

Master PSL – Géosciences

Sciences de la Terre et des planètes, environnement



Description des modules - M1 & M2

2020-2021

Master Géosciences
Sciences de la Terre, Planète, Environnement
(sous réserve de modifications)

Nom du module	Responsable	M1	M2
Stages Terrain (obligatoires)			
Stage océanographie et géophysique marine (navire TETHYS-II, flotte océanographique française), géodésie	M. Delescluse		
Stage terrain de rentrée en France			
Stage de recherche à l'étranger (5 mois)			
Stage de recherche en laboratoire (5 mois)			
Méthodes (Obligatoires)			
Géostatistiques	C. De Fouquet		
Rayonnement et Télédétection	J.-P. Duvel		
Méthodes numériques	N. Rochetin		
Méthodes inverses	R. Jolivet		
Méthodes statistiques pour les grands jeux de données (apprentissage artificiel)	C. Azencott		
Pratique de la modélisation géophysique	J.-A. Olive		
Systèmes dynamiques non linéaires	G. Lapeyre		
Projet numérique de géosciences	P. Meunier		
Océan/Atmosphère			
Changement climatique	J.-L. Dufresne		
Composition et climat des atmosphères planétaires	F. Ravetta		
Couplage Soleil-Terre	C. Briand		
Dynamique des fluides géophysiques	V. Zeitlin		
Météorologie dynamique	C. Muller		
Océanographie dynamique	S. Speich		
Couplage atmosphère océan de l'échelle saisonnière à décennale	A. Giannini		
Interfaces			
Contaminants organiques dans l'environnement	E. Guigon		
Cycles biogéochimiques et couplages	L. Bopp		
Géomorphologie	P. Meunier		
Hydrologie/Hydrogéologie	J. Fortin		
Ecosystèmes terrestres et changements globaux - approches théoriques et expérimentales	F. Habets, S. Abiven		
Cryosphère	S. Morin		
Modélisation numérique des ressources en eau	A. Rivière		
Paléoclimatologie	D.-D. Rousseau		
Planétologie: intérieur, surface, atmosphère	A. Spiga		
Défis actuels en biogéochimie terrestre - les interactions sol-plante	S. Abiven		
Processus des grands changements environnementaux planétaires	N. Coltice		
Terre Solide			
Mécanique de la fracturation et de la rupture sismique	A. Schubnel		
Déformations récentes de la Terre et changements climatiques	L. Fleitout		
Sismotectonique	R. Jolivet		
Géomatériaux, développement durable	G. Calas		
Géodésie : théorie et applications	E. Calais		
Ressources minérales non carbonées	L. Rimbault		
Géologie et Géophysique marine	J. Ecartin		
Grand ensembles géologiques	C. Mehl		
Imagerie géophysique	M. Delescluse		
SOCIETE			
Géopolitique de l'environnement	M. Reghezza-Zitt		
Géostructures et aménagement du territoire	J.-A. Fleurisson		
Savoirs et politiques de la Terre, XVIe-XXIe siècles - Éléments d'histoire, philosophie et sociologie des sciences de la Terre	S. Dutreuil		
Impacts environnementaux et sociétaux de grands projets	J. Oosterban		
Risques et catastrophes	F. Benitez		
Risques spatiaux et impacts sociétaux	F. Deleflie		

Modules proposés en Master 1 et en Master 2 (sous réserve de modifications)

Modules proposés en Master 1 et en Master 2 (sous réserve de modifications)	1
1. Modules obligatoires en M1	2
2. Modules obligatoires en M2	8
3. Océan Atmosphère	16
4. Interfaces	23
5. Terre solide	32
6. Sociétés	42

1. Modules obligatoires en M1

Modules obligatoires	Stage terrain : Océanographie, géodésie, géologie, atmosphère		
ENS, MINES	E. Calais, M. Delescluse, C. Mehl, S. Speich		
3 ECTS +6 DENS	14 jours	Terrain	M1
Prérequis			
<p>Stage de mesure océanographique depuis Villefranche sur mer avec des applications en imagerie sismique, en océanographie physique et en météorologie marine. Poursuite du stage sur des applications géodésiques et géologiques, imagerie de surface dans l'arrière-pays.</p> <p>Les travaux pratiques en mer sont réalisés à bord du N/O Tethys II, navire côtier de la flotte océanographique française. Il s'agit de la mise en œuvre d'un dispositif d'acquisition de sismique marine. Les données acquises sont intégrées dans le schéma régional du bassin Liguro-Provençal. En parallèle les étudiants mesurent à l'aide d'une sonde CTD des propriétés physiques et biologiques de la colonne d'eau telles que la température, la salinité, concentration d'oxygène et de chlorophylle. Ces données sont analysées en salle dans le schéma du courant Ligure.</p> <p>La partie « terrestre » du stage a pour but de déterminer, à partir de mesures géophysiques de terrain, la profondeur du Moho depuis la côte des Alpes Maritimes jusqu'au massif cristallin externe du Mercantour. L'épaisseur crustale dans cette région est un paramètre géodynamique fondamental en relation avec l'histoire géologique de la transition collision-extension dans les Alpes du sud, sujet déjà abordé en mer.</p>			
Modalités d'évaluation : rapports			
Mots clés : océanographie, géodésie, géologie, atmosphère			

Modules obligatoires	Stage de recherche à l'étranger <i>Internship of research initiation</i>		
30 ECTS	5 mois	Labo étranger	M1
Prérequis:			
Stage individuel d'initiation à la recherche dans un laboratoire à l'étranger. Exposé et rapport de stage. <i>Individual internship of research initiation in a laboratory abroad. Presentation and internship report.</i>			
Modalités d'évaluation: mémoire et soutenance orale			
Recherche			

<u>Modules obligatoires</u>	Géostatistique		
MINES	C. De Fouquet (MINES)		
3 ECTS	30h	cours hebdomadaire	M1
Prérequis : probabilités			
<p>Pour de très nombreux phénomènes étudiés en géosciences, la présence de corrélation spatiale rend les statistiques usuelles inappropriées. Le cours présente les méthodes pour passer des données à la cartographie des variables : analyse exploratoire et variographique pour comprendre la structure spatiale et la quantifier, notion de "support", estimation linéaire optimale (krigeage) et conséquences de l'erreur d'estimation.</p> <p>Ce cours se structure en cours magistraux, et TD (exercices) ou TP informatiques.</p> <p>Contenu du module (présentation des grands thèmes avec nom des intervenant si connus/ noter les extérieurs PSL)</p> <p>Présenter les méthodes d'estimation et montrer l'importance de leur compréhension, ainsi que de l'analyse exploratoire des données. Sensibilisation aux dangers de l'utilisation aveugle de logiciels, pouvant conduire à des résultats absurdes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • critères de qualité d'une carte (concentrations ou densité, cote ou profondeur d'un horizon géologique...); l'application des statistiques en "rapportage environnemental" est-elle toujours sensée ? • de quoi a-t-on besoin pour l'estimation linéaire ? • variogramme, variance d'estimation, krigeage • modélisation multivariable : covariogramme, cokrigeage et autres estimations multivariables • le support et ses conséquences • conséquences de l'incertitude d'estimation, introduction à l'estimation non-linéaire et aux simulations. • exemples : présentation de cas d'études (qualité de l'air, pollution des sols, cours d'eau et nappes); réflexions sur la réglementation environnementale. 			
Evaluation : examen ou projet			
Mots clés : variabilité spatiale, variogramme, spatialisation, estimation.			

<u>Modules obligatoires</u>	Méthodes inverses		
ENS, OBS	R. Jolivet (ENS)		
3 ECTS	30h	cours/TD	M1
Prérequis: Mathématiques de base (algèbre linéaire, analyse) – Informatique (l'étudiant doit être « à l'aise » avec le langage informatique moderne de son choix)			
<p>Les problèmes inverses sont omniprésents en Sciences de la planète Terre. L'analyse de jeux de données et la quantification d'un phénomène physique requiert l'ajustement ou l'exploration d'un jeu de paramètres en fonction des incertitudes de mesure et de prédiction. La modélisation des systèmes physiques nécessite l'optimisation d'un jeu de forces, déplacements, flux ou autres potentiels chimiques ou électriques par la résolution d'un système d'équation parfois complexe. De solides notions sur la résolution de problèmes inverses permettront aux étudiants d'aborder concrètement un nombre de problèmes trop souvent éludés. Ce cours propose une base théorique sur les concepts de donnée, de modèle, d'incertitude ainsi que sur les méthodes d'exploration Bayésienne, d'optimisation (méthodes de gradient, recuit simulé...) et d'assimilation de données (15h). Une large partie du module (15h) sera réalisée lors de travaux dirigés basés sur des exemples concrets (sismologie, climatologie, météorologie spatiale...) visant à l'implémentation et l'utilisation par les étudiants de différentes techniques d'inversion.</p> <p><i>Inverse problems are nowadays a fundamental aspect of the exploration of the physical properties of the Earth. The analysis of any data set and the quantification of a physical behavior requires the optimization or exploration of a set of parameters given measurement and prediction uncertainties. The modeling of physical systems requires the optimization of a set of forces, displacements, fluxes or chemical and electrical potentials through the resolution of sets of complex equations. Solid knowledge on inverse problems theory will allow students to dive deeply into too often eluded issues in Earth sciences. This class will explore concepts of data, models and uncertainties from a theoretical point of view and present methods including Bayesian techniques, optimization tools (gradient-based methods, simulated annealing...) and data assimilation (15h). A large part of the class will be dedicated to practicals based on real examples in seismology, climate science and space meteorology, during which students will implement and experience various inversion techniques.</i></p>			
Modalités d'évaluation: examen final et comptes rendus de TD			
Mots clés : problèmes inverses, optimisation, bayésien, assimilation			

Modules obligatoires	Méthodes numériques <i>Numerical methods</i>		
ENS	N. Rochetin (ENS),		
3 ECTS	30 h	cours/TD	M1
Prérequis : mathématiques de base (algèbre linéaire, analyse), informatique (l'étudiant doit être « à l'aise » avec le langage informatique moderne de son choix)			
<p>L'utilisation de modèles numériques plus ou moins complexes pour l'étude des phénomènes géophysiques est fondamentale pour la compréhension des lois physiques qui régissent la Terre dans son ensemble ainsi que des leurs interactions. Ces modèles sont basés sur des techniques numériques et des implémentations en évolution constante. Lors de ce cours, nous aborderons les notions nécessaires au développement de premiers codes numériques. Les schémas et équations de base seront présentées dans le contexte de la modélisation de phénomènes atmosphériques, océaniques, lithosphériques et spatiaux, lors d'une cours magistral (15h). Une seconde partie du module (15h) sera dédiée à l'écriture d'un code simple en travaux dirigés et à l'analyse de stabilité de différents codes utilisés aujourd'hui dans le monde des géosciences (écoulements, déformation, magnéto-hydro-dynamique, ...).</p> <p><i>Numerical modeling, from its simplest equations to complex coupled physical modeling, is fundamental for the study and the understanding of the behavior of the Earth as a physical system. These models are based on numerical methods and corresponding implementation that are now constantly evolving. In this class, we will describe all basic concepts for the development of numerical modeling codes. Schemes and equations will be presented in the context of modeling of the atmosphere, the ocean, the lithosphere and space weather during a theoretical class (15h). Practicals (15h) will be dedicated to the development of a simple modeling code and to the stability analysis of various codes already used nowadays in geosciences (fluid flow modeling, solid deformation, magneto-hydro-dynamics...).</i></p>			
Modalités d'évaluation : examen final et comptes rendus de TD			
Mots clés: modélisation, méthodes numériques			

<u>Modules obligatoires</u>	Rayonnement et télédétection <i>Remote sensing</i>		
ENS	J.-P. Duvel		
3 ECTS	30 h	cours/TD/TP	M1
Prérequis : aucun			
<p>Ce cours présente les bases physiques et les principales techniques de télédétection, avec leurs applications à la connaissance de l'atmosphère, de l'océan et de la surface de la terre. L'objectif de ce cours est d'acquérir les connaissances nécessaires pour interpréter les mesures effectuées par télédétection depuis l'espace. Les bases de l'électromagnétisme et les processus physiques de l'émission, l'absorption, et la diffusion du rayonnement par les gaz et les particules sont donnés pour les domaines de fréquences solaire (UV, visible et proche-infrarouge) et terrestre (infrarouge thermique et hyperfréquences). Ces notions fondamentales sont illustrées par des applications pratiques permettant à l'étudiant de se familiariser avec les mesures de rayonnement et leur interprétation pour l'étude : des propriétés des surfaces continentales et océaniques ; de la composition et de l'état thermodynamique de l'atmosphère ; de la microphysique des nuages. Ce cours est complété par des séances de travaux pratiques qui permettent de manipuler des données réelles et d'acquérir des notions de traitement d'images.</p> <p><i>This course introduces the physical basis and the main techniques of remote sensing from space and gives some applications for the monitoring of the atmosphere, the ocean and the surface of the earth. The objective of this course is to acquire the necessary knowledge to interpret the measurements made by remote sensing. The basics of electromagnetism and the physical processes of emission, absorption, and diffusion of radiation by gases and particles are given for solar (UV, visible and near-infrared) and terrestrial (thermal infrared and microwave) frequency domains. These fundamental notions are illustrated by practical applications to study: properties of continental and oceanic surfaces; the composition and the thermodynamics of the atmosphere; the clouds microphysics. This course is completed by practical work allowing the student to manipulate real data and to acquire notions of image processing.</i></p>			
Modalités d'évaluation : examen final et contrôle continu			
Mots clés : rayonnement électromagnétique, transfert du rayonnement, observation spatiale			

2. Modules obligatoires en M2

Stage terrain à l'étranger.....	9
Stage de recherche Research Internship.....	10
Apprentissage artificiel	11
Pratique de la Modélisation Géophysique.....	12
Projet numérique de géosciences.....	13
Systèmes Dynamiques Non Linéaires	14

[Retour sommaire principal](#)

Modules obligatoires	Stage terrain en France		
OBS, ENS, MINES			
6 ECTS	14 jours	Terrain	M2
Prérequis			
Stage de terrain associant plusieurs disciplines des géosciences			
Modalités d'évaluation : Rapports			
Mots clés : astronomie, géodésie, géophysique, hydrologie, atmosphère			

Modules obligatoires	Stage de recherché / Research Internship		
30 ECTS	5 mois		M2
Prérequis:			
<p>Stage individuel d'initiation à la recherche dans un laboratoire de recherche. Exposé et rapport de stage.</p> <p>Individual internship of research initiation in a research laboratory. Presentation and internship report.</p>			
Modalités d'évaluation: Mémoire et soutenance orale			
Recherche			

Modules obligatoires	Apprentissage artificiel		
MINES	Chloé Azencott, Fabien MOUTARDE (MINES) -		
4 crédits ECTS	Volume horaire 22heures	30 h max	semestriel (automne) Enseignement spécialisé des MINES
Type enseignement	Cours/TD	Niveau	M2
<p>Prérequis : Notions de bases en probabilités et statistiques. Des notions sur les algorithmes numériques d'optimisation (type descente de gradient) sont utiles, mais ne sont pas du tout indispensables.</p> <p>L'essor de la numérisation fait s'accumuler des masses considérables de données et d'images, induisant un besoin croissant de fouille et d'exploitation automatisée et intelligente de ces données. De nombreux algorithmes (réseaux neuronaux, SVM, dopage ...) permettent des analyses et modélisations plus puissantes que les simples statistiques classiques. Le cours présente un panorama des techniques "d'apprentissage artificiel", leur cadre théorique et méthodologique commun, et divers types d'applications.</p> <p>Programme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Théorie de l'apprentissage statistique ; • typologie des applications : classification, régression, prédiction, catégorisation, ... • réseaux neuronaux (à couches, RBF, ...) • méthodes à noyaux et Support Vector Machines (SVM) ; • dopage (boosting) ; • modèles graphiques probabilistes (réseaux bayésiens) ; • apprentissage non supervisé pour la catégorisation (k-means, cartes topologiques de Kohonen, ...) • autres types d'apprentissage non supervisé (Analyse en Composantes Indépendantes pour la séparation aveugle de sources, optimisation de comportement global d'un agent « intelligent », ...) • algorithmes évolutionnistes et autres méta-heuristiques. <p>Modalités d'évaluation</p> <p>L'évaluation est prévue à partir d'un rapport de synthèse à rédiger sur le travail effectué en TPs (et/ou en micro-projets, selon nombre d'inscrits).</p> <p>Modalités pédagogiques</p> <p>Le cours présente succinctement les divers paradigmes et leurs types d'applications, et laisse une place importante (environ la moitié des séances) à des Travaux Pratiques permettant une mise en œuvre concrète des principales techniques présentées.</p>			

Modules obligatoires	Pratique de la Modélisation Géophysique Applied Geophysical Modeling		
ENS	J.-A. Olive, S. Speich, B. Deremble, L. Bopp (ENS)		
4 ECTS	30 h	Cours/TP	M2
Prérequis: Méthodes numériques			
<p>L'objet de ce cours est de permettre aux étudiants d'étendre et d'appliquer leurs connaissances en méthodologie numérique à la modélisation de problèmes dits "multi-physiques" issus de la Terre solide et fluide. Nous nous attacherons à décrire un large spectre d'écoulements géophysiques allant des courants océaniques (régime turbulent, en rotation) à la convection mantellique (régime laminaire, à rhéologie complexe). Les particularités de chaque régime d'écoulement motiveront l'introduction de techniques avancées pour résoudre les équations de conservation fondamentales (masse, quantité de mouvement, énergie). L'accent sera mis sur les aspects pratiques de la modélisation, c'est à dire l'élaboration de modèles numériques pertinents pour expliquer une observation ou un jeu de données géophysique. Le cours comprendra ainsi un projet de modélisation par binôme, dont la présentation servira de base à l'évaluation finale.</p> <p><i>This course seeks to enable students to apply numerical tools to real multi-physics problems from the realm of fluid and solid Earth science. We will focus on geophysical flows in a variety of relevant regimes, from oceanic circulation (turbulent, under rotation) to mantle convection (laminar, with complex rheologies). Advanced techniques will be introduced to tackle the computational challenges posed by solving conservation equations (mass, momentum, energy) for each type of flow. We will emphasize practical aspects of geophysical modeling, i.e., the design of relevant numerical schemes to address a particular problem or explain a given dataset. Evaluation for the class will be based upon the completion and presentation of a modeling project.</i></p>			
Modalités d'évaluation: Projet			
Modélisation numérique – Géodynamique – Enveloppes fluides – Equations de conservation – Dynamique des fluides géophysiques			

<u>Modules obligatoires</u>	Projet numérique de géosciences		
ENS	<i>Patrick Meunier</i>		
30 ECTS			M2
Prérequis:			
Modalités d'évaluation: Mémoire et soutenance orale			
Recherche			

<u>Modules obligatoires</u>	Systèmes Dynamiques Non Linéaires		
ENS	Guillaume Lapeyre et Olivier Talagrand Laboratoire de Météorologie Dynamique, ENS.		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M2
<p>Prérequis :</p> <p>Base de l'analyse mathématique: équations aux dérivées ordinaires et partielles</p> <p>Base de l'algèbre linéaire : calcul matriciel, espace et vecteurs propres</p> <p>Programmation matlab ou python – méthodes numériques</p>			
<p>Contexte recherche du cours (pourquoi ce cours est pertinent), contenu disciplinaire et/ou thématique, perspectives pour les étudiants.</p> <p>Les phénomènes géophysiques sont en général décrits par des systèmes d'équations non-linéaires. Même si les lois d'évolution sont connues, celles-ci n'impliquent pas forcément une évolution purement déterministe du système. Henri Poincaré en 1890 fut un des premiers à mettre en évidence ce côté non-déterministe en étudiant les équations du mouvement des planètes du système solaire. En 1963, Ed Lorenz montra la nature chaotique de l'atmosphère et l'existence d'un attracteur étrange associé.</p> <p>Ce cours a pour objectif d'introduire les éléments mathématiques de base concernant les systèmes dynamiques non-linéaires, en particulier leur stabilité, leur prévisibilité et leur nature chaotique. Des travaux dirigés et pratiques proposeront des applications à des phénomènes géophysiques.</p> <p>Geophysical processes are in general described by a system of nonlinear equations. Even if the evolution laws are known, this does not imply that the system evolution is purely deterministic. Henri Poincaré in 1890 was among the first to show this non-deterministic character when he studied the equations of motion of planets of the solar system. In 1963, Ed Lorenz showed the chaotic nature of the atmosphere and the existence of an associated strange attractor.</p> <p>This course aims to introduce the mathematical basis of nonlinear dynamical systems, in particular their stability, predictability and their chaotic nature. Computer sessions will be devoted to applications to geophysical processes.</p>			
Modalités d'évaluation : examen final, contrôle continu			
Mots clés (4 ou 5) Systèmes nonlinéaires, chaos, prévisibilité, bifurcations			

Modules obligatoires	La vie du chercheur		
ENS	Nous		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M2
Prérequis :Aucun			
Ethique publication, financement, recherche biblio, coplexité, philosophie des sciences			
Modalités d'évaluation : examen final, contrôle continu			
Mots clés (4 ou 5) Systèmes nonlinéaires, chaos, prévisibilité, bifurcations			

3. Océan Atmosphère

Changement Climatique / <i>Climate Change</i>	17
Chimie atmosphérique / <i>Atmospheric chemistry</i>	Erreur ! Signet non défini.
Chimie et composition des atmosphères planétaires.....	18
Dynamique des Fluides Géophysiques / <i>Geophysical Fluid Dynamics</i>	19
Météorologie Dynamique / <i>Dynamical Meteorology</i>	20
Océanographie Dynamique / <i>Ocean Dynamics</i>	21
Physique du Climat / <i>Climate Physics</i>	Erreur ! Signet non défini.
Couplage Soleil-Terre / <i>Sun-Earth Coupling</i>	22

[Retour sommaire principal](#)

Océan Atmosphère	Changement Climatique / <i>Climate Change</i>		
SU/ENS	Jean-Louis Dufresne, Laurent Bopp, Nicolas Rochetin		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M1 ou M2
Prérequis Bases en mécanique des fluides mais non nécessaires			
<p>Le changement climatique en cours et à venir est à la fois un enjeu sociétal majeur et un champ de recherche très actif et très ouvert. L'attribution à l'action de l'Homme du réchauffement des derniers 50 ans ne fait plus aucun doute et les ordres de grandeurs du réchauffement à venir en fonction de nos émissions de gaz à effet de serre sont connus. Mais de nombreuses questions sont encore largement ouvertes qu'il s'agisse de l'importance de certaines rétroactions contrôlant ce réchauffement, des changements du climat et plus largement des changements du système Terre associés à ce réchauffement,</p> <p>Le but de ce cours est de montrer les fondements scientifiques de ces travaux et de donner un aperçu de quelques sujets de recherche actifs. Dans ce cours, nous aborderons le changement climatique anthropique, en présentant (1) les processus clés de la physique et de la biogéochimie du système climatique, (2) les principales perturbations anthropiques et leurs interactions avec le climat, (3) les projections climatiques les plus récentes. Les aspects historiques de la recherche sur le changement climatique et le lien avec les négociations internationales climatiques seront aussi discutés.</p> <p>Une partie du module sera réalisée lors de travaux dirigés basés sur des exercices calculatoires utilisant des modèles simples ou des sorties de modèles climatiques plus complexes. Un projet avec restitution sur une question en lien avec le changement climatique sera réalisé à partir du dernier rapport du GIEC ou de certains articles scientifiques clés.</p>			
Modalités d'évaluation : projet + oral			
Mots clés : Climat, système climatique, changement climatique, énergétique du climat			

Océan Atmosphère	Chimie et composition des atmosphères planétaires		
	<i>Chemistry and composition of planetary atmospheres</i>		
Responsable du module	François Ravetta (IPSL), Pasquale Sellitto (ENS)		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M1 ou M2
Prérequis Bases en thermochimie, cinétique chimique, transfert de rayonnement, mécanique des fluides, mais des rappels seront faits en cours			
<p>Une atmosphère planétaire est un réacteur chimique au sein duquel sont couplés des processus chimiques, dynamiques, thermodynamiques et radiatifs. Sur Terre, les constituants minoritaires réactifs de l'atmosphère jouent un rôle important en matière de filtrage du rayonnement UV (ozone), de climat (méthane, ozone, particules) ou de pollution atmosphérique (ozone, oxydes d'azote, particules). Emis en surface sous forme réduite ou produits au sein même de l'atmosphère, ces constituants minoritaires sont en général oxydés lors de réactions photochimiques catalysées à basse température avant de se déposer au sol. L'étude de la couche d'ozone stratosphérique permet d'appréhender les couplages entre réactivité chimique, transport et rayonnement, et de dégager des principes généraux en chimie atmosphérique. Il devient alors possible de rendre compte de milieux plus complexes, comme la couche limite urbaine, et de décrire la composante atmosphérique des grands cycles biogéochimiques. La transposition de ces principes à l'étude des atmosphères des autres planètes du système solaire permet enfin de rendre compte de la variabilité de leur composition, dans le temps et dans l'espace.</p> <p><i>A planetary atmosphere is a chemical reactor driven in the same time by chemical, dynamical, thermodynamical and radiative processes. On Earth, the reactive minor constituents of the atmosphere play an important role in filtering UV radiation (ozone), climate (methane, ozone, particles) or atmospheric pollution (ozone, oxides of nitrogen, particles). These minor constituents are emitted at the planet surface in reduced form or produced in the atmosphere, and are generally oxidized during low-temperature catalysed photochemical reactions before being deposited on the ground. The study of the stratospheric ozone layer makes it possible to understand the coupling between chemical reactivity, transport and radiation, and to draw general laws in atmospheric chemistry. It then becomes possible to account for more complex environments, such as the urban boundary layer, and for the atmospheric part of biochemical cycles. These general laws are finally applied to the study of the planetary atmospheres of our solar system to account for the variability of their composition, in time and space.</i></p>			
<i>Examen final</i>			
<i>Mots clés</i> Chimie de l'atmosphère, photochimie, cycles biogéochimiques, climat			

Océan Atmosphère	Dynamique des Fluides Géophysiques / <i>Geophysical Fluid Dynamics</i>		
SU/ENS	Vladimir Zeitlin		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M1 ou M2
Prérequis Bases en mécanique des fluides mais non nécessaires			
<p>Ce cours introduit les bases de la dynamique des fluides en rotation rapide et stratifiés. Il pose les bases physiques pour appréhender quantitativement des écoulements tels que ceux de l'atmosphère terrestre ou d'autres planètes et de l'océan, en introduisant la dynamique des traceurs impliquées dans la circulation thermohaline océanique et l'effet de serre, la thermodynamique appliquée aux fluides, les effets de la stratification en passant par des phénomènes ondulatoires tels que les ondes de gravité externe, c'est à dire aux vagues de surfaces et aux ondes de marées. Les ondes internes seront aussi introduites ainsi que leur relation avec la météorologie de montagne et les brises de mer. Aux plus grandes échelles, les effets d'interaction entre rotation et stratification seront étudiés, ce qui amènera à dériver des relations tels que la géostrophie et le vent thermique qui sont les équilibres fondamentaux (à l'ordre zéro) de la dynamique de l'océan et de l'atmosphère. Ce cours dérivera aussi les équations du mouvement sur la sphère, ce qui amènera à introduire le concept de moment cinétique essentiel pour expliquer la structure des vents de grande échelle dans l'atmosphère.</p> <p>This course introduces the basics of fast rotating and stratified fluid dynamics. It lays down the physical bases for quantitatively apprehending fluid flows such as those of the Earth's atmosphere or other planets and the ocean, introducing the tracers dynamics involved in the ocean global circulation and the greenhouse effect, the thermodynamics applied to fluids, the effects of stratification by passing through wave phenomena such as external gravity waves, such as surfaces waves and tides. Internal waves will also be introduced as well as their relationship with mountain meteorology and sea breezes. At larger scales, interaction effects between rotation and stratification will be apprehended, resulting in relationships such as Geostrophy and the Thermal Wind which are the fundamental (zero order) equilibria of the ocean and atmosphere dynamics. In this course will also be derived the equations of motion on the sphere, that will introduce the essential concept of angular momentum to explain the large-scale winds structure in the atmosphere.</p>			
Modalités d'évaluation : examen final			
Mots clés : Fluides en rotation et stratifiés, océan, atmosphère, équilibres planétaires			

Océan Atmosphère	Météorologie Dynamique / <i>Dynamical Meteorology</i>		
ENS	Caroline Muller (ENS), Gwendal Rivière (ENS)		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M1 ou M2
Prérequis Bases en mécanique des fluides mais non nécessaires			
<p>L'atmosphère terrestre est un laboratoire naturel dans lequel se déroulent une grande variété de processus physiques. Le but de ce cours est de montrer comment les principes physiques de base peuvent nous aider à modéliser, interpréter et prévoir certains de ces processus. La première partie de ce cours permettra de comprendre les approches de la prévision météorologique à partir des concepts de base de la météorologie dynamique. Pour cela, on rappellera tout d'abord les quantités dynamiques essentielles en météorologie et les grands équilibres (équilibre hydrostatique, vent géostrophique, équilibre du vent thermique). On décrira ensuite les différents types de perturbations atmosphériques et leurs caractéristiques principales. On examinera des cartes météorologiques afin d'illustrer les différents concepts et de montrer comment peut être menée une prévision.</p> <p>La deuxième partie portera sur la circulation générale de la troposphère à partir d'observations et de modèles conceptuels. Tout d'abord, on considérera la circulation en moyenne zonale, notamment les cellules de Hadley et de Ferrel en introduisant différentes notions dans ce cadre, comme les flux d'Eliaassen-Palm. Ensuite, les aspects tridimensionnels de la circulation aux latitudes moyennes seront étudiés, comme les ondes de Rossby stationnaires générées par le relief, ou encore les ondes de Rossby transitoires synoptiques générées par les contrastes thermiques. L'étude de ces diverses ondes s'appuiera sur la théorie des rayons ainsi que sur des bilans énergétiques comme le cycle de Lorenz.</p> <p>The Earth's atmosphere is a natural laboratory, in which a wide variety of physical processes takes place. The purpose of this course is to show how basic physical principles can help us model, interpret and predict some of these processes. The first part of this course will help to understand the approaches to weather forecasting based on basic concepts of dynamical meteorology. For this purpose, we will first recall the dynamical quantities essential in meteorology and in the major atmospheric equilibria. The various types of atmospheric weather phenomena and their main characteristics will then be described. Meteorological maps will be examined to illustrate the different concepts and to show how a forecast can be conducted.</p> <p>The second part will deal with the general circulation of the troposphere based on observations and conceptual models. First, we will consider the mean zonal circulation, the Hadley and Ferrel cells by introducing different notions in this framework, such as the Eliassen-Palm fluxes. Then, the three-dimensional aspects of the circulation at the middle latitudes will be studied, such as the stationary Rossby waves generated by the orography, or the synoptic transient Rossby waves generated by thermal contrasts. The study of these various waves will be based on ray theory as well as on energy budgets like the Lorenz cycle.</p>			
Modalités d'évaluation : examen final			
Mots clés : Météorologie, équilibres atmosphériques, prévision météorologique			

Océan Atmosphère	Océanographie Dynamique / <i>Ocean Dynamics</i>		
ENS	Sabrina Speich (ENS)		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M1 ou M2
Prérequis Bases en mécanique des fluides mais non nécessaires			
<p>L'océan est un élément crucial du système climatique terrestre. L'océan, avec l'atmosphère, transporte la chaleur de l'équateur vers des latitudes plus élevées, ce qui maintient l'équateur à la différence de la température du pôle à moins de 40 degrés Celsius - en l'absence de l'océan et de l'atmosphère, la différence de température dépasserait 100 degrés Celsius. L'océan stocke 60 fois plus de carbone que l'atmosphère, ce qui maintient l'effet de serre à distance. L'océan est également un régulateur clé de la vie sur notre planète: le phytoplancton de l'océan génère la moitié de l'oxygène que nous respirons. Ce cours introduit la dynamique de l'océan et la façon dont elle affecte le système climatique terrestre. Nous commencerons par considérer comment l'on observe et modélise l'océan. Nous allons ensuite passer à un aperçu de base des équilibres dynamiques clés dans l'océan et des bilans de propriétés résultant. De là, nous développerons la théorie de la circulation forcée par le vent, la ventilation de l'océan et la circulation globale méridienne. Une large partie du module sera réalisée lors de travaux dirigés basés sur des exercices calculatoires ou des travaux utilisant des données océanographiques ou des modèles numériques afin d'appréhender avec des exemples concrets les éléments du cours.</p> <p>The ocean is crucial element of the Earth's climate system. The ocean, together with the atmosphere, transports heat away from the equator toward higher latitudes thereby keeping the equator to pole temperature difference to less than 40 degree Celsius—in the absence of the ocean and atmosphere the temperature difference would exceed 100degree Celsius. The ocean stores 60 times more carbon than the atmosphere thereby keeping the greenhouse effect at bay. The ocean is also a key regulator of life on our planet: ocean phytoplankton generates half of the oxygen we breath.</p> <p>This course will give the basis to understand fundamental physical processes in the ocean, particularly those that involve the ocean role in the Erath's climate system. The course introduces the ocean dynamics, made of ocean varying currents that all together make the global circulation. We will begin by considering how we observe and model the ocean. We will then move on a basic overview of key dynamical balances in the ocean and the resulting flows. From there we will develop the theory behind the wind-driven gyre circulation, ocean ventilation and the global meridional overturning circulation.</p> <p>A large part of the module will be realized during taught work based on computational exercises or using oceanographic data or numerical models in order to apprehend the course elements with concrete examples.</p>			
Modalités d'évaluation ! examen final			
Mots clés : Océanographie, courants océaniques, climat terrestre			

Océan Atmosphère	Couplage Soleil-Terre / <i>Sun-Earth Coupling</i>		
OBSPM	<u>Carine Briand</u> (OBSPM) Guillaume Aulanier (OBSPM), Sophie Masson (OBSPM)		
4 ECTS	30 h	Cours/TD	M1 et M2
Prérequis Bases : électromagnétisme, magnétisme			
<p>Le soleil influence fortement l'environnement spatial de la Terre. Ses sursauts d'activité peuvent être la cause de nombreux dysfonctionnements d'infrastructures industrielles sur Terre et dans l'espace, d'irradiation plus ou moins dangereuses de personnels navigants (aviation et aérospatial). Des services de météorologie de l'espace se développent au niveau national et international afin de surveiller l'activité solaire et prévoir les éruptions potentiellement dangereuses. Ce module de géophysique externe s'intéresse à décrire la dynamique de l'environnement spatial de la Terre ainsi que les mécanismes de couplage Soleil-Terre.</p> <p><i>The sun strongly influences the space environment of the Earth. Its bursts of activity can be the cause of numerous dysfunctions of industrial infrastructures on Earth and in space, of more or less dangerous irradiation of flying crew (aviation and aerospace). Space weather services at national and international level are being developed to monitor solar activity and predict potentially hazardous eruptions. This external geophysics module is interested in describing the dynamics of the Earth's spatial environment as well as the mechanisms of Sun-Earth coupling.</i></p>			
Modalités d'évaluation : examen final			
Mots clés : Géophysique externe, Météorologie de l'espace, Magnétosphère, Ionosphère, Vent solaire			

4. Interfaces

Cycle biogéochimique et couplage.....	24
Impacts du changement climatique sur la ressource en eau et méthodes d'adaptation	25
Matières Organiques : caractérisation et fonctions dans les environnements continentaux....	26
Modélisation numérique des ressources en eau	27
Polluants Organiques dans l'environnement Organic pollutants in the environment	28
Paléoclimats / <i>Palaeoclimates</i>	29
Processus de grands changements environnementaux planétaires	31

[Retour sommaire principal](#)

Interfaces	Cycle biogéochimique et couplage		
ENS	Laurent Bopp		
4 ECTS	30 h	Cours/TD	M1/M2
Prérequis: non			
.			
Modalités d'évaluation: contrôle continu (projets)			
Mots clés :			

Interfaces	Impacts du changement climatique sur la ressource en eau et méthodes d'adaptation		
ENS	<i>Florence Habets, Pierre Barré</i>		
4 ECTS	30h	Cours/TD/visite de terrain	M
Prérequis:			
<p>La ressource en eau est un facteur clé pour la plupart des activités humaines : production d'énergie, agriculture, production industrielle et besoin domestique. Ainsi, l'impact direct de l'homme sur cette ressource est déjà très sensible, tant du point de vue quantitatif (prélèvements, stockage), que qualitatif (nombreuses sources de pollution). Pour autant, nos sociétés sont toujours vulnérables aux fortes variabilités de cette ressource notamment aux sécheresses et aux inondations. Or, cette ressource est fortement impactée par le changement climatique, même si ces impacts varient fortement d'une région à l'autre.</p> <p>Il est important d'avoir une bonne projection de ces impacts régionaux pour anticiper l'évolution des opportunités et des risques, et s'y adapter. Ainsi, ce module traitera à la fois des méthodes permettant d'étudier l'impact du changement climatique sur la ressource en eau à l'échelle des bassins versants, ce qui nécessite une étape de régionalisation et de débiaisage, ainsi que les méthodes d'analyse des incertitudes permettant de quantifier les principaux impacts. On s'intéressera ensuite aux différentes méthodes d'adaptation, notamment celles relevant d'une adaptation sans regret ainsi que les solutions fondées sur la nature. Cette partie inclura des travaux pratiques sur les sols ainsi qu'une visite de terrain.</p> <p>Après quelques rappels sur la modélisation des projections climatiques, le cours abordera le problème de la régionalisation et du débiaisage des projections climatiques, à la fois sur des bases théoriques et pratiques (cours et TD). La modélisation des impacts hydrologiques et son interprétation seront ensuite abordés, en analysant les différentes sources d'incertitudes via des méthodes statistiques adaptées ainsi que des indicateurs pertinents.</p> <p>Un temps important sera consacré à l'étude des méthodes d'adaptation. En plus d'une présentation de ces méthodes en classe, une visite de terrain permettra d'illustrer le potentiel, les difficultés et les co-bénéfices. Au vue du rôle majeur que joue les sols en termes d'adaptation et d'atténuation, des travaux pratiques menés sur des colonnes de sol enrichies ou non en matière organique, ce qui permettra de quantifier ou qualifier les gains liés à la qualité des sols.</p> <p>Des situations réelles seront étudiées en groupe, via une analyse de document. Le contexte ainsi que l'analyse de la situation feront l'objet d'un rapport et d'un exposé en classe.</p>			
Modalités d'évaluation: Rapport et exposé oral			
Climat, Hydrologie, Statistique, Adaptation, Matière organique des sols			

Interfaces	Matières Organiques : caractérisation et fonctions dans les environnements continentaux		
	<i>Organic matter : characterisation and function in the environment</i>		
ENS	Pierre Barré (ENS), Lauric Cécillon (IRSTEA))		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M2
Prérequis Bases en géochimie organique, Utilisation basique de R ou Matlab			
<p>Les matières organiques ont un rôle majeur pour de nombreuses questions environnementales de premier plan (qualité des sols, régulation climatique, piégeage de polluants métalliques etc.). Les matières organiques sont très diverses et ces différences modulent leur activité dans l'environnement (capacité d'interaction, transfert, stabilité...). Il est donc important de bien caractériser ces matières organiques ce qui reste aujourd'hui dans bien des cas une gageure. Le module présentera les enjeux de la caractérisation des MO et les multiples techniques (spectroscopiques, thermiques, microscopiques) permettant de réaliser cette caractérisation. Les techniques émergentes de caractérisation à nano-échelle (nanoSIMS, synchrotron) seront présentées ainsi que les approches de chimométrie permettant de traiter de grands nombres de données. Ce module est important pour les étudiants souhaitant s'orienter vers la (bio-)géochimie dans les environnements continentaux.</p>			
Modalités d'évaluation : examen final			
Mots clés : Matières organiques, Environnements Continentaux, Techniques de caractérisation, Nano-échelle			

Interfaces	Modélisation numérique des ressources en eau		
	Numerical modelling of water resources		
MINES ParisTech	Agnès Rivière, Nicolas Flipo		
4 ECTS	30 h	Cours/TP	M2
Prérequis : non			
<p>Dans un premier temps, des rappels sur les notions fondamentales de l'hydrologie et de l'hydrogéologie quantitative, suivis de cours sur le transport d'énergie et de contaminants dans les compartiments des hydrosystèmes seront fournis aux élèves. Un gradient de milieux de plus en plus complexes et contraints par l'activité humaine sera abordé afin de former les élèves à la complexité de ce problème.</p> <p>La seconde partie de ce module s'articulera sous forme d'un projet qui permettra aux élèves de se sensibiliser aux grands enjeux environnementaux, et à la gestion des risques hydrologiques. Ces projets balaieront plusieurs méthodes numériques et seront définis chaque année. En voici quelques exemples :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analyse fréquentielle d'un jeu de données, • Utilisation d'outils numériques à base physique pour résoudre un problème hydrologique • Etude d'un cas de transport de chaleur et de solutés • Problème inverse, et l'identification des paramètres des modèles • Utilisation de modèles à des fins prospectives sur les effets des changements globaux <p>The lecture starts with a remainder of the fundamentals of quantitative hydrology and hydrogeology. Then the lecture focuses on energy and contaminant transfer in hydrosystems. Finally, the study of anthropogenic effects over a large range of scales is developed. The second part of the lecture consists in the study of real cases with numerical tools such as :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frequency domain analysis of large data sets, • Physically-based modeling of hydrosystem • Transfer of energy and dissolve matter (pollutants, carbon and nutrients) • Inverse modeling, parameter identification • Usage of model for water resources management submitted to global changes 			
Modalités d'évaluation: contrôle continu (projets)			
Mots-clé : modélisation numérique, ressources en eau, changements globaux, hydrologie/hydrogéologie quantitatives			

Interfaces	Polluants Organiques dans l'environnement Organic pollutants in the environment		
EPHE	Moreau-Guigon Elodie (EPHE) , Blanchoud Hélène (EPHE), Aurélie Goutte (EPHE), intervenants ANSES ou INERIS		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M2
Prérequis : aucun			
<p>La pollution par les polluants organiques est avérée dans tous les compartiments environnementaux (sol, eau, atmosphère) et les conséquences environnementales et sanitaires sont de plus en plus observées. Ce module présentera les grandes familles de polluants organiques (pesticides, micropolluants) : l'état de la contamination, les difficultés de leur analyse chimique, leur propriétés physico-chimiques et leurs conséquences en terme de dispersion/persistance et les conséquences éco-toxicologiques. Enfin, les différents modes de gestion de ces pollutions seront abordés.</p>			
Modalités d'évaluation :examen final ou devoir maison sur cas d'étude			
Mots clés : Polluants organiques (micropolluants, pesticides) Sol, eau, Atmosphère			

Interfaces	<i>Paléoclimats / Palaeoclimates</i>		
ENS	D.D. Rousseau, L. Bopp (ENS), M.F. Sanchez Goni (EPHE)		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M1 ou M2
Prérequis Bases en dynamique du climat mais non nécessaire			
<p>Une appréhension pertinente du climat actuel et futur ne peut raisonnablement être envisagée sans avoir connaissance des climats du passé aux niveaux global et régional. Le large éventail des climats identifiés au cours des derniers millions d'années a été le résultat des changements affectant les différentes conditions limites terrestres (insolation, volume de glace, concentration de gaz à effet de serre, paléogéographie) et des phénomènes de rétroactions associés (albédo, processus océaniques et atmosphériques, etc). Les changements climatiques passés n'ont pas été affectés par l'impact anthropique, du moins en dehors du présent interglaciaire, ils constituent la nécessaire référence pour discriminer ce qui est imputable à l'impact anthropique dans la variabilité actuelle. Par ailleurs, la connaissance de l'amplitude, de la direction et de la fréquence de ces changements sont essentiels pour contraindre et évaluer les modèles utilisés pour les projections climatiques du changement climatique futur.</p> <p>Ce cours sur les changements climatiques passés débutera par une introduction incluant un historique de la discipline comme par exemple l'origine de la théorie des âges glaciaires et celle de la théorie astronomique des climats ainsi que les méthodes employées pour reconstituer le climat passé: a) archives marines, continentales et glaciaires avec l'étude des traceurs micropaléontologiques, géochimiques et sédimentologiques préservés dans ces archives, b) les méthodes de datation et la comparaison entre archives, c) les bases de la modélisation des paléoclimats et d) la comparaison modèles-données.</p> <p>Nous présenterons également quelques exemples des changements passés à long terme (cycles glaciaires-interglaciaires), les événements rapides du dernier cycle climatique ou les climats du Phanérozoïque. Enfin, nous aborderons également l'impact des changements climatiques sur l'évolution des populations du passé: migrations, expansion... Des travaux pratiques ou dirigés compléteront cette offre de formation: TP de Modélisation: modèles simples et modèles complexes et TP/TD à partir de données des archives marines ou continentales.</p> <p>The knowledge of past climates at the global and regional scales is a key element for a better understanding of the present climate and for a better projection of its future evolution. The wide range of climates identified over the last few million years has been the result of changes in the different terrestrial boundary conditions (insolation, ice volume, greenhouse gas concentration, palaeogeography) and related feedback phenomena (albedo, oceanic and atmospheric processes, etc.). Past climates have not been affected by anthropogenic impact, but they represent a necessary reference to discriminate what is attributable to anthropogenic influence in the current variability and trend. Furthermore, knowledge of the magnitude, direction and frequency of these past changes is essential to constrain and assess the models used for climate projections of future climate change.</p> <p>This course on past climate change will begin with an introduction including a history of the discipline such as the origin of the theory of glacial ages and that of the astronomical theory of climates as well as the methods used to reconstitute past climates: a) Marine, continental and glacial archives with the study of micropaleontological, geochemical and sedimentological tracers preserved in these archives, (b) dating methods and comparison between archives, (c) the basis of paleoclimate modeling, and (d) model-data comparison.</p> <p>We will also present some examples of past long-term changes (glacial-interglacial cycles), the rapid events of the last climate cycle or the Phanerozoic climates. Finally, we will also discuss the impact of climate change on the evolution of human populations: migrations, expansion ...</p> <p>Practical work will complement this training offer: modelling practical exercises (simple models</p>			

and complex models) and practical exercises based on data from the marine or continental archives.

Modalités d'évaluation : examen final

Mots clés : Paléoclimat, archives climatiques, modèles paléoclimatiques, impact climatique sur les groupes humains passés.

<u>Interfaces</u>	Processus de grands changements environnementaux planétaires		
	<i>Process of large global environmental changes</i>		
ENS	Nicolas Cotice		
4 ECTS	30 h	Cours/TD	M1/M2
Prérequis: non			
<p>La Terre fait l'expérience d'un grand changement environnemental depuis l'ère industrielle. Le climat change, mais aussi la chimie des sols, de l'océan ou les flux sédimentaires. Notre planète a déjà vécu des bouleversements de l'environnement depuis sa formation, à des rythmes plus lents et divers. Il en est de même pour les planètes : Mars fut chaude et couverte d'un océan et est aujourd'hui froide et sèche. Ce cours propose d'étudier les processus à l'œuvre lors de grands changements planétaires sous forme de 4 projets différents au cours du semestre, abordés par tout-e-s les étudiant-e-s. Il s'agira par exemple la transition archéen-protérozoïque avec l'oxygénation de l'atmosphère, les épisodes de Terre boule de neige, le maximum thermique à la transition Eocène-Paléocène.</p> <p>Cet enseignement développe des compétences variées des géosciences, et aspire à traiter des systèmes complexes où différents objets sont liés (l'intérieur de la Terre, les océans, l'atmosphère, la vie). Les modèles et les observations seront étudiés. L'approche par projet vise à développer des compétences de recherche et de travail en collaboration.</p> <p>--</p> <p>The Earth is experiencing great environmental changes since the industrial era. The climate is changing, but so is the chemistry of soils, the ocean or sedimentary fluxes. Our planet has already experienced environmental upheavals since its formation, at slower and diverse rhythms. It is the same for planets: Mars was hot and covered with an ocean and is today cold and dry. This course proposes to study the processes at work during major planetary changes in the form of 4 different projects through the semester, which can be for example the Archean-Proterozoic transition with the oxygenation of the atmosphere, the snowball Earth, the Eocene-Paleocene thermal maximum.</p> <p>This teaching develops various geoscience skills, and aims at dealing with complex systems where different objects are linked (the Earth's interior, oceans, atmosphere, life). Students will work with both models and observations. The project approach aims to develop research and collaborative work skills.</p>			
Modalités d'évaluation: contrôle continu (projets)			
Mots clés : Changements environnementaux, intérieur de la Terre, enveloppes fluides, systèmes complexes			

5. Terre solide

Déformation récente de la Terre et Climat.....	33
Géodésie globale et repères de références globaux	34
Géomatériaux à l'échelle atomique / Atomic scale geomaterials.....	35
Imagerie géophysique multi-échelle / Multiscale geophysical imaging	36
Géomécanique / Mécanique de la fracturation et de la rupture sismique.....	37
Planétologie / <i>Planetology</i>	38
Du bassin sédimentaire au réservoir géologique	39
Ressources minérales non carbonées, une introduction	40
Sismotectonique / seismotectonics	41

[Retour sommaire principal](#)

<u>Terre Solide</u>	Déformation récente de la Terre et Climat		
	Recent deformations of the Earth and climatic		
Responsable du module	K. Chanard (IGN) ; L. Fleitout (ENS) ; Marianne Greff (IPGP) ; L. Metivier(IGN) (par ordre alphabétique dans un premier temps)		
4 ECTS	30 h	Cours/TP	M2
Pas de prérequis			
<p>Les transferts hydrologiques actuels ou récents, au cours des derniers 20000 ans, entraînent des déformations importantes de la Terre Solide. Il est essentiel de comprendre et quantifier ces déformations pour explorer les mécanismes de la montée actuelle du niveau des mers à partir des données de changement de gravité (mission spatiale GRACE), établir des bilans hydrologiques locaux ou corriger les données GPS des déplacements associés. Ce module donne aux étudiants les outils pour aborder ces problèmes: propriétés mécaniques du manteau, approche théorique pour calculer les déformations (nombres de Love viscoélastiques) ainsi qu'un aperçu des données qui permettent de mieux contraindre les transferts hydrologiques (paléo niveaux des mers, mission satellitaire GRACE, GPS...). Une partie des séances est réservée à des T.P. informatiques où les étudiants sont amenés à calculer les déformations de la Terre sous l'effet de charges connues et à comparer les résultats de leurs calculs à des données GNSS.</p> <p><i>Current or recent hydrological transfers over the last 20000 years are causing significant deformations of the Solid Earth. Understanding and quantifying these deformations is essential to explore the mechanisms of the current sea level rise from gravity change data (GRACE space mission), establish local hydrological budgets or correct GPS data for associated displacements. This module gives students the tools to address these problems: mechanical properties of the mantle, theoretical approach to calculate deformations (viscoelastic Love numbers) as well as an overview of the data that allow hydrological transfers to be better constrained (paleo sea level, GRACE satellite mission, GPS...). Part of the sessions are reserved for computer T.P. where students are asked to calculate the deformations of the Earth under the effect of known loads and to compare the results of their calculations with GNSS data.</i></p>			
Modalités d'évaluation : examen écrit sur table et TP informatique			
Mots clés (4 ou 5) : rebond post-glaciaire, transferts hydrologiques, niveau des mers, GPS			

Terre Solide	Géodésie globale et repères de références globaux		
	<i>Global geodesy and global references</i>		
OBS	Sébastien Lambert (OBSMP), Eric Calais (ENS)		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M1 ou M2
Prérequis Bases : aucune			
<p>L'objectif de notre enseignement est d'offrir les outils principaux de la géodésie globale qui permettent aujourd'hui la mesure de positions dans le ciel et sur Terre avec une précision de quelques dizaines de microsecondes de degré (ou de quelques millimètres).</p> <p>On aborde ainsi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la définition et la construction des repères céleste et terrestre, - la rotation terrestre aux échelles de l'heure au siècle (précession-nutation, rotation sidérale, mouvement du pôle, rôle des couches fluides externes, rôle du noyau interne et de la graine), et les mouvements des plans fondamentaux utiles en géodésie et astronomie (écliptiques, équateurs), - les principes et applications des techniques de géodésie dite "spatiale" incluant l'interférométrie radio à très longue base (VLBI), les systèmes de navigation par satellite (GNSS : GPS, GLONASS, Galileo), la télémétrie Laser-satellite et Laser-lune, et le système d'orbitographie Doppler DORIS. <p>The aim of of this module is to provide the main tools of global geodesy which allow today the measurement of positions in the sky and on Earth with an accuracy of a few tens of microseconds of degree (or a few millimeters).</p> <p>The approach is as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> - the definition and construction of the spatial and terrestrial landmarks ; - terrestrial rotation on the scale of the hour to the century (precession-nutation, sidereal rotation, pole movement, role of external fluid layers, role of internal core and seed), and movements of fundamental planes useful in geodesy and Astronomy (ecliptic, equator), - the principles and applications of so-called "spatial" geodesy techniques including very long-range radio interferometry (VLBI), satellite navigation systems (GNSS: GPS, GLONASS, Galileo), Laser-satellite and Laser- Moon, and the DORIS Doppler orbitography system. 			
Modalités d'évaluation : examen écrit sur table			
Mots clés : géodésie, systèmes de référence			

Terre Solide	Géomatériaux à l'échelle atomique / Atomic scale geomaterials		
SU	Georges Calas(SU), Laurence Galois (SU) Etienne Balan (SU)		
4 ECTS	30 h	Cours/TD	M1
Prérequis: non			
<p>De nombreux processus naturels sont gouvernés par des mécanismes intervenant à l'échelle atomique, désormais accessibles au travers de développements expérimentaux et théoriques. Cette approche, associant minéralogie, géochimie et géophysique, permet d'aborder aussi bien des questions fondamentales que des aspects appliqués.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Physique des minéraux : origine microscopique des propriétés (magnétiques, optiques...) des minéraux • Minéralogie environnementale : structure et réactivité des interfaces minéral-solution, spéciation des polluants métalliques, nanophases • Conditions de formation des minéraux • Verres, magmas et solutions hydrothermales ; le contrôle du partage et de la concentration des éléments • Les processus de diffusion à l'état solide; fractionnements isotopiques à l'équilibre • Ressources minérales: leur usage dans un contexte de développement durable; relations structure-propriétés dans les géomatériaux d'intérêt économique <p>Les étudiants auront ainsi un bagage leur permettant de continuer aussi bien en sciences de la Terre et de l'environnement qu'en science des matériaux.</p> <p>Many natural processes are governed by mechanisms operating at the atomic level, now accessible through experimental and theoretical developments. This approach, combining mineralogy, geochemistry and geophysics, allows to address both fundamental and applied aspects.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mineral physics: microscopic origin of mineral properties (magnetic, optical ...) • Environmental mineralogy: structure and reactivity of the mineral-solution interfaces, speciation of metallic pollutants, nanophases • Formation conditions of minerals • Glasses, magmas and hydrothermal solutions; Control of element partitioning and concentration • Solid-state diffusion processes; Isotopic fractionations at equilibrium • Mineral resources: their use in a sustainability context; structure-property relationships in geomaterials of economic interest <p>The students will thus have a background allowing them to continue in Earth and environmental sciences as well as in materials science.</p>			
Modalités d'évaluation: examen final, contrôle continu basé sur l'utilisation de cours du Collège de France			
Mots clés : minéralogie, matériaux, environnement, ressources minérales			

Terre Solide	Imagerie géophysique multi-échelle / Multiscale geophysical imaging		
MINES	Hervé Chauris (Mines), Matthias Delescluse (ENS), Alexandrine Gesret (Mines), Xiaoping Jia (ESPCI), Mark Noble (Mines), Arnaud Tourin (ESPCI)		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M1 / M2
Prérequis			
<p>Les puits les plus profonds ne dépassant pas la dizaine de kilomètres, les géosciences de la terre interne impliquent des observations indirectes de la géométrie et des propriétés physiques des structures géologiques. En surface et à petite échelle, si l'observation directe est possible, elle nécessite souvent une trop grande perturbation de l'environnement qui implique de recourir à une méthode indirecte moins destructive. L'imagerie géophysique basée sur la propagation des ondes dans les matériaux géologiques est l'outil de choix pour répondre à ces problèmes et ce module propose de détailler ces méthodes à toutes les échelles, depuis le centimètre jusqu'aux milliers de kilomètres.</p> <p>Le cours débute sur un rappel sur la propagation des ondes dans un milieu élastique. On passera en revue la théorie des rais, l'équation des ondes élastiques, les phénomènes de réflexion, transmission et conversion des ondes incidentes sur une interface, avant d'aborder les ondes guidées par une interface et dans une structure stratifiée. Enfin, on discutera l'effet de l'atténuation sur la propagation des ondes élastiques et ses différentes origines, y comprise la diffusion multiple. Cette base permettra de détailler les principales techniques d'imagerie de l'échelle du laboratoire à celle du globe : l'imagerie de réflectivité (sismique active, fonctions récepteurs), et principalement la tomographie, des temps d'arrivées à la forme d'onde. Des travaux pratiques numériques et en laboratoire illustreront les différentes approximations et leurs conditions d'application, ceci en fonction des échelles: applications à la physique des matériaux (propriétés mécaniques, fracturation, milieux poreux), à la caractérisation du sol (hydrologie, archéologie...), à l'imagerie sismique active des bassins et de la lithosphère (prospection géophysique, imagerie crustale, chambres magmatiques...), jusqu'à la sismologie à l'échelle du globe (tomographie régionale et globale, imagerie des slabs...)</p>			
Modalités d'évaluation Examen et contrôle continu			
Mots clés : ondes, sismologie, tomographie, réflectivité, vitesses sismiques			

Terre Solide	Géomécanique / Mécanique de la fracturation et de la rupture sismique		
	<i>Geomechanics / Mechanics of fracturing and seismic rupture</i>		
ENS	<i>A. Schubnel, C Mehl, P. Dublanquet, H. Bhat</i>		
4 ECTS	30h	Cours/TD	M
Prérequis:			
<p>La partie supérieure de la croûte terrestre intéresse particulièrement le géologue et le géophysicien confrontés aux problèmes ayant un impact direct sur l'activité humaine et mettant en jeu fluides et déformation (séismes et failles, réservoirs et stockages). Le module vise à permettre d'aborder ces questions avec les concepts et outils appropriés. Deux volets seront présentés de manière approfondie:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) la compaction des roches poreuses (développement de surpression de fluide dans une couche sédimentaire, réservoirs, subsidence, stockage). 2) la fracturation des roches, la friction et la mécanique des séismes <p>The upper part of the earth's crust is of particular interest to the geologist and the geophysicist confronted with problems having a direct impact on human activity and involving fluids and deformation (earthquakes and faults, reservoirs and storage). The module aims to address these issues with the appropriate concepts and tools. Two components will be presented in depth:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) the compaction of porous rocks (development of fluid overpressure in a sedimentary layer, reservoirs, subsidence, storage). 2) rock fracturing, friction and earthquake mechanics 			
Modalités d'évaluation: Examen écrit			
Mécanique, friction, porosité, fluide, sédiments, failles			

Terre Solide	<i>Planétologie / Planetology</i>		
ENS	Aymeric Spiga		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M1 ou M2
Prérequis Bases en mécanique des fluides mais non nécessaires			
<p>Le cours de Planétologie se propose d'illustrer en quoi chacune des approches des Géosciences trouve sa déclinaison dans l'étude des planètes du système solaire et leurs satellites, que la foison récente de missions spatiales a fait passer du statut d'objets astrophysiques à celui de systèmes géophysiques complets. Nous aborderons ainsi le rôle de la gravité (de l'orbitographie aux marées), les transferts d'énergie dans les enveloppes planétaires (des atmosphères aux intérieurs planétaires), la composition et la dynamique des atmosphères planétaires, les processus qui ont façonné les surfaces planétaires et, plus généralement, les planètes dans leur ensemble de l'atmosphère à l'intérieur. Nous baserons les cours et TDs sur de nombreuses images et principes qualitatifs, mais veillerons à proposer autant que possible des traitements quantitatifs reposant sur les notions abordées en L3. Le but du cours de Planétologie est moins de tendre vers l'exhaustivité que de favoriser l'ouverture d'esprit et la remise dans un contexte élargi des concepts éprouvés en détail dans le cadre de l'environnement terrestre.</p> <p>The course of Planetology proposes to illustrate how each of the approaches of Geosciences finds its declension in the study of the planets of the solar system and their satellites, which the recent abundance of space missions has forced a transition from the status of astrophysical objects to that of complete geophysical systems. We will discuss the role of gravity (from orbitography to tides), energy transfers in planetary envelopes (from atmospheres to planetary interiors), the composition and dynamics of planetary atmospheres, the processes that have shaped the surfaces of planets and, more generally, the planets as a whole, from the atmosphere to their interior. We will base the courses and taught excercices on many qualitative images and principles, but we will try to propose as much as possible quantitative assessments based on the notions of fundamentals of Geosciences. The aim of the course is not so much to be exhaustive as to promote open-mindedness and the re-introduction in a broader context of the concepts tested in detail in the framework of the terrestrial environment.</p>			
Modalités d'évaluation : examen final,			
Mots clés : Planétologie, atmosphères planétaires, intérieurs des planètes, théorie, méthodes d'observation et modélisation			

Terre Solide	Du bassin sédimentaire au réservoir géologique		
	<i>From the sedimentary basin to the geological reservoir</i>		
MINES	Jean Louis Grimaud (MINES) Caroline Mehl (MINES), Christine Franke (MINES), Isabelle Cojan (MINES) °		
3 ECTS	30 h	Cours	M1
Prérequis			
<p>Les grands types de bassins sédimentaires, les sources et flux sédimentaires associés en fonction du contexte géologique seront abordés à différentes échelles en s'appuyant sur les connaissances acquises en L3 (géodynamique, tectonique, déformation, géomorphologie et sédimentologie). On se focalisera ensuite sur la caractérisation des réservoirs géologiques hétérogènes (clastiques et fracturés) en particulier leur géométrie, processus physiques impliqués et leur modélisation (numérique et analogique).</p> <p>L'objectif de cet enseignement est de présenter les grands types de bassins sédimentaires, dans leurs contextes géologiques respectifs, et d'aborder la problématique des transferts sédimentaires dans ces bassins. L'enseignement dispensé s'appuiera sur les connaissances acquises dans plusieurs modules de géodynamique, tectonique, déformation, géomorphologie et sédimentologie.</p> <p>Nous nous focaliserons ensuite, au sein de ces bassins, sur la caractérisation des réservoirs géologiques (géométrie, dynamique, processus physiques impliqués) et leur modélisation (numérique et analogique). Une attention particulière sera portée sur les réservoirs hétérogènes (réservoirs clastiques et fracturés). L'ensemble des cours dispensés s'appuiera sur la recherche en cours au sein du Centre de Géosciences.</p>			
Modalités d'évaluation : Examen, contrôle continu...			
Mots clés : flux sédimentaires, processus physiques, réservoirs hétérogènes, fracturation,			

Terre Solide	Ressources minérales non carbonées, une introduction		
	<i>Non-carbon mineral resources, an introduction</i>		
MINES	Louis Rimbault (MINES), Vincent Lagneau (MINES), Laurent De Windt (MINES)		
3 ECTS	5 jours (disjoints)	Cours/TD/TP	M1 / M2
Prérequis			
<p>Deux facteurs indépendants concourent à la recrudescence des besoins en matières premières minérales de l'humanité: l'aspiration des populations des pays émergents à un mode de vie se rapprochant de celui des pays développés, d'une part, impliquant des investissements dans les infrastructures et le logement, deux secteurs gourmands en ressources minérales; et l'apparition renouvelée de nouvelles technologies, d'autre part, faisant largement appel à de nombreuses matières premières différentes, en particulier dans le secteur de l'énergie où le recours massif à des énergies «propres» nécessite des quantités de métaux de base accrues.</p> <p>Il apparaît donc nécessaire de donner à de futurs acteurs dans le domaine des Sciences de la Terre les éléments de base leur permettant de forger leur capacité de jugement dans un secteur d'activité souvent controversial. Une part non négligeable, pour partie informative et pour partie technique, sera consacrée aux tenants (pourquoi avons-nous besoin de métaux et minéraux industriels?) et aboutissants (la clôture d'un projet minier), dans lesquels le rôle des Sciences de la Terre est loin d'être négligeable. À côté, des présentations de caractère plus technique présenteront les méthodes et les outils d'étude des gisements, en particulier les outils de simulation de l'équipe qui serviront à animer le cours (et pourraient éventuellement être envisagés comme TD dans une évolution ultérieure).</p> <p>Étant donné l'ampleur du sujet, il n'est évidemment pas question d'être exhaustif, mais de donner des aperçus tout en essayant de conserver pour l'ensemble un aspect cohérent.</p> <p>An introduction to mineral resources (excluding hydrocarbons)</p> <p>The needs of infrastructure development in emerging countries, as well as of new technologies, both lead to an increase in the amount of raw materials we use. Metals and industrial minerals are produced by the mining industry worldwide, with renewed challenges due to a variety of factors, including economical constraints, environmental and/or societal expectations, and geological constraints with more and more difficult-to-find ore deposits.</p> <p>The module is divided in three parts. An introduction to economic geology attempts to highlight those challenges and the relations between them. A more technical part deals with the application of numerical simulation tools applied to various parts of the life-of-mine cycle. In a final exercise small student groups study either academic or company-derived documents focused on a common specific theme and report their findings to the others.</p>			
Modalités d'évaluation : Examen, contrôle continu et mini projet			
Mots clés : matières premières, formation, enjeux, exploitation, remédiation			

Terre Solide	Sismotectonique / seismotectonics		
ENS	<i>R. Jolivet</i>		
4 ECTS	30h	Cours/TD/projet	M
Prérequis:			
<p>Depuis l'avènement des techniques de mesure des déformations de la croûte terrestre, la compréhension de la dynamique des failles au cours du cycle sismique a radicalement évolué. Au cours de ce module, nous explorerons comment l'association de plusieurs techniques d'observation (géodésie, sismologie, géomorphologie, géologie, ...) a permis l'émergence de modèles mécaniques, basés sur des mesures de laboratoire, pour la description de l'activité des failles.</p> <p>1. Introduction: Nous commencerons par une introduction sur l'histoire des découvertes en sismotectonique au gré des différents séismes majeurs ayant eu lieu depuis une centaine d'années (Chili 1877, San Francisco 1906 Tokyo 1923, Chili 1960, ...) en lien avec les notions de risque et d'aléa sismique et leur évolution au cours du temps. Cette introduction permettra d'introduire la notion de cycle sismique.</p> <p>2. Observer le cycle sismique: Ensuite, nous aborderons les différentes méthodes d'observations des phénomènes sismo-tectoniques (GPS, InSAR, Sismologie, Tsunamis, morpho-tectonique, ...). Cette exploration des différentes observables (déplacement de surface, micro-sismicité, tomographie, ...) permet de mettre en évidence les 3 phases du cycle sismique: inter-, co- et post-sismique.</p> <p>3. Quantifier les phénomènes: Au cours de ces phases, nous mettrons en évidence les différents mécanismes permettant d'expliquer les déplacements observés en surface. L'accent sera mis sur la localisation et la quantification du glissement sismique et a-sismique au cours des différentes phases du cycle.</p> <p>4. Explorer les lois rhéologiques: Nous traiterons différents modèles actuellement proposés pour expliquer, d'un point de vue mécanique, les différents modes de glissement sur les failles actives ainsi que les modes de réponse mécanique de la lithosphère au cours du cycle sismique.</p> <p>5. Récapitulatif, Discussion: Nous terminerons ce module par l'exposé des grandes problématiques actuelles en ce qui concerne l'activité sismique des failles (i.e. Que peuvent apporter les modèles dynamiques de cycle sismique? Peut-on vraiment parler de cycle? Comment intégrer les mécanismes déterminés à court terme dans la description des déformations sur des temps géologiques?)</p> <p>À l'issue de ce module rassemblant cours magistraux, TD et un projet comptant pour le contrôle continu, les étudiants auront acquis une connaissance globale des phénomènes rythmant le cycle sismique, des méthodes d'observation de ces phénomènes et des modèles mécaniques proposés. Enfin, étant construit sur des exemples de séismes passés, ce module permet de présenter différents contextes sismo-tectoniques et de développer une culture générale de la sismologie et de la tectonique active.</p>			
Modalités d'évaluation: Examen écrit+ rapport de projet			
Cycle sismique, rhéologie, séismes, déformations			

6. Sociétés

Géopolitique de l'environnement	43
Impacts environnementaux et sociétaux de grands projets	44
Savoirs et politiques de la Terre, XVIe-XXIe siècles Éléments d'histoire, philosophie et sociologie des sciences de la Terre	45
Risques et catastrophes	47

[Retour sommaire principal](#)

Sociétés	Géopolitique de l'environnement		
ENS	Magali Reghezza		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M1 / M2
Prérequis			
<p>Ce séminaire propose d'aborder différentes questions environnementales sous un angle géopolitique. Qu'il s'agisse de l'appropriation et la mise en valeur des ressources, de la gouvernance des risques et des crises, de la protection de la nature, l'environnement met en jeu des rapports de forces politiques et mobilise des acteurs multiples. Ceux-ci développent, à partir des questions environnementales, des stratégies particulières pour asseoir leur pouvoir sur un territoire. L'environnement peut produire ou nourrir des conflits, voire de guerres, et ce à toutes les échelles, du local au global.</p>			
Modalités d'évaluation (examen final, partiel, contrôle continu, etc)			
Mots clés (4 ou 5)			

Sociétés	Impacts environnementaux et sociétaux de grands projets		
MINES	Daniel Florentin (MINES) Jasha Oosterbaan (MINES), externes		
3 ECTS	30 h semaine bloquée	Cours	M2
Prérequis : cours s'appuie sur le module géostructures-aménagements			
<p>A travers l'analyse d'une étude de cas sur une grande infrastructure comme par exemple la transformation d'un barrage (construction, élargissement, renforcement, etc.), les étudiants seront amenés à réfléchir aux impacts sociaux et environnementaux de cet aménagement à différentes échelles territoriales. Il s'agira d'étudier la réponse fournie à un besoin (exemple dimensionnement en fonction de la demande en énergie), les besoins des autres utilisateurs et les arbitrages sociopolitiques qu'il faut opérer, par exemple concernant les populations ou activités locales concurrentes des projets de barrage (du type activités agricoles). Une partie du module sera consacrée à la réalisation d'une étude d'impacts environnementaux de la construction et de la gestion de l'aménagement (biodiversité, gestion des sédiments..).</p>			
Modalités d'évaluation : Examen, étude de cas....			
Mots clés : impacts environnementaux et sociaux, grands projets,			

<u>Sociétés</u>	Savoirs et politiques de la Terre, XVIe-XXIe siècles Éléments d'histoire, philosophie et sociologie des sciences de la Terre		
EHESS	Sébastien Dutreuil et Christophe Bonneuil		
4 ECTS	30 h	Cours/TD	
Prérequis: aucun			
<p>Les savoirs des sciences de la Terre occupent une position centrale dans le rapport collectif que nous entretenons avec la nature. Ces savoirs permettent la localisation et l'extraction des ressources minières ; émettent des alertes environnementales sur l'évolution du climat ou des pollutions ; analysent des risques (sismiques, météorologiques, etc.) ; ou encore élaborent des conceptions et représentations de la Terre et de la nature ayant une portée anthropologique, philosophique et politique. Les enjeux environnementaux contemporains, souvent embrassés sous le terme d'anthropocène, ont, au cours des dernières années et décennies, porté ces savoirs sur le devant de la scène.</p> <p>L'objectif de ce cours est, en croisant les approches et les questions de la sociologie des sciences et des techniques, de l'histoire environnementale, de l'histoire des sciences et de la philosophie des sciences, d'examiner les relations existantes et ayant existé entre les savoirs et les politiques de la Terre, de retracer des épisodes marquants de l'histoire des sciences de la Terre, d'analyser les objets, les pratiques et les techniques de ces sciences.</p> <p>Les savoirs se structurent autour d'objets et de concepts qu'ils contribuent à rendre visible et à faire exister : ainsi de la vie pour la biologie, des concepts de masse et d'énergie pour la physique, ou des représentations de la Terre et du temps en géologie. Quelles représentations et théories de la Terre ont été élaborées ? Dans quels contextes historiques ces théories et représentations ont-elles été constituées et quels usages culturels et politiques en ont-ils été faits ?</p> <p>Les savoirs sur la Terre, pour l'essentiel, ne reposent pas sur l'expérimentation mais sur d'autres types de pratiques scientifiques : cartographie, travail de terrain et expéditions, techniques d'imagerie, modélisation, classifications de spécimen, etc. Quels types de connaissances ces pratiques produisent-elles ? Quelles cultures épistémiques se sont structurées autour de celles-ci ? Dans quelles logiques historiques plus larges – coloniales, militaires, etc. – celles-ci ont-elles été prises et façonnées ? Quelles normes d'un bon usage de la Terre, prise dans sa globalité, ont-elles soutenu ?</p> <p>Une seule planète : approches des sciences humaines et sociales :</p> <p>(i) La constitution de l'environnement global : enjeux et approches des sciences humaines et sociales. (ii) Histoire, philosophie et sociologie des sciences de la Terre : positions méthodologiques et cartographie des travaux existant sur les savoirs et politiques de la Terre.</p> <p>Références :</p> <p>PERSPECTIVES SUR LA TERRE :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le cycle de l'eau et les théories climatiques globales de Christophe Colomb à la Révolution industrielle , J-B Fressoz • Physiques et temps de la Terre : des théories de la Terre du XVIIIe siècle à la géophysique des XXe-XXIe s. (tectonique des plaques et climatologie) en passant par la naissance de la géologie, S. Dutreuil • Chimies de la Terre : du métabolisme des vivants au XVIIIe siècle aux théories contemporaines de la biosphère, en passant par l'agriculture chimique, S. Dutreuil • Dire le bon usage de la Terre à la fin du XIXe siècle : réflexivité planétaire, limites des ressources et naissance du conservationnisme à l'âge des empires, C. Bonneuil • Sciences et politiques de l'environnement global pendant la guerre froide, C. Bonneuil 			

- Les théories de la Terre contemporaines : Gaïa, les sciences du système Terre et l'anthropocène, S. Dutreuil

CARTOGRAPHIER, METTRE EN IMAGES, MODELISER : PRATIQUES DES SCIENCES DE LA TERRE

- Cartographier la Terre : entre représentation et colonisation, XVe – XIXe, J-M. Besse & Hélène Blais
- Les images de la Terre : savoirs, politiques et techniques de l'environnement global, S. Grevsmühl
- Modéliser la Terre : histoire d'une pratique, usages scientifiques et politiques, S. Dutreuil

Modalités d'évaluation : Mini-mémoire sur un sujet choisi en concertation avec le/la responsable du module (10 à 20 pages)

Mots clés : histoire et philosophie des sciences – controverse – modélisation – pratiques scientifiques – histoire de la géologie

<u>Sociétés</u>	Risques et catastrophes		
ENS	Fanny Benitez		
4 ECTS	30 h	Cours/TD/TP	M1 / M2
Prérequis			
<p>Ce séminaire propose d'aborder la question des risques et des catastrophes en interrogeant leurs causes, leur prévention et leur gestion. On se focalisera sur de grandes catastrophes, y compris dans des temps anciens. On étudiera également des menaces globales dont l'occurrence est incertaine. On travaillera aussi bien à l'échelle locale que planétaire et insisteront sur les questions éthiques et politiques de ces objets, en insistant en particulier sur les questions d'inégalités face aux risques et de gouvernementalité. On consacrera enfin des séances au questionnement des pratiques de recherche dans le domaine des « cindyniques ».</p>			
Modalités d'évaluation ; examen final			
Mots clés			