

MASTER MARINE SCIENCES

**PARCOURS PHYSIQUE OCÉAN ET CLIMAT**

**semestre 9 PM POC**

**Parcours hauturier**

**0 crédits ECTS**

# Modélisation numérique hauturière

## Présentation

savoir utiliser un modèle océanique (CROCO) et en connaître ses limites.

## Objectifs

Décrire les méthodes numériques, les formulations et les paramétrisations utilisées dans les modèles océaniques. Faire l'anatomie d'un code numérique. Présenter son fonctionnement global et le détail de chacune des routines. Expliquer les choix numériques et leur implémentation.

## Pré-requis nécessaires

M1 Physique Marine ou équivalent (cursus GE)

## Compétences visées

compétences en modélisation numérique de l'océan pour les applications recherche et industrie

## Descriptif

1. Les composantes d'un modèle numérique océanique :

- > Les différents types de modèles numériques
- > Les équations résolues et les approximations physiques (Boussinesq, hydrostatique, etc)
- > Les discrétisations spatiales (grilles horizontales, coordonnées verticales z/sigma/hybrides)
- > La discrétisation temporelle (time-stepping)
- > Les différents schémas d'advection
- > La notion de stabilité et les conditions CFL
- > Les aspects physiques cruciaux à contrôler (mélange diapycnal, convergence etc)
- > Equation d'état
- > Paramétrisations: Mélange vertical, dissipation horizontale, tension de fond
- > Les forçages de surface (observations, modèles atmos., bulk formulation, etc.)

2. Anatomie d'un code (le modèle CROCO):

- > Structure informatique du code
- > Chartflow, noms des variables
- > Fichiers d'entrée et de sortie, Parallélisation

TP numériques:

- > Mise au point, exécution et analyse d'une configuration idéalisée (mont sous-marin, canal périodique)
- > Mise au point, exécution et analyse d'une configuration réaliste (au choix)
- > Introduction au Python et utilisation pour les diagnostics des sorties de modèles

## Bibliographie

John Marshall, Kerry Emanuel, and Alistair Adcroft. *12.950 Atmospheric and Oceanic Modeling, Spring 2004*. (Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare),

Griffies, Stephen M, "Some Ocean Model Fundamentals", In "Ocean Weather Forecasting: An Integrated View of Oceanography", 2006, Springer Netherlands.

Shchepetkin, A. F., & McWilliams, J. C. (2005). The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, 9(4), 347-404.

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CC	Autre nature		100%	

## Session 2 : Contrôle de connaissances

<b>Nature de l'enseignement</b>	<b>Modalité</b>	<b>Nature</b>	<b>Durée (min.)</b>	<b>Coefficient</b>	<b>Remarques</b>
	Autre modalité	Autre nature			oral commun de 40 mn pour toutes les matières

# Théories de la circulation océanique générale et équatoriale

## Présentation

Ce cours traite des processus physiques qui contrôlent l'hydrodynamique de la circulation océanique générale. Une approche GFD permet de généraliser à d'autres cas, les processus physiques étudiés ici, en utilisant des nombres adimensionnels similaires. En effet, nombre de ces processus existent dans l'atmosphère.

This is a course about the physical processes which control the hydrodynamics of the open ocean circulation. A GFD approach allows to export elsewhere the physical processes learned herein if the governing adimensional numbers are in the same range. Indeed many of these processes are also active in the atmosphere.

**5 crédits ECTS**

Volume horaire

Cours Magistral : 28h

Travaux Dirigés : 7h

## Objectifs

A quantitative understanding of the theories aimed at explaining the observations. The limits of these theories. Current research problems

une connaissance quantitative des théories visant à expliquer les observations. Les limites de ces théories. Les problèmes de recherche actuels.

## Pré-requis nécessaires

dynamique des fluides géophysiques  
Geophysical Fluid Dynamics

## Compétences visées

comprendre la circulation générale des océans et son rôle dans la variabilité climatique  
maîtriser les théories fondamentales de la circulation océanique et être capable de les utiliser pour valider les résultats d'un modèle numérique  
understanding the general circulation of the ocean and its role in climate variability  
mastering the basic theories of ocean circulation and being able to use them to validate the results of a numerical model

## Descriptif

1. Questions to be asked and Basic approximations: geostrophy and hydrostatics

### **The ocean as a homogeneous fluid**

2. Wind driven ocean circulation, Sverdrup theory
3. Potential vorticity, Quasi-geostrophy, Western intensification and western boundary currents
4. Rossby waves
5. Nonlinear inertial effects, Barotropic instability

### **The ocean as a stratified fluid**

6. Quasi geostrophy again
7. Modal decomposition, Rossby waves again
8. The spin up of the wind driven ocean circulation and Gill's catastrophe
9. The vertical structure of the wind driven circulation (the ventilated thermocline and Rhines-Young's ideas)
10. Baroclinic instability
11. The thermohaline circulation, The vertical mixing problem, Stommel-Arons's type ideas for the abyssal circulation, The shut down of the circulation.

### **Tropical and Equatorial Dynamics**

- Tropical thermocline ventilation
- Theory of the Equatorial Under Currents circulation
- Equatorial Waves and adjustment
- Tropical ocean-atmosphere coupling : ENSO theories

## Bibliographie

---

ACdV Lecture notes Oceanic Circulation (in French) # [stockage.univ-brest.fr/~acolindv](http://stockage.univ-brest.fr/~acolindv)  
Gill, Atmosphere-Ocean dynamics  
Pedlosky's books (The ocean circulation and his GFD book)  
Holton, Dynamic Meteorology

## Modalités de contrôle des connaissances

---

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CC	Autre nature		50%	
	CT	Ecrit - devoir surveillé	180	50%	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			oral commun de 40 mn pour toutes les matières

# Dynamique océanique de meso échelle

## Présentation

Se former à la dynamique des fluides géophysiques et à la compréhension des mouvements des fluides planétaires, via des théories mathématiques, des exercices d'application, des expériences en laboratoire et éventuellement l'analyse de données à cette compréhension

GFD and physical oceanography course covering the oceanic mesoscale, jets, vortices, their stability and their role in the larger scale circulation as well as for smaller scale features

Use of mathematical theories, exercises, lab experiments and time permitting, data analysis

### 4 crédits ECTS

Volume horaire

Travaux Dirigés : 4h

Travaux Pratiques : 1h

Cours Magistral : 20h

## Objectifs

Connaître la dynamique de la moyenne échelle océanique pour comprendre la turbulence dans les mouvements océaniques et dans les simulations numériques ; applications à la biogéochimie et applications professionnelles

Knowing and understanding the oceanic mesoscale for applications to turbulence, to observations, model output analysis or applications to biogeochemistry

## Pré-requis nécessaires

Connaissances en dynamique des fluides géophysiques (niveau M2)

knowledge of GFD0

## Compétences visées

Comprendre la meso échelle océanique, son rôle dans la circulation générale des océans, dans les flux de chaleur et de sel (ou de traceurs) et son impact sur la biogéochimie (ou la biologie) marine ; être capable d'analyser des situations océaniques (jeux de données ou sorties de modèles) où la meso échelle océanique joue un rôle essentiel

Understanding the oceanic mesoscale, its role in larger and smaller scale dynamics and on biogeochemistry

## Descriptif

Description des mouvements à moyenne échelle dans l'océan – jets, tourbillons ; place de la moyenne échelle dans le spectre des mouvements océaniques et liens avec les autres échelles (grande échelle, sous méso échelle). Importance pour les transferts d'énergie, de chaleur et de traceurs, Instabilité barotrope des écoulements parallèles, critères de stabilité, application déjà un jet triangulaire, transferts d'énergie entre courant moyen et perturbation, critère de phase, développement non linéaire de l'instabilité, équation de Landau

Instabilité barocline des courants parallèles, critères de stabilité, problème de Phillips (développée), problèmes d'Eady et de Charney, transferts d'énergie ; résonance d'ondes de Rossby

Autres instabilités des courants océaniques : instabilité de Kelvin Helmholtz, instabilité inertielle/centrifuge, instabilité symétrique, instabilité agéostrophique anticyclonique.

Dynamique du tourbillon isolée, structure, stationnarité, stabilité ; évolution du tourbillon sur le plan beta ou en présence de déformation ; interactions de tourbillons ; effet de la topographie, lien avec la turbulence.

Effets thermodynamiques des tourbillons : transport de chaleur ou de sel, ventilation atmosphérique, instabilité convective ou double diffusive.

Mesoscale oceanic motions - description

Barotropic and baroclinic instabilities of jets

Other instabilities

Isolated vortex dynamics, stability - vortex interactions

thermodynamical impact of vortices

## Bibliographie

*G Vallis, Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics, Cambridge University Press*

*J C McWilliams, Fundamentals of geophysical fluid dynamics, Cambridge University Press*

*Deux articles de synthèse de X Carton sur les tourbillons océaniques*

## Modalités de contrôle des connaissances

---

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CC	Autre nature		100%	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			oral commun de 40 mn pour toutes les matières

# Dynamique de l'atmosphère

## Présentation

Cet enseignement vise à une compréhension des processus physiques expliquant la structure moyenne de l'atmosphère, en termes de dynamique (circulation des vents) et thermodynamique (température, humidité).

**4 crédits ECTS**

Volume horaire

Cours Magistral : 30h

## Objectifs

La dynamique des enveloppes fluides superficielles des planètes est gouvernée par une multitude de processus physiques dont les échelles spatiales et temporelles s'étendent respectivement du millimètre au millier de kilomètres et de la seconde au millénaire. Moyennées sur une échelle de temps suffisamment longue, les interactions entre les différentes composantes (atmosphère, hydrosphère, cryosphère, lithosphère et biosphère) que constituent ces enveloppes donnent lieu à un état moyen qui caractérise ce que l'on définit comme le Climat. L'objectif du cours est de permettre à l'étudiant d'acquérir les notions de base nécessaires à la compréhension de ce système (en particulier l'atmosphère).

## Pré-requis nécessaires

M1 PM POC ou équivalent

## Compétences visées

A l'issue de ce cours les étudiants devront être capables de résoudre des problèmes simples de transfert radiatif appliqués à la Terre ou autres planètes (Mars, Venus, etc) via des méthodes analytiques ou numériques, et de comprendre l'impact des différents types de forçages (forçage par les tourbillons, forçage orographique, forçage diabatique) sur la circulation moyenne des vents de surface et d'altitude. Ce socle de connaissances permettra à l'étudiant d'appréhender des problèmes plus complexes en lien avec la variabilité de l'atmosphère, de l'interaction de celle-ci avec les autres composantes du système climatique (en particulier l'océan et la glace de mer), ou enfin de la réponse de l'atmosphère à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre.

## Descriptif

L'accent sera mis sur la convection profonde (sèche et humide), le transfert radiatif, l'effet de serre, la circulation générale de l'atmosphère, les conséquences élémentaires de la rotation d'une planète et de la stratification des fluides sur la circulation des vents.

## Bibliographie

Physics of climate, Peixoto and Oort.

Global physical climatology. Hartmann

Principles of planetary climate. Pierrhumbert

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CC	Autre nature		1/3	
	CT	Ecrit - devoir surveillé	180	2/3	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			oral commun de 40 mn pour toutes les matières



# Turbulence océanique

## Présentation

A partir des connaissances sur les instabilités océaniques et sur la méso échelle océanique, ouvrir la connaissance des liens entre tous les mouvements du spectre.  
Démarche double : approche phénoménologique/théorie statistique, approche déterministe

**2 crédits ECTS**

Volume horaire

Cours Magistral : 12h

Travaux Dirigés : 3h

## Objectifs

Ouvrir aux problématiques actuelles de la recherche en océanographie physique avec un fort impact sur la biologie marine

## Pré-requis nécessaires

Connaissance de la dynamique des fluides géophysiques et de la méso échelle océanique (niveau M2)

## Compétences visées

mieux comprendre et mieux interpréter la variabilité physique de l'océan et les interactions non linéaires d'échelles

être capable d'appréhender et de quantifier - par la théorie et la simulation numérique - l'impact des petites échelles océaniques sur la biogéochimie marine et sur les écosystèmes marins

## Descriptif

Importance de la turbulence dans le domaine océanique ; multiplicité des échelles de mouvement et liens entre elles

théorie phénoménologique/statistique de la turbulence 3D – application aux petites échelles (rotation et stratification faibles)

Rotation et stratification dominantes – théorie de la turbulence 2D et géostrophique – transferts d'énergie et d'énstrophie – liens avec les structures physiques

Turbulence en milieu stratifié non tournant – turbulence de surface ou d'interface océaniques

Frontogenèse et filamentogenèse – sous méso échelle, importance des composantes agéostrophiques et des vitesses verticales

## Bibliographie

J C McWilliams. Elements of Geophysical Fluid Dynamics

J C McWilliams articles J Fluid Mech 1984, 1989, 1990a et b, sur la turbulence 2D, sur la turbulence océanique, et sur les structures cohérentes en turbulence

## Modalités de contrôle des connaissances

### Session 1 ou session unique - Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CC	Autre nature		100%	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	Autre modalité	Autre nature			oral commun de 40 mn pour toutes les matières