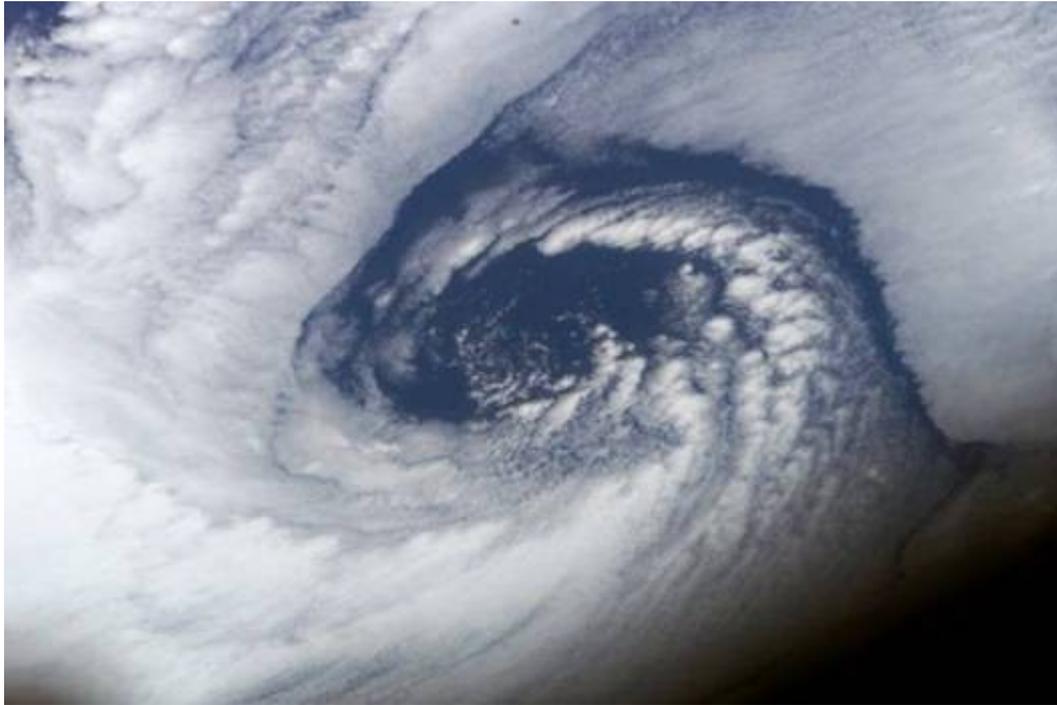


Cloud vortex over Madeira island (NASA)

- Importance des tourbillons dans l'océan et l'atmosphère:
 - Interaction avec circulation générale
 - Echanges frontaux
 - Brique élémentaire de la turbulence
- Propriétés de stabilité encore mal comprises
- Pas représentés dans les modèles numériques en dessous d'une certaine taille

Exemple de sujet de recherche

Dynamique tourbillonnaire

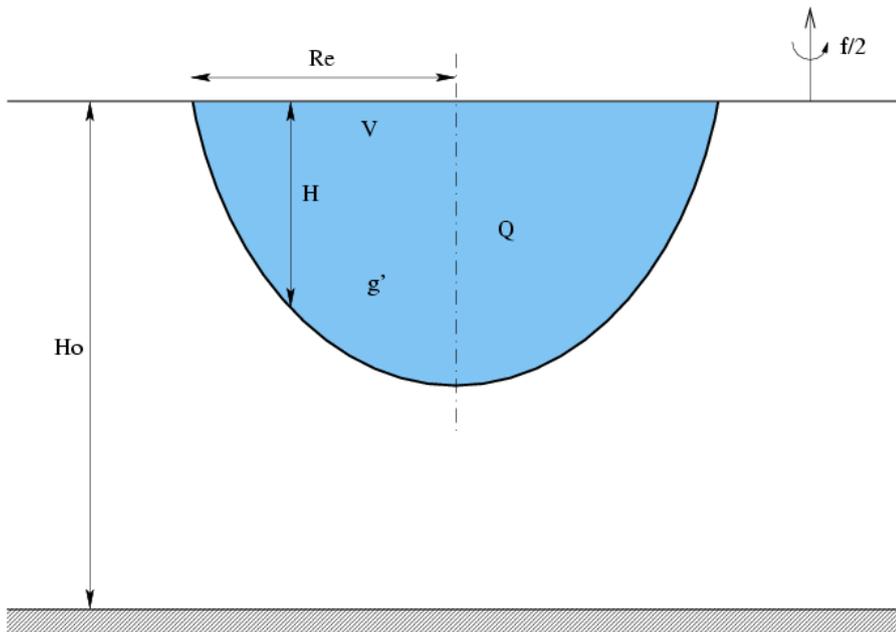


Cloud vortex over Madeira island (NASA)

- Importance des tourbillons dans l'océan et l'atmosphère:
 - Interaction avec circulation générale
 - Echanges frontaux
 - Brique élémentaire de la turbulence
- Propriétés de stabilité encore mal comprises
- Pas représentés dans les modèles numériques en dessous d'une certaine taille
- --> Besoin de mieux comprendre

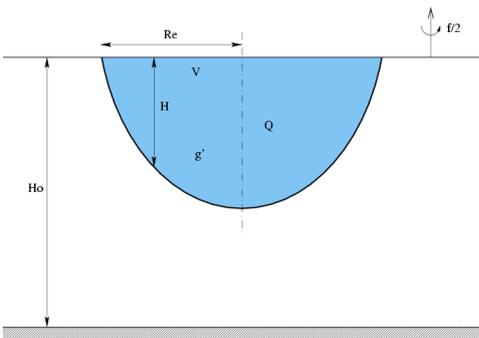
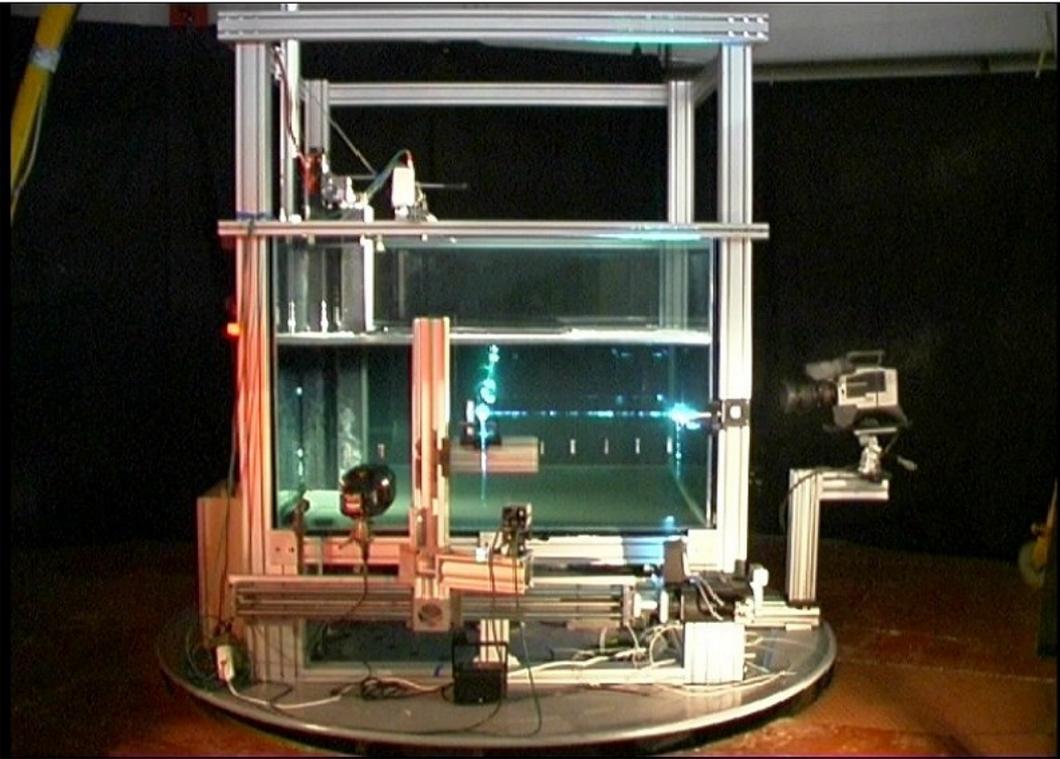
Dynamique tourbillonnaire: instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation

- Instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation à deux couches

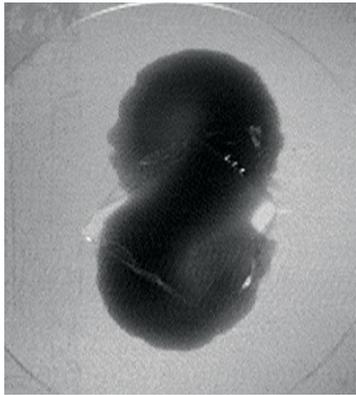


Dynamique tourbillonnaire: instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation

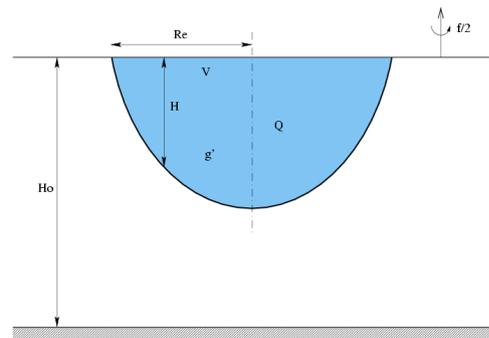
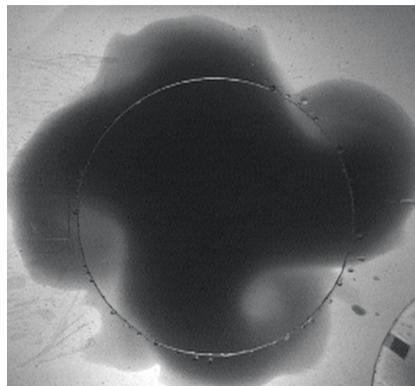
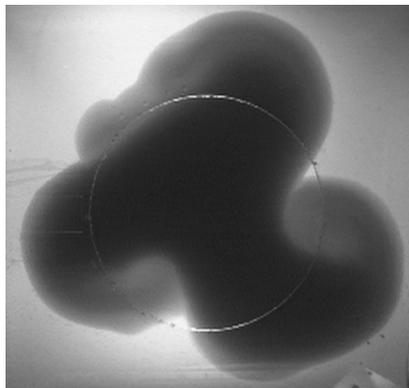
- Instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation à deux couches
 - Expérience de laboratoire



Dynamique tourbillonnaire: instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation

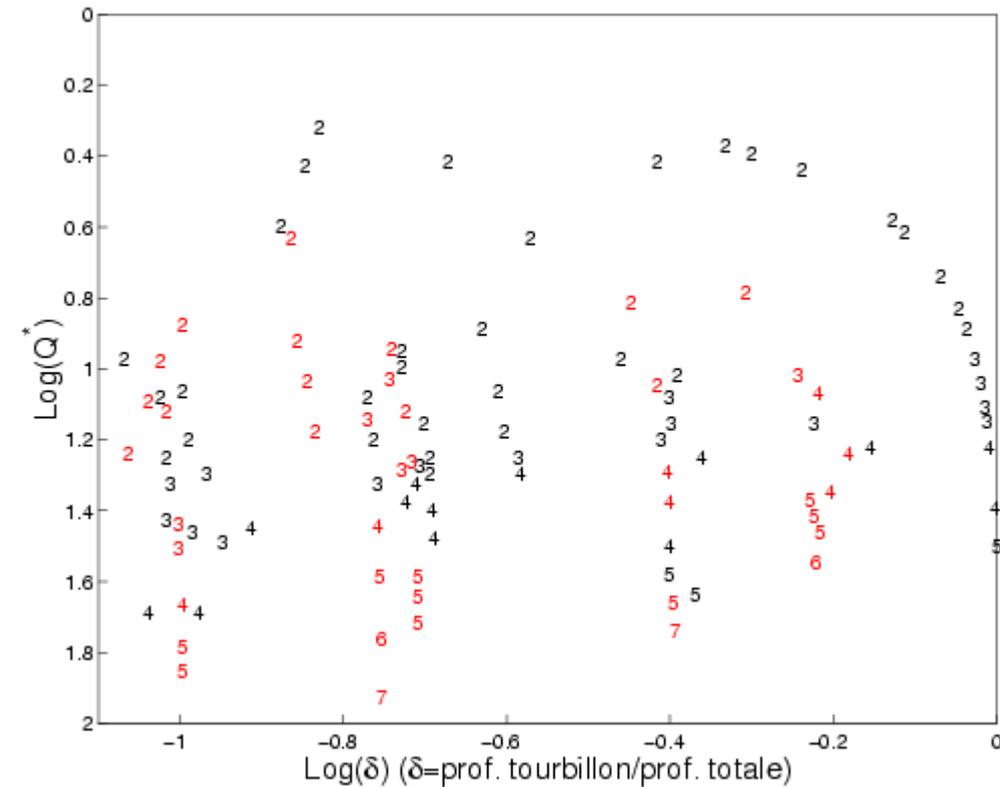


- Instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation à deux couches
 - Expérience de laboratoire

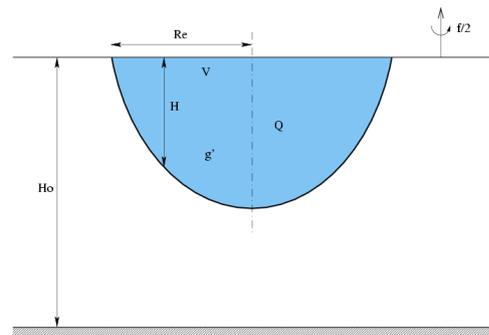


Dynamique tourbillonnaire: instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation

Mode observe de l'instabilite



- Instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation à deux couches
 - Expérience de laboratoire



Dynamique tourbillonnaire: instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation

$$u_t + \frac{V}{r}u_\theta - \frac{2Vv}{r} - v = -p_r$$

$$v_t + \frac{V}{r}v_\theta + uV_r + \frac{uV}{r} + u = -\frac{p_\theta}{r}$$

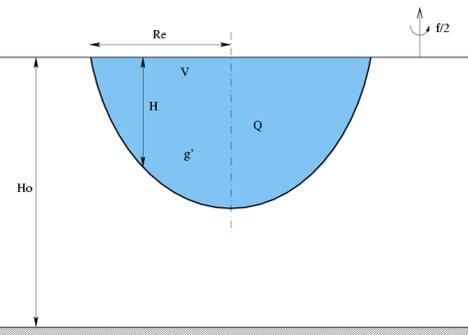
$$h_t + \frac{uH}{r} + u_rH + uH_r + \frac{Vh_\theta}{r} + \frac{v_\theta H}{r} = 0$$

$$\hat{u}_t - \hat{v} = -(p - h)_r$$

$$\hat{v}_t + \hat{u} = \frac{-(p - h)_\theta}{r}$$

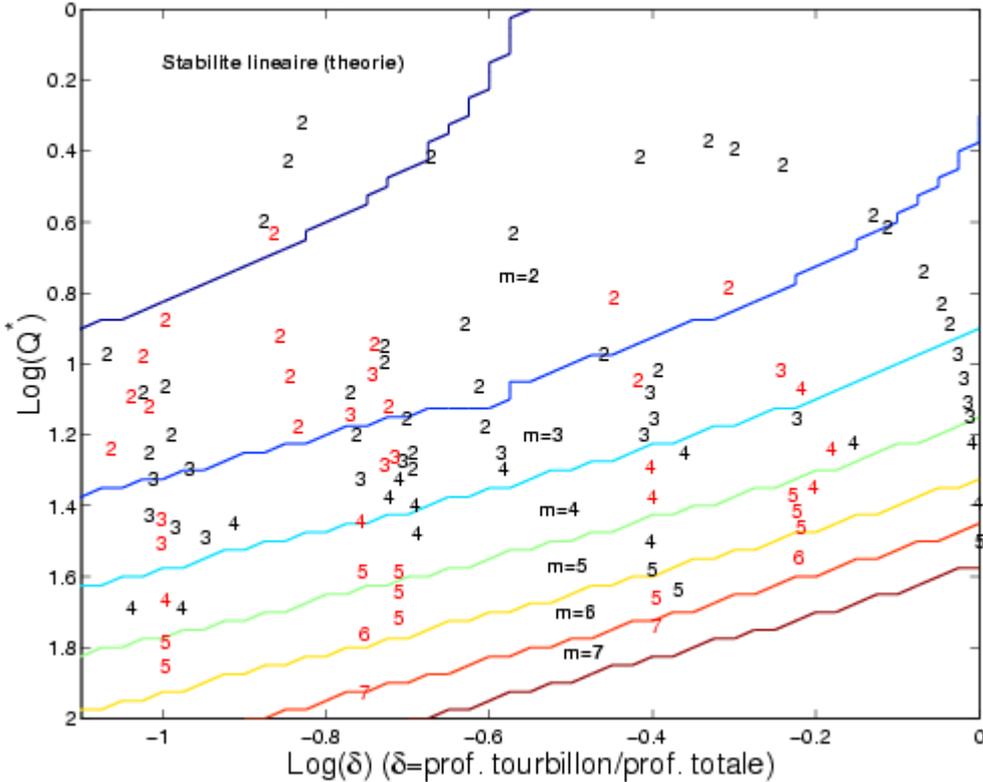
$$-\hat{h}_t + \frac{\hat{u}(H_0^* - H)}{r} + \hat{u}_r(H_0^* - H) - \hat{u}H_r + \frac{\hat{v}_\theta(H_0^* - H)}{r} = 0$$

- Instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation à deux couches
 - Expérience de laboratoire
 - Théorie linéaire:
 - Fluide parfait à 2 couches
 - Interface affleure en surface
 - Eq. primitives, plan-f, toit rigide
 - Linéarisation autour état de base

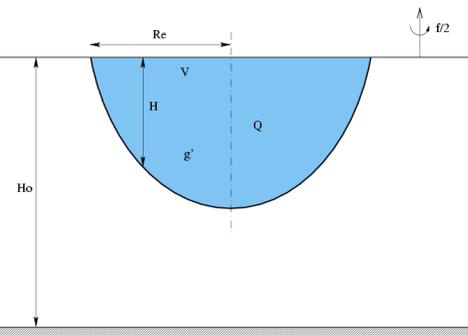


Dynamique tourbillonnaire: instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation

Mode le plus instable predict et mode observe

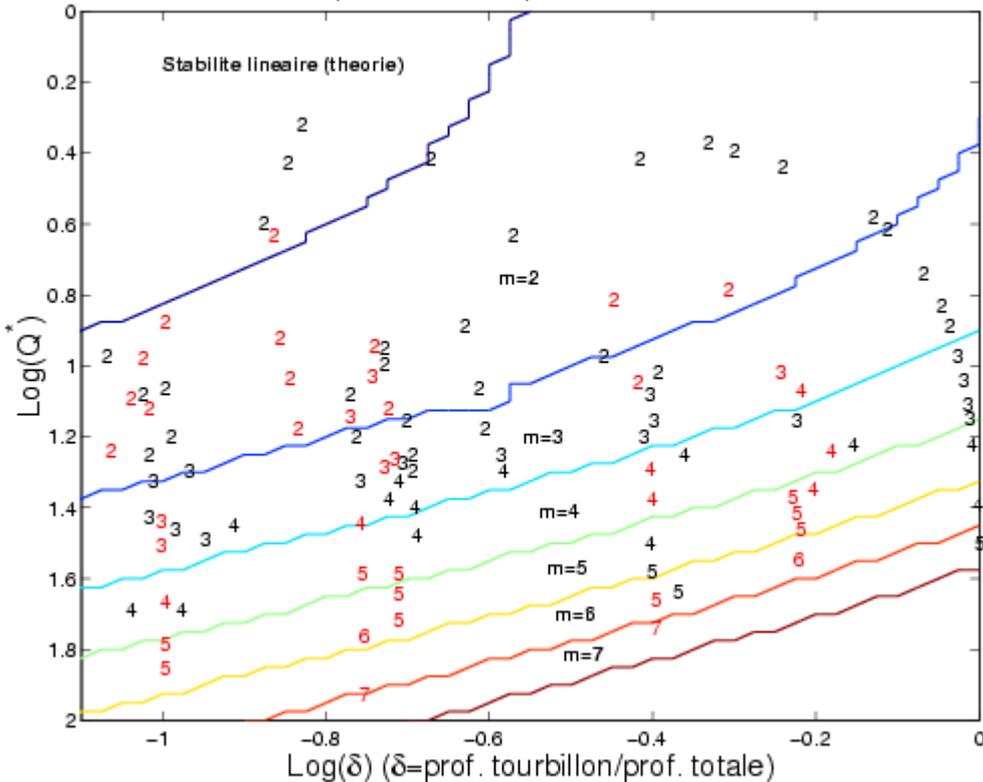


- Instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation à deux couches
 - Expérience de laboratoire
 - Théorie linéaire
 - Bon accord: un pas vers paramétrisation



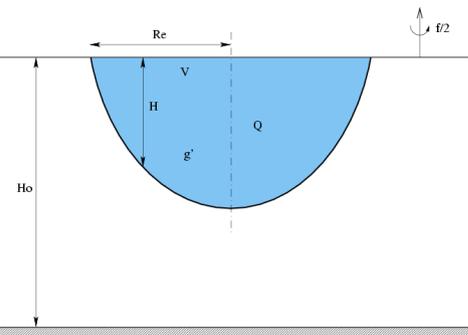
Dynamique tourbillonnaire: instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation

Mode le plus instable prredit et mode observe



- Instabilités d'un tourbillon dans un fluide en rotation à deux couches
 - Expérience de laboratoire
 - Théorie linéaire
 - Bon accord: un pas vers paramétrisation

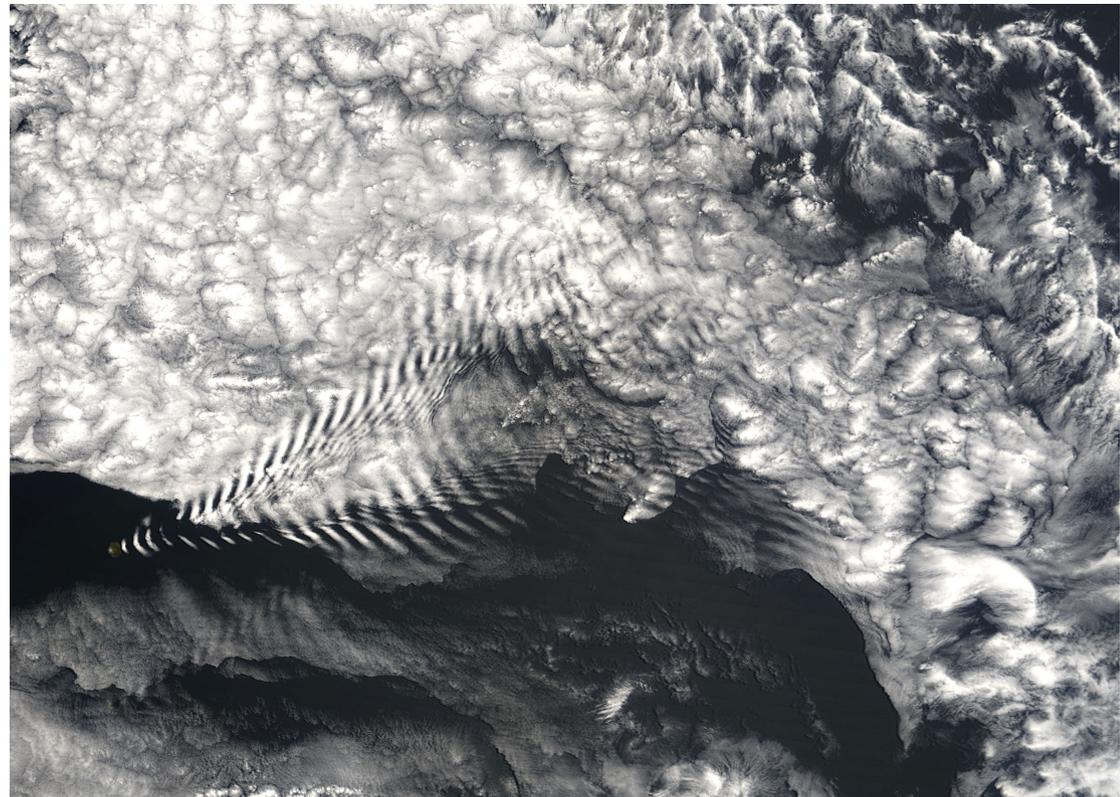
- Perspectives:
 - Etude de l'influence d'un écoulement dans la couche inférieure
 - Lien avec la longévité observée de certains tourbillons océaniques ?



Exemple de sujet de recherche

Ondes internes

- Sillages d'îles, de montagnes, de caps... (atmosphère)
- Sillages de monts sous-marins (océan)

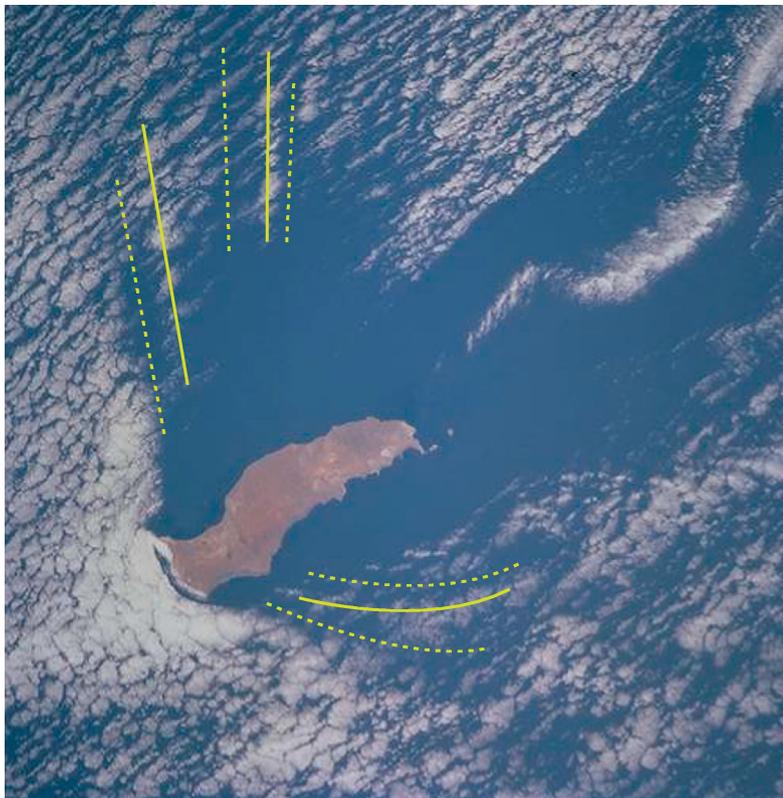


Amsterdam Island, December 2005 (NASA)

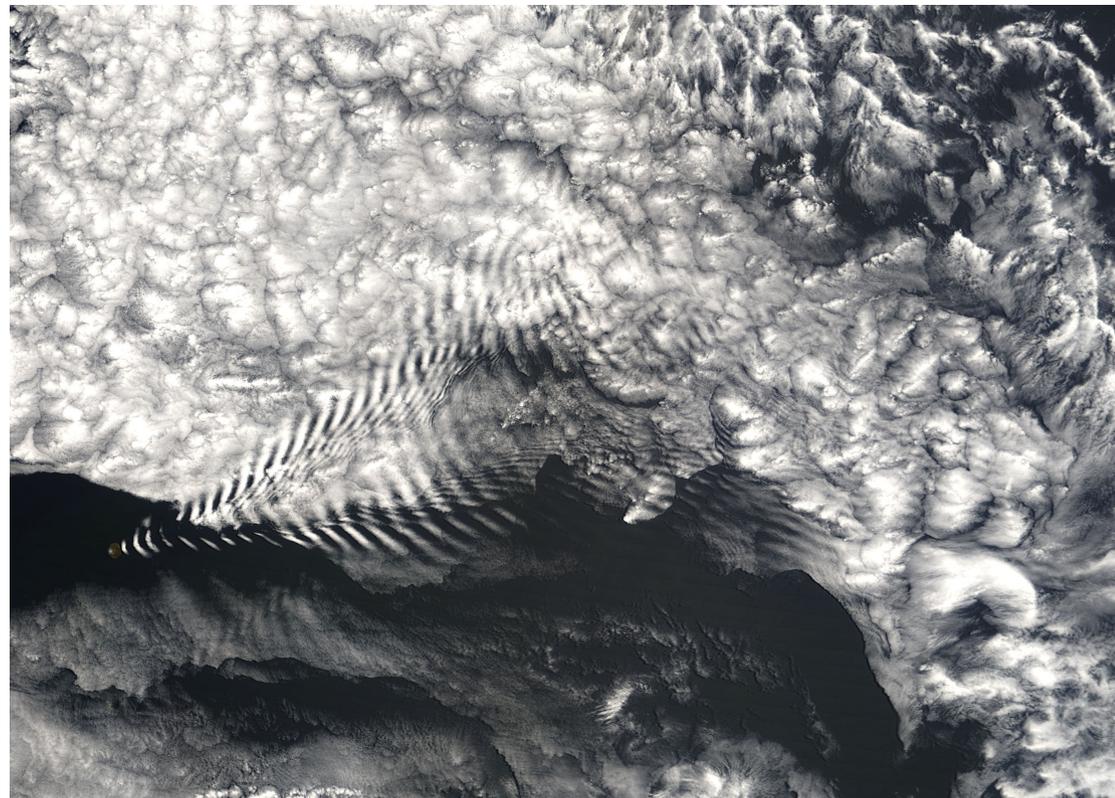
Exemple de sujet de recherche

Ondes internes

- Sillages d'îles, de montagnes, de caps... (atmosphère)
- Sillages de monts sous-marins (océan)



Guadalupe Island, July 2001 (NASA)

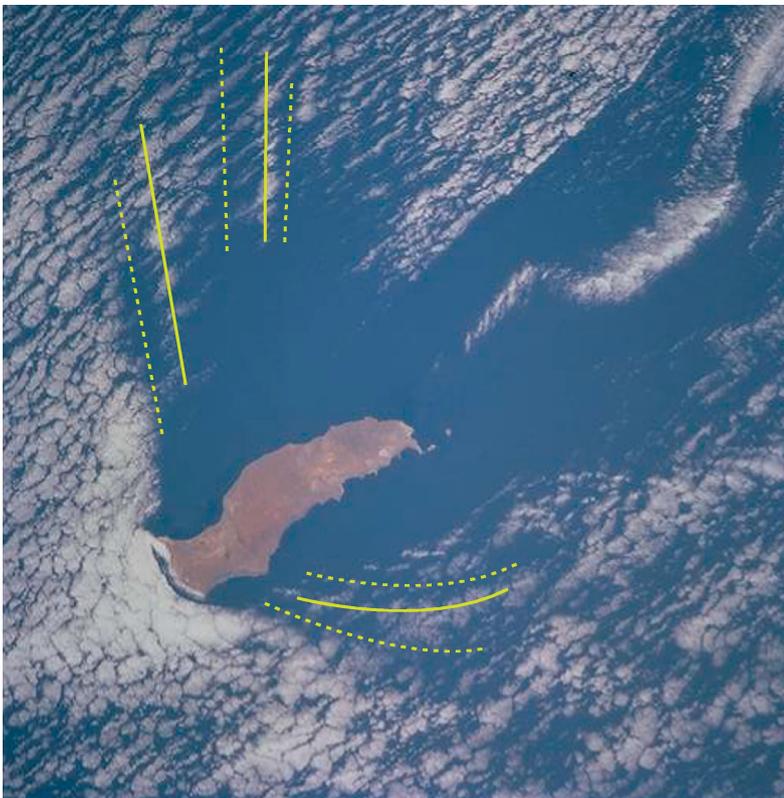


Amsterdam Island, December 2005 (NASA)

Exemple de sujet de recherche

Ondes internes

- Sillages d'îles, de montagnes, de caps... (atmosphère)
- Sillages de monts sous-marins (océan)



Guadalupe Island, July 2001 (NASA)

- Ondes de gravité
- Traînée exercée sur le fluide
- Si taille mont < taille maille dans modèle numérique
--> besoin de paramétrer

Exemple de sujet de recherche

Ondes internes

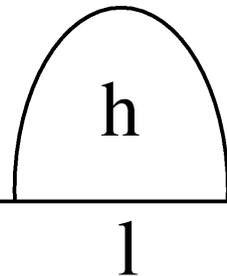
- Une piste pour paramétrer la traînée:
Étude théorique d'Esler, Rump and Johnson (JFM 2007)

H_2
 ρ_2

U

H_1
 ρ_1

U

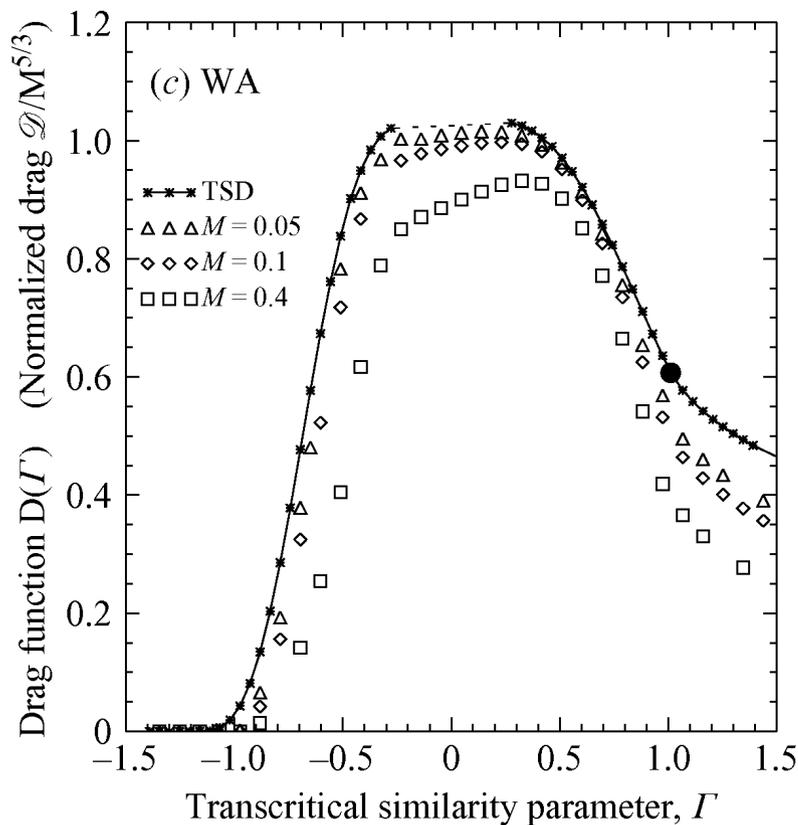


- Sous certaines conditions, écoulement contrôlé par:
 - $M = h/H_1$
 - $F = U/c$

Exemple de sujet de recherche

Ondes internes

- Une piste pour paramétrer la traînée:
Étude théorique d'Esler, Rump and Johnson (JFM 2007)

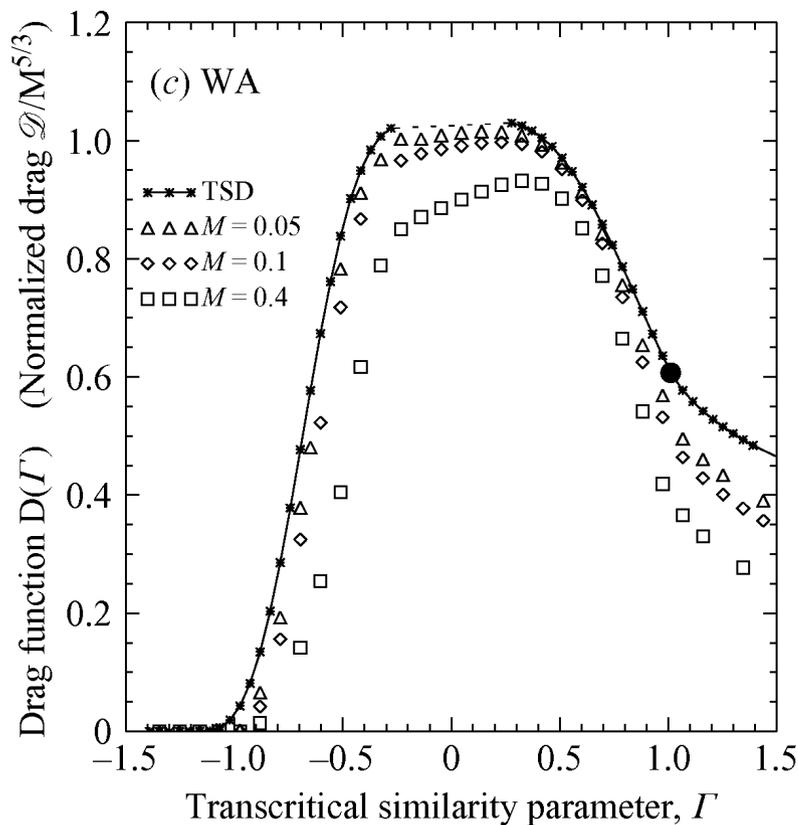


- Sous certaines conditions, écoulement contrôlé par:
 - $M = h/H1$
 - $F = U/c$
- Résultat théorie cas $F \sim 1$:
seul $\Gamma = (F-1)M^{-2/3}$ compte

Exemple de sujet de recherche

Ondes internes

- Une piste pour paramétrer la traînée:
Étude théorique d'Esler, Rump and Johnson (JFM 2007)



- Sous certaines conditions, écoulement contrôlé par:
 - $M = h/H1$
 - $F = U/c$
- Résultat théorie cas $F \sim 1$:
seul $\Gamma = (F-1)M^{-2/3}$ compte
--> Validation en laboratoire
le mois prochain au CNRM

Etude de l'atmosphère et de l'océan: Un apport des mathématiques

OBSERVATION

Référence: réalité

Mais: parcellaire

Connaissance du
phénomène

--> modèle théorique

MODELISATION NUMERIQUE

Diversités des cas
Polyvalence

Mais: taille de la maille

SIMULATION PHYSIQUE

Accès aux petites échelles
Reproduction des
processus physiques

Mais: critères de similitude

Etude de l'atmosphère et de l'océan: Un apport des mathématiques

OBSERVATION

Référence: réalité

Mais: parcellaire

Connaissance du
phénomène

--> modèle théorique

MODELISATION NUMERIQUE

Diversités des cas
Polyvalence

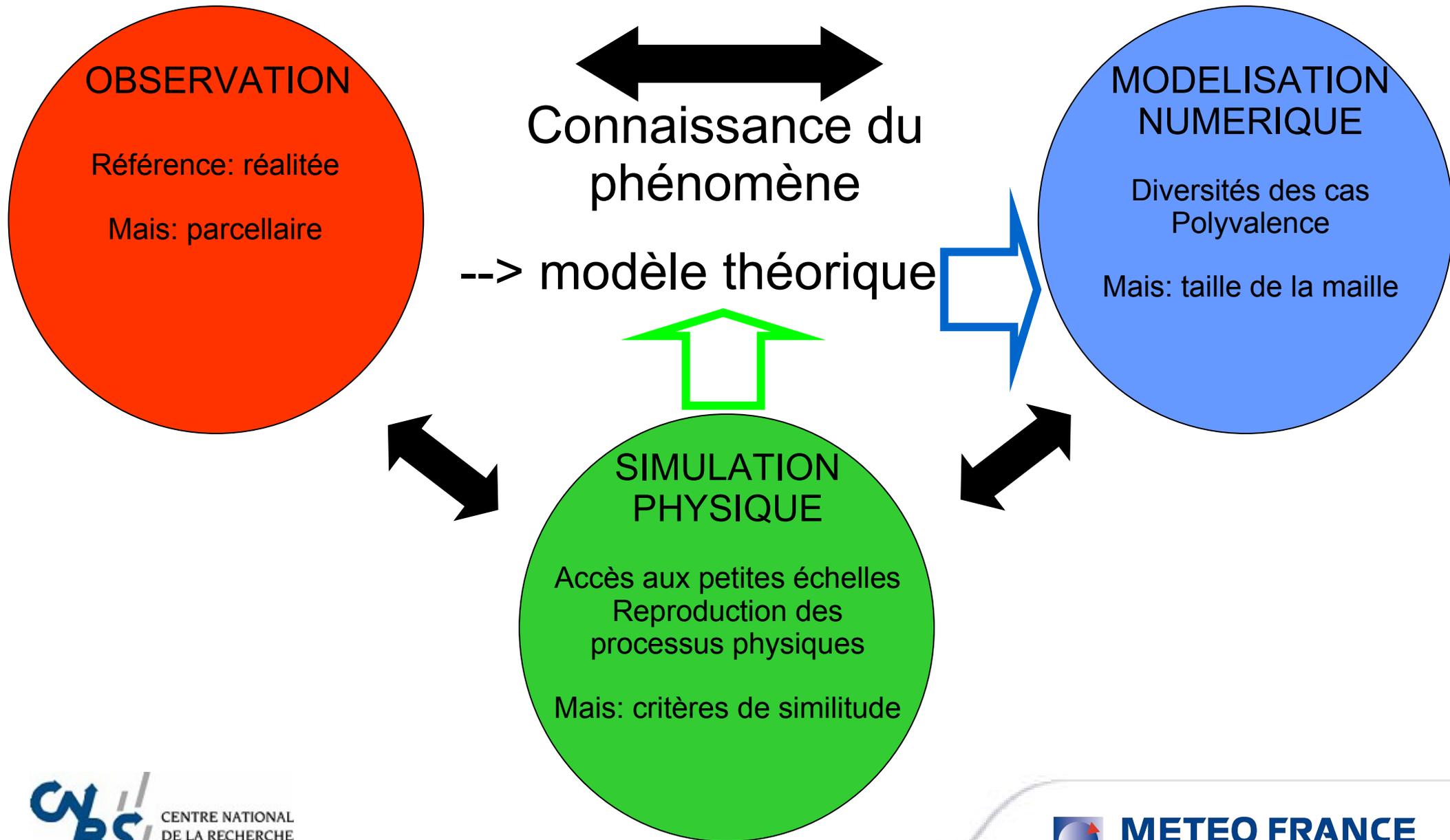
Mais: taille de la maille

SIMULATION PHYSIQUE

Accès aux petites échelles
Reproduction des
processus physiques

Mais: critères de similitude

Etude de l'atmosphère et de l'océan: Un apport des mathématiques



Le laboratoire de simulation physique du CNRM-GAME

Alexandre Paci

Météo-France--CNRS/CNRM-GAME/GMEI/SPEA