**Master STePE – M1**

**UE Fonctionnement de la Terre**

Cette unité d’enseignement de 3 ECTS est destinée à donner une compréhension générale et partagée du fonctionnement de la Terre à l’ensemble des étudiants de la mention de master STePE. Elle est construite autour d’une double approche du système Terre, à la fois phénoménologique (description du système et de ses composantes) et quantitative (autour des lois de conservation et de calculs d’ordre de grandeurs). L’UE est organisée autour des lois de conservation qui s’appliquent aux différents milieux de la Terre (océans, atmosphère, Terre interne, interfaces).

Ce document tient lieu de contrat pédagogique et présente successivement les prérequis de l’UE, les acquis d’apprentissage visés, les méthodes d’évaluation mises en place et le déroulé des séances décrivant les activités proposées.

## Pré-requis nécessaires pour aborder l’UE (abordés lors des séances de remise à niveau en maths facultatives)

*Listez les savoirs et savoir-faire nécessaires pour aborder l’UE*

* Dériver et intégrer une fonction (niveau terminale)
* Restituer le sens et la forme de l’opérateur gradient, d’un vecteur
* Savoir utiliser les vecteurs et l’opérateur gradient
* Savoir projeter une équation vectorielle dans un repère cartésien

## Acquis d’Apprentissages Visés

*Listez les objectifs de l’UE en termes d’acquis d’apprentissage visés à l’aide de verbes d’actions (données et exemples en annexe)*

À l’issue de cette unité d’enseignement, les étudiant(e)s du Master 1 STePE seront capables de :

* Nommer les composantes du système Terre et restituer leurs principales caractéristiques (composition, masse volumique, viscosité, stabilité)
* Restituer les principales caractéristiques des circulations atmosphériques océaniques et de leur rôle dans la redistribution de l’énergie du système Terre
* Restituer des connaissances de base sur la modélisation du système climatique
* Expliquer :
  + la démarche (et non les démonstrations mathématiques) permettant d'obtenir les équations de conservation de la masse (« continuité ») et de la quantité de mouvement (« Navier Stokes »)
  + le sens physique des différents termes de ces deux équations.
* Calculer les ordres de grandeurs des termes de ces deux équations à partir d’une situation posée en langage naturel (de tous les jours) grâce à des nombres sans dimension (Reynolds, Peclet, …).
* Mettre en équations, à partir d'un énoncé en langage naturel ou d’un graphique, un problème du type :
  + bilan de matière grâce à un modèle en boite (avec des processus de cinétique du premier ordre)
  + advection-diffusion de matière à une ou deux dimensions (avec des processus paramétrés grâce à des coefficients de type *Kz*)
* Résoudre des équations différentielles du 1er et du 2nd ordre à coefficients constants en suivant une fiche "algorithmique" pour les étapes mathématiques et en utilisant un énoncé en langage naturel pour obtenir les conditions initiales et les conditions aux limites
* Utiliser un modèle en boite pour résoudre un problème simple
* Faire les applications numériques nécessaires aux points ci-dessus avec calculatrice et sans calculatrice (ordres de grandeur)
* Critiquer les hypothèses choisies et les résultats obtenus : phénomène manquant / négligé indûment / pris en compte indûment

## Evaluation

*Décrivez les modalités d’évaluation. Distinguez les parties formatives (ex. auto évaluation) des parties normatives (partiel, DM, examen, rapport, oral, ..)*

L’évaluation de l’UE comporte une évaluation normative permettant de donner la note finale et composée de :

* deux contrôles continus de 30’ sans documents portant sur les deux équations de conservation (masse et quantité de mouvement) et comptant pour 30% de la note
* un contrôle continu de 2h sans documents demandant de :
  + Restituer des notions et des applications vues en cours
  + Faire des applications directes des notions vues en cours
  + Reproduire une application vue en TD
  + Traiter un exercice nouveau à partir des notions et des applications vues en cours et en TD.

## Dispositifs et activités proposés

*Décrivez ici l’approche choisie pour atteindre les acquis visés (ex. CM/TD/TP, projets, classe inversée, apprentissage par problème, e-learning, …). Ensuite décrivez les différentes séances/étapes selon les modalités choisies.*

L’UE est composée à part environ égales de cours et de travaux dirigés pour appliquer les notions vues en cours. Les diapositives de cours et les sujets de TD sont disponibles sous format numérique pour les étudiants avant le cours. En TD, le travail se fait en petits groupes de 3-5 étudiants. Les corrigés des exercices sont donnés à la demande par mail aux étudiants pouvant montrer qu’ils ont cherché l’exercice.

Les séances (3h) se répartissent en une séance de cours introductive sur le système Terre, un cours/TD sur les modèles en boite et trois paquets de deux séances (un cours et un TD) construits autour de la conservation de la masse (advection-diffusion), de la conservation de la quantité de mouvement (Navier Stokes), et des ondes sismiques (option selon les années).

Séance 1 : Cours introductif (Philippe Bousquet, 6 Septembre)

Description succincte des différentes composantes du système Terre, notions de forçage et de rétroaction. Au travers de quatre périodes clefs de l’histoire de la Terre, illustration des acteurs et processus clefs du système climatique en finissant sur l’actuel. Description des processus de transport et de transferts, introduction des lois de conservation, de leurs termes et des nombres sans dimension permettant de les simplifier selon la situation.

Séance 2 : Cours advection-diffusion (Jean-Claude Dutay, 13 Septembre)

Introduction à l’équation d’advection-diffusion, cas stationnaires et instationnaires, temps caractéristiques, Exemples.

Séance 3 : TD advection-diffusion (Jean-Claude Dutay, Juliette Brochet, 20 Septembre)

Exercices d’application sur l’équation d’advection-diffusion

Séance 4 : Cours modélisation (Ji Woong Yang, 27 Septembre)

Introduction à la modélisation du système Terre.

Pas de séance le 4/10 (stages de terrain)

Séance 5 : Cours/TD Modèles en boites (Ji Woong Yang, Juliette Brochet, 11 Octobre)

Exercices d’application sur les modèles en boite

Séance 4 : Cours Navier-Stokes (Philippe Bousquet, 18 octobre)

Ce cours est divisé en deux parties :

* Pourquoi ça bouge : explication phénoménologique des circulations atmosphériques et océaniques en réponse au déséquilibre radiatif régional de la Terre.
* Comment ça bouge ? A partir du postulat fondamental de la dynamique, expression des différentes forces et accélération en présence pour les fluides, cas de l’équilibre géostrophique. Généralisation : description des étapes pour établir l’équation de Navier Stokes pour les fluides, tenseur des contraintes, lois de comportement, cas des solides.

Séance 5 : TD Navier-Stokes (Philippe Bousquet, Juliette Brochet, 25 Octobre)

Résolution d’exercices utilisant l’équation de Navier Stokes et concernant les différents milieux (eau, air, manteau). Un ensemble complet d’exercices est proposé aux étudiants en TD et à la maison.

Séance 8 : Séance de restitution d’exercices types (Philippe Bousquet, Ji Woong Yang, Juliette Brochet, 8 Novembre) A l’issu de la 7e séance, des exercices du type de ceux demandés à l’examen sont distribués aux étudiants qui doivent en chercher au moins un par eux-mêmes pendant la semaine (en groupe ou individuellement). La 8e séance est consacrée à la restitution du travail fait par les étudiants qui proposent une correction au tableau sous la supervision de l’enseignant de TD.

## Bibliographie

* *Géochimie océanique*, M. Roy-Barman, C. Jeandel, Collec. Sc. de la Terre et de l’Univers, Vuibert eds. 978-2311003543, 2011
* *Fondamentaux de météorologie,* S. Malardel, Cépaduès ed., 2005, 726p. ISBN : 2854286316
* *Physique et chimie de l’atmosphère, R.* Delmas, G. Mégie , V. Peuch, Belin ed., 2005, 640p. ISBN : 2-7011-3700-4
* *Introduction à la climatologie*, André Hufty De Boeck Université, 2001, 576pp
* *Atmospheric chemistry and physics, From air pollution to climate change*, J.H. Seinfeld et S.N. Pandis, Wiley-Interscience ed., 1998, 1326pp.
* Shearer, P.M. (1999): *Introduction to seismology*, 260 pp., Cambridge University Press, Cambridge, UK, ISBN: 0-521-66953-7.
* Dahlen, F.A., and J. Tromp (1998): *Theoretical global Seismology*, 1025 pp., Princeton University Press, Princeton (N.J.), ISBN: 0-691-00124-3.
* Henry, G. (1997): La sismique réflexion: principes et développements. Paris, Editions Technip. ISBN: 2-7108-0725-4
* Aristaghes, C and Aristaghes, P. (1985): Théories de la houle. Centre d’Etudes Techniques Maritimes et Fluviales, Notice PM N° 85.1.
* Lott, F. and B. Legras: Dynamique de l’atmosphère et météorologie, http://www.lmd.jussieu.fr/~flott/M2/2012/cours5.pdf

## Annexe : Taxonomie des compétences de Bloom





