

MASTER PHYSIQUE

**PARCOURS PHYSIQUE OCÉAN ET CLIMAT**

**semestre 9 Physique POC**

**Spécialité hauturière**

# Circulation océanique générale

## 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.

This course aims at introducing the General Circulation of the Ocean to non specialists, starting from geophysical fluid dynamics. Firstly, we show physical manifestations of large-scale currents, such as gyre flows, the thermohaline circulation (conveyor belt), and inter-basin exchanges. The coupling with the atmosphere is mentioned, in particular for climate applications.

Then the wind and buoyancy currents in a homogeneous ocean are detailed, in particular the Sverdrup and Stommel models. Then the wind induced and density gradient induced currents at basin scale are presented in a stratified ocean.

The last part of the course will focus on the tropical dynamics. First theory of the ventilation of the tropical thermocline will be introduced and linked with the subtropical thermocline ventilation theory (ventilated thermocline). Theory of the Equatorial UnderCurrent (EUC) dynamics will be then exposed, including the different dynamical regimes of the EUC (inertial, wind forced, viscous models). Eventually, theory of the transient dynamics within the equatorial band including equatorial trapped waves and jets, as well as equatorial basin adjustment theory.

## Objectifs

this course is designed for deep ocean dynamics specialists. It details the mechanisms underlying the general circulation of the ocean. In particular, focus is put on the ocean response to various forcings (mechanical, thermodynamical) and on the difference, in that response, at the Equator and at higher latitudes. The objective is to provide a physical basis for the understanding of eddy-resolving numerical simulations of the ocean. The physical tools (potential vorticity diagnostics, energy equations) are provided.

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

mathematical analysis : ODEs, PDEs, real functions of several variables;

physics : fluid mechanics, thermodynamics, 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

ability to identify scientific questions

ability to use these results for scientific projects

ability to validate numerical results with theoretical results

use for problem solving in fluids

contributes to a global approach (holistic approach) to problem solving

use for building numerical algorithms for professional purposes

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

**4 crédits ECTS**

Volume horaire

Cours Magistral : 20h

Travaux Dirigés : 15h

### 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	150	50%	

### Session 2 : Contrôle de connaissances

Nature de l'enseignement	Modalité	Nature	Durée (min.)	Coefficient	Remarques
	CT	Oral	40	100%	oral commun de 40 mn pour toutes les matières

# Circulation méso échelle océanique

## 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

This course aims at introducing Mesoscale Ocean Dynamics to non specialists, starting from geophysical fluid dynamics. Firstly, we show physical manifestations of mesoscale processes, such as geostrophic turbulence, eddies, jet meanders due to instability. A short presentation of submesoscale phenomena is given ; filaments and fronts. It is based on theory, examples, applications, lab experiments and possibly data analysis.

Then the two main geostrophic instabilities are studied : barotropic and baroclinic instabilities. The case upon which these instabilities are presented is strong inertial jet such as western boundary currents (e.g. the Gulf Stream). Linear instability criteria are derived. Exact solutions are provided for specific cases (piecewise constant vorticity profiles, Phillips model, Eady model). Rossby wave resonance is explained from energy equations and vorticity dynamics. Weakly nonlinear instability is presented. Finite amplitude regimes are explained and truncated low-order equations are introduced.

The following chapter deals with ageostrophic dynamics, fronts, filaments and vertical velocities, and vertical shears. The analytics of symmetric, centrifugal and Kelvin Helmholtz instabilities are given.

The following chapter presents vortex dynamics: vortex equilibria, internal structure, steady states, multipolar vortices, vortex stability, vortex interactions and the role of vortices in geophysical turbulence.

Finally, geophysical turbulence is presented (2D turbulence, quasi-geostrophic turbulence, 3D rotating turbulence, 3D isotropic turbulence) from the point of view of statistical (phenomenological) theory and in physical space. The relation with the ocean is shown.

This course is taught in English.

## 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

This course is designed for deep ocean dynamics specialists. It details the mechanisms underlying the mesoscale dynamics. In particular, focus is put on nonlinear dynamics and on flow instability. Then vortex dynamics are presented. The objective is to provide a physical basis for the understanding of eddy-resolving numerical simulations of the ocean. The physical tools (potential vorticity diagnostics, energy equations, energy transfer between mean flow and perturbations) are provided.

## Pré-requis nécessaires

Connaissances en dynamique des fluides géophysiques (niveau M2)

mathematical analysis : ODEs, PDEs, real functions of several variables;

physics : incompressible (homogeneous and stratified, non rotating) fluid mechanics, thermodynamics, geophysical fluid dynamics, internal oceanic waves, classical instability theory

## Compétences visées

Comprendre la méso 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 méso échelle océanique joue un rôle essentiel

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

ability to identify scientific questions

ability to use these results for scientific projects

ability to validate numerical results with theoretical results

use for problem solving in fluids

contributes to a global approach (holistic approach) to problem solving

use for building numerical algorithms for professional purposes

**4 crédits ECTS**

Volume horaire

Travaux Dirigés : 10h

Cours Magistral : 16h

## 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.

-----  
Introduction/ to mesoscale dynamics : vortices and turbulence in the ocean

Barotropic instability of parallel flows

- linear instability criteria
- exact solution with piecewise-constant PV profiles
- energy and PV evolutions
- wave-wave interactions
- weakly nonlinear and finite amplitude evolutions

Baroclinic instability of parallel flows

- linear instability criteria
- exact solution for Phillips and Eady models
- energy and PV evolutions
- wave-wave interactions

Ageostrophic instabilities and dynamics

- vertical velocities, fronts, filaments
- symmetric instability / centrifugal instability
- KH instability

Vortex dynamics

- vortex structure, PV, flow
- vortex stability, monopoles and multipoles
- vortex interactions and role in turbulence

Oceanic Turbulence

- 2D turbulence
- QG turbulence
- 3D stratified and isotropic turbulence

## 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

## 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 : 10h

Travaux Dirigés : 8h

This course is about ocean turbulence. Students will acquire a general knowledge about the turbulent fluids, their properties and the implications for energy cascades in the ocean. The course is taught in English.

### Objectifs

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

On completing this course, students will know the main characteristics of turbulent cascades (laws, scalings) in typical idealized turbulent regimes (3d/2d turbulence, stratified turbulence, QG/SQG turbulence) and learn how to characterize them in realistic flows.

### Pré-requis nécessaires

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

Geophysical fluid dynamics

### 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

Analyser et résoudre un problème de physique marine

Savoir analyser un problème de physique marine;

Observer et simplifier la théorie en regard des processus

Savoir établir un plan de mesures au regard des objectifs

Savoir obtenir des ordres de grandeur des phénomènes pour les analyser, les classer ou pour préparer une modélisation;

Utiliser les jeux d'équations simplifiées pour minimiser l'effort de solution des problèmes océanographiques, géophysiques ou hydrodynamique navals

Identifier, sélectionner et analyser avec esprit critique diverses ressources spécialisées pour documenter un sujet et synthétiser ces données en vue de leur exploitation

identifier les informations dans la littérature scientifique et extraire le questionnement nouveau

avoir une culture des ordres de grandeur du système océan-atmosphère-climat pour qualifier ou analyser des observations

developper des calculs nouveaux a partir de calculs existants pour résoudre un problème original

Analyser et synthétiser des données en vue de leur exploitation

appliquer des méthodes d'analyse spectrale ou statistique

Développer une argumentation avec esprit critique.

Après identification des champs professionnels, acquisition des connaissances théoriques et développement des compétences pratiques (mesures de terrain, laboratoire) et numériques pour pouvoir traiter les projets des laboratoires ou des entreprises

Communiquer par oral et par écrit, de façon claire et non-ambiguë, dans au moins une langue étrangère

prendre des notes et communiquer a tous les stades d'un projet

présenter ses résultats dans des ouvrages ou journaux scientifiques selon les criteres des publications scientifiques internationales (expression en anglais)

Identifier le processus de production, de diffusion et de valorisation des savoirs

Savoir faire un état de l'art bibliographique; savoir classer les questions scientifiques et les résultats par typologie et ordre d'importance pour rédiger rapports et publications; avoir acquis l'expertise sur la structure et l'organisation des rapports et articles scientifiques; savoir produire des figures scientifiques en fonction du contenu d'information souhaite

## 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

Frontogénèse et filamentogénèse – sous méso échelle, importance des composantes agéostrophiques et des vitesses verticales

Topics covered in courses :

Concept of turbulence

Properties of turbulence

3D turbulence: The Kolmogorov theory

2D turbulence

Geostrophic turbulence

Surface quasi-geostrophic turbulence

Stratified turbulence

Realistic Ocean turbulence

Practical activities :

*Activity 1 : Energy/enstrophy cascades in 2d turbulence [fluid2d]*

*Activity 2 : Energy cascades in realistic simulations*

Evaluation :

*The evaluation is based on a report, which includes a numerical activity (analysis of ocean data) and summary of research articles*

## 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

# Dynamique atmosphérique

## 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 : 24h

Travaux Dirigés : 8h

**This course is an introduction to the dynamics of the atmosphere. Because the atmospheric circulation is a coupled radiation-hydrodynamics problem, this course will focus on both radiative transfer and tropical and mid-latitudes dynamics. English friendly course**

## 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).

**The objective is to understand the fundamental physical principles that govern the motion of the atmosphere. Students will explore the dynamics of the atmosphere and the mathematical laws governing the large-scale circulation and climate. Students will learn aspects such as the origin of the greenhouse effect and the physical mechanism behind the origin of the mid-latitude surface westerlies.**

## Pré-requis nécessaires

M1 PM POC ou équivalent

**Vector calculus, basics of fluid mechanics, geophysical fluid dynamics, and applied mathematics.**

## 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.

Identifier, sélectionner et analyser avec esprit critique diverses ressources spécialisées pour documenter un sujet et synthétiser ces données en vue de leur exploitation

récolter des données terrain ou en laboratoire et connaître les méthodologies et instruments de mesures

avoir une culture des ordres de grandeur du système océan-atmosphère-climat pour qualifier ou analyser des observations

developper des calculs nouveaux a partir de calculs existants pour résoudre un problème original

Identifier les usages numériques et les impacts de leur évolution sur le ou les domaines concernés par la mention

identifier les outils et ressources numériques pour le problem solving et savoir valider les résultats

identifier les outils numériques dans l'obtention d'information et dans la diffusion de connaissances

Mobiliser des savoirs hautement spécialisés, dont certains sont à l'avant-garde du savoir dans un domaine de travail ou d'études comme base d'une pensée originale.

Acquérir des connaissances thématiques spécialises en physique marine

Appliquer les théories et outils analytiques et numériques sur des problèmes thématiques puis transverses

Résoudre des problèmes pour développer de nouveaux savoirs et de nouvelles procédures et intégrer les savoirs de différents domaines

Associer à la connaissance thématique, la pratique de problem solving

Conduire une analyse réflexive et distanciée prenant en compte les enjeux, les problématiques et la complexité d'une situation ou question scientifique afin de proposer des solutions adaptées et/ou innovantes avec les outils appropriés

Savoir classer les questions scientifiques et les résultats par typologie et ordre d'importance

Avoir acquis l'expertise sur la structure et l'organisation des rapports et articles scientifiques



Savoir produire des figures scientifiques en fonction du contenu d'information souhaite

Analyser et résoudre un problème de physique marine à partir d'informations fragmentaires ou de sources d'information dispersées ; identifier les processus physiques et les quantifier

Quantifier les éléments individuels et structurels du système

## 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.

**This course is divided into 3 parts. Lectures notes (180 pages, written in English) are available for this course.**

### Chap1. Temperature and humidity in the Earth's atmosphere

- Description of the mean state of the atmosphere
- Thermodynamic fundamentals, potential temperature
- Thermodynamics of water vapour
- Convection : lifted condensation level, dry and moist adiabatic lapse rates

### Chap2. Radiative transfer

- Radiation laws (Planck, Stefan-Boltzmann)
- Scattering
- Phenomenology of absorption of radiation, Beer-Lambert law, optical thickness
- Spectral lines, Doppler and pressure broadening of spectral lines
- Observed Earth's energy balance, emission temperature
- Elementary models of the greenhouse effect
- Radiative transfer equations : Schwarzschild equations without scattering
- Emission level and the mechanism of CO<sub>2</sub> induced warming
- The gray gas approximation
- The height of the tropopause

### Chap3. Dynamics of the zonally-averaged circulation

- Geostrophic and thermal wind balance in pressure coordinates
- Angular momentum (zonal mean conservation, transport)
- Anelastic approximation
- Hadley Cell dynamics (The Held and Hou model)
- Eddy effects on the Hadley Cell
- Hide's theorem and the importance of viscosity
- Mid-latitudes dynamics : the eddy-driven Ferrel cell
- The mechanism of jet production at mid-latitudes
- Rossby waves and momentum flux
- Wave activity and wave-mean flow interaction
- The Eliassen-Palm flux
- Transformed Eulerian Mean (TEM) theory

## 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		50%	
	CT	Ecrit - devoir surveillé	180	50%	

## 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

# Modélisation numérique hauturière

## Présentation

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

This course is about ocean numerical modelling. Students will acquire a general knowledge about the different numerical methods used in ocean modelling. They will learn to design a numerical simulation and run it with an existing ocean model (CROCO). The course is taught in English.

## 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.

On completing this course, students will be able to setup an idealized or a realistic ocean configuration, run a numerical ocean model (CROCO) and to analyse the outputs.

## Pré-requis nécessaires

M1 Physique Marine ou équivalent (cursus GE)  
Geophysical fluid dynamics (Fluids 1 and Fluids 2)

## Compétences visées

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

Appliquer les règles des mathématiques appliquées et de l'analyse numérique pour réaliser un code numérique

savoir planifier, coder, tester et appliquer un algorithme scientifique

connaître les différentes méthodes de discrétisation numérique et les transformées de Fourier

Analyser et résoudre un problème de physique marine

Savoir analyser un problème de physique marine;

Observer et simplifier la théorie en regard des processus

Savoir obtenir des ordres de grandeur des phénomènes pour les analyser, les classer ou pour préparer une modélisation;

Utiliser les jeux d'équations simplifiées pour minimiser l'effort de solution des problèmes océanographiques, géophysiques ou hydrodynamique navals

Analyser et synthétiser des données en vue de leur exploitation

appliquer des méthodes d'interpolation

mettre en forme les jeux de données ou les résultats de simulations numériques pour les transmettre à une communauté

Communiquer par oral et par écrit, de façon claire et non-ambiguë, dans au moins une langue étrangère

prendre des notes et communiquer à tous les stades d'un projet

présenter ses résultats dans des ouvrages ou journaux scientifiques selon les critères des publications scientifiques internationales (expression en anglais)

## 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 discrétisation 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

### 4 crédits ECTS

Volume horaire

Travaux Dirigés : 12h

Cours Magistral : 8h

Travaux Pratiques : 10h

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

#### Topics covered in courses :

Overview of ocean modelling

Equations of motions

Horizontal Discretization

Numerical schemes

Vertical coordinates

Subgrid-scale parameterizations

Boundary Forcings

Diagnostics and validation

Presentation of the model CROCO

Practical activities :

*Activity 1 : Compile and run an ocean model [CROCO]*

*Activity 2 : Dynamics of an idealized oceanic gyre*

*Activity 3 : Impacts of numerics*

*Activity 4 : Impact of topography*

*Activity 5 : Design a realistic simulation*

*Activity 6 : Analyze a realistic simulations*

Evaluation :

*The evaluation is based on a numerical project, which consists in setting up a realistic configuration of a region of the ocean chosen by each student, run the experiment and perform some analysis and validation.*

## 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

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