

MASTER PHYSIQUE

## PARCOURS PHYSIQUE OCÉAN ET CLIMAT

### semestre 9 Physique POC

#### SPÉCIALITÉ HAUTURIÈRE

## 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 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

#### 4 crédits ECTS

Volume horaire

Travaux Dirigés : 10h

Cours Magistral : 16h

-----

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

## 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 |