

## Modules proposés en M1

1. Modules obligatoires .....	2
2. Océan Atmosphère.....	9
3. Interfaces.....	16
4. Terre solide.....	23
5. Sociétés.....	31

## 1. Modules obligatoires en

Stage terrain : Océanographie, géodésie, géologie, atmosphère.....	3
Stage de recherche à l'étranger.....	4
Géostatistique.....	5
Méthodes inverses .....	6
Méthodes numériques .....	7
Rayonnement et télédétection .....	8

[Retour au sommaire principal](#)

<a href="#">Modules obligatoires</a>	<b>Stage terrain : Océanographie, géodésie, géologie, atmosphère</b>		
ENS, MINES	E. Calais, M. Delescluse, C. Mehl, S. Speich		
3 ECTS +6 DENS	14 jours	Terrain	M1
<b>Prérequis</b>			
<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 l'INSU/CNRS. Il s'agit de la mise en oeuvre 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>			
<b>Modalités d'évaluation : rapports</b>			
<b>Mots clés : océanographie, géodésie, géologie, atmosphère</b>			

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

<a href="#">Modules obligatoires</a>	<b>Géostatistique</b>		
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><b>Contenu du module (présentation des grands thèmes avec nom des intervenant si connus/ noter les extérieurs PSL)</b></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"> <li>• 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 ?</li> <li>• de quoi a-t-on besoin pour l'estimation linéaire ?</li> <li>• variogramme, variance d'estimation, krigeage</li> <li>• modélisation multivariable : covariogramme, cokrigeage et autres estimations multivariées</li> <li>• le support et ses conséquences</li> <li>• conséquences de l'incertitude d'estimation, introduction à l'estimation non-linéaire et aux simulations.</li> <li>• exemples : présentation de cas d'études (qualité de l'air, pollution des sols, cours d'eau et nappes) ; réflexions sur la réglementation environnementale.</li> </ul>			
Evaluation : examen ou projet			
Mots clés : variabilité spatiale, variogramme, spatialisation, estimation.			

<a href="#">Modules obligatoires</a>	<b>Méthodes inverses</b>		
ENS, OBS	R. Jolivet (ENS), C. Briand (Obs.)		
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			

<a href="#">Modules obligatoires</a>	<b>Méthodes numériques</b> <i>Numerical methods</i>		
ENS	N. Rochetin (ENS), C. Briand (Obs.), J.Deshayes (UPMC)		
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			

<a href="#">Modules obligatoires</a>	<b>Rayonnement et télédétection</b> <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. Océan Atmosphère

Changement Climatique.....	10
Composition et climat des atmosphères planétaires.....	11
Dynamique des Fluides Géophysiques.....	12
Météorologie Dynamique.....	13
Océanographie Dynamique.....	14
Couplage Soleil-Terre.....	15

[Retour au sommaire principal](#)

<a href="#">Océan</a> <a href="#">Atmosphère</a>	<b>Changement Climatique</b> <i>Climate change</i>		
SU/ENS	J.-L. Dufresne, L. Bopp, S. Speich		
3 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 enjeux 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 changement 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 une 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			

<a href="#">Océan Atmosphère</a>	<p><b>Composition et climat des atmosphères planétaires</b></p> <p><i>Composition and climate of planetary atmospheres</i></p>		
IPSL	F. Ravetta (SU/LATMOS-IPSL), A. Määttänen (CNRS/LATMOS-IPSL), P. Sellitto (UPEC/LISA-IPSL)		
3 ECTS	30 h	cours/TD/TP	M1 ou M2
Prérequis : bases en thermodynamique, cinétique chimique, transfert de rayonnement, mécanique des fluides, mais des rappels seront faits en cours			
<p>La planétologie comparée se révèle de plus en plus éclairante pour comprendre et prévoir l'évolution d'un système aussi complexe que le climat terrestre. Les observations sont désormais suffisamment nombreuses pour tester la robustesse des théories et des modèles atmosphériques. Composition et climat des atmosphères planétaires sont intimement liés. Gaz, particules et nuages peuvent en effet absorber ou diffuser le rayonnement solaire. Ils émettent aussi en fonction de leur température, grandeur qui dépend de l'altitude. L'équilibre radiatif d'une planète est donc une fonction de sa composition. Le rayonnement solaire est par ailleurs la principale source d'énergie disponible pour rendre compte de la réactivité chimique d'une atmosphère, par la même de la variabilité spatiale et temporelle de ses constituants. L'objectif du cours est de dégager les principaux couplages entre processus chimiques, dynamiques, thermodynamiques et radiatifs pour rendre compte des interactions entre composition et climat des atmosphères planétaires. Il est structuré en trois parties. On s'intéresse tout d'abord au lien entre composition chimique et climat, puis à celui entre aérosols, nuages et climats, en mettant l'accent sur les planètes telluriques (Vénus, Terre, Mars). Un travail de climatologie comparée est enfin conduit sous forme d'un projet collectif par petits groupes d'étudiants. A l'issue du cours, un étudiant doit avoir compris dans quelle mesure le climat d'une atmosphère évolue en fonction de sa composition, enjeu majeur pour l'humanité s'agissant de la Terre.</p>			
Modalités d'évaluation: examen final (exercices et analyse d'articles) et rapport de 10 pages sur chacun des projets.			
Mots clés : photochimie, microphysique, aérosols, nuages, climat			

<a href="#">Océan Atmosphère</a>	<b>Dynamique des Fluides Géophysiques</b> <i>Geophysical Fluid Dynamics</i>		
SU/ENS	V. Zeitlin		
3 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 impliqués 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><i>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.</i></p>			
Modalités d'évaluation : examen final			
Mots clés : fluides en rotation et stratifiés, océan, atmosphère, équilibres planétaires			

<a href="#">Océan Atmosphère</a>	<b>Météorologie Dynamique</b> <i>Dynamical Meteorology</i>		
ENS	C. Muller (ENS), G. Rivière (ENS)		
3 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 déroule 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'Eliassen-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><i>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.</i></p> <p><i>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.</i></p>			
Modalités d'évaluation : examen final			
Mots clés : météorologie, équilibres atmosphériques, prévision météorologique			

<a href="#">Océan Atmosphère</a>	<b>Océanographie Dynamique</b> <i>Ocean Dynamics</i>		
ENS	S. Speich (ENS)		
3 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.</p> <p>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.</p> <p>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><i>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.</i></p> <p><i>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.</i></p> <p><i>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.</i></p>			
Modalités d'évaluation : examen final			
Mots clés : océanographie, courants océaniques, climat terrestre			

<a href="#">Océan Atmosphère</a>	<b>Couplage Soleil-Terre</b> <i>Sun-Earth Coupling</i>		
OBSPM	C. Briand (OBSPM), G. Aulanier (OBSPM), S. Masson (OBSPM)		
3 ECTS	30 h	cours/TD	M1 et M2
Prérequis : bases en 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			

### 3. Interfaces

Géomorphologie.....	17
Ressource en eau.....	18
Paléoclimatologie.....	19
Planétologie : intérieur, surface, atmosphère.....	21
Processus de grands changements environnementaux planétaires.....	22

[Retour au sommaire principal](#)

<a href="#">Interfaces</a>	<b>Géomorphologie</b> <i>Geomorphology</i>		
ENS	P. Meunier, S. Etienne, J.-L. Grimaud		
3 ECTS	30h	cours/TD	M1
Prérequis:			
<p>Le cours de Géomorphologie aborde l'aspect physique des processus d'érosion et de transport de matière à la surface du globe. Il s'agit d'une introduction aux différents processus de l'érosion physique et du transport de sédiments, des mécanismes qui leur sont associés ainsi qu'aux modèles d'évolution du relief les intégrant. On abordera essentiellement les processus en jeu dans les chaînes de montagne. Ces processus peuvent se rassembler sous deux grandes familles : les processus de pentes où le principal moteur du mouvement de la matière est la gravité, les processus fluviaux ou les sédiments sont mis en mouvement sous l'effet d'un cisaillement fluide. On utilisera donc des notions très variées telles que la loi de coulomb ou la modélisation d'écoulements de surface turbulents.</p> <p><i>The Geomorphology class deals with the physical aspect of the erosion and material transport processes on the earth surface. It is an introduction to the different processes of physical erosion and sediment transport, the mechanisms associated with them and the models of evolution of the terrain that integrate them. The processes involved in mountain ranges will be discussed. These processes can come together under two main families: slope processes where the main driving force of matter is gravity, fluvial processes or sediments are set in motion by fluid shear. We will therefore use very different notions such as the coulomb law or the modeling of turbulent surface flows.</i></p> <p><u>Bibliographie:</u> Tectonic Geomorphology, Burbank &amp; Anderson, Blacwell Science.</p>			
Modalités d'évaluation: examen écrit			
Mots clés : érosion, pentes, reliefs,			

<a href="#">Interfaces</a>	<b>Ressource en eau</b> <i>Water resource</i>		
ENS	J. Fortin (ENS), P. Meunier (ENS), F. Habets (ENS), M. Adelinet (IFP School)		
3 ECTS	30 h	cours/TD/TP	M1
Prérequis : bases en dynamique du climat mais non nécessaire			
<p>L'objectif de ce module est d'offrir une introduction aux concepts et méthodes qui permettent d'aborder les grandes questions environnementales liées à l'eau. Ce cours portera sur la physique du cycle de l'eau, sur l'hydrogéologie (écoulement dans les milieux poreux souterrains), sur l'hydrogéophysique (géophysique appliquée à la ressource en eau) et enfin sur l'hydrologie de surface (écoulements dans les rivières). L'accès est mis sur l'estimation, telle qu'une réserve d'eau, une concentration, un temps de transfert par exemple. Le cours s'appuie également sur des études de cas (Nappe d'Alsace, Nappe de l'Albien, Aquifère sous Bordeaux, Aquifère basal aux îles Galapagos...)</p> <p><i>The aim of the course is to offer a primer to the concepts and methods that can be used to address water-related problems in the environment. The course gives an introduction to the water cycle, then focus in i) on hydrogeology (flow of groundwater in porous media), ii) on hydrogeophysics (Geophysics applied to water resource) and then iii) on quantitative hydrology (flow on the land surface and in rivers). In particular, this course focuses on quantification, such as a water reserve, a concentration, a transfer time. The course is also based on case studies (aquifer in Alsace, Albian aquifer, aquifer under Bordeaux, basal Aquifer in the Galapagos Islands ...)</i></p>			
Modalités d'évaluation : examen final			
Mots clés : hydrogéologie, hydrologie, ressource en eau			

<a href="#">Interfaces</a>	<b>Paléoclimatologie</b> <i>Palaeoclimatology</i>		
ENS	D.-D. Rousseau, L. Bopp (ENS), M.F. Sanchez Goni (EPHE)		
3 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 évènements 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><i>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.</i></p> <p><i>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</i></p>			

*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.*

*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 .... Practical work will complement this training offer: modelling practical exercises (simple models 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.

<a href="#">Interfaces</a>	<b>Planétologie : intérieur, surface, atmosphère</b> <i>Planetology : inside, surface, atmosphere</i>		
ENS	A. Spiga		
3 ECTS	30 h	cours/TD/TP	M1 ou M2
Prérequis : bases en mécanique des fluides mais non nécessaires			
Le	<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><i>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.</i></p>		
20			
Modalités d'évaluation : examen final,			
Mots clés : planétologie, atmosphères planétaires, intérieurs des planètes, théorie, méthodes d'observation et modélisation			



<a href="#">Interfaces</a>	<p><b>Processus de grands changements environnementaux planétaires</b></p> <p><i>Process of large global environmental changes</i></p>		
ENS	N. Coltice		
3 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><i>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.</i></p> <p><i>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.</i></p>			
Modalités d'évaluation: contrôle continu (projets)			
Mots clés : changements environnementaux, intérieur de la Terre, enveloppes fluides, systèmes complexes			

## 4. Terre solide

Géodésie : théorie et applications.....	24
Géomatériaux et développement durable.....	25
Imagerie géophysique multi-échelle.....	26
Géomécanique - Mécanique de la fracturation et de la rupture sismique.....	27
Du bassin sédimentaire au réservoir géologique.....	28
Ressources minérales non carbonées, une introduction.....	29
Sismotectonique.....	30

[Retour au sommaire principal](#)

<a href="#">Terre Solide</a>	<b>Géodésie : théorie et applications</b> <i>Geodesy: theory and applications</i>		
OBS	E. Calais (ENS), S. Lambert (OBSMP)		
3 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"> <li>- la définition et la construction des repères céleste et terrestre,</li> <li>- 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),</li> <li>- 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.</li> </ul> <p><i>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).</i></p> <p><i>The approach is as follows:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>the definition and construction of the spatial and terrestrial landmarks ;</i></li> <li>- <i>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),</i></li> <li>- <i>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.</i></li> </ul>			
Modalités d'évaluation : examen écrit sur table			
Mots clés : géodésie, systèmes de référence			

<a href="#">Terre Solide</a>	<b>Géomatériaux et développement durable</b> <i>Geomaterials and sustainable development</i>		
SU	G. Calas(SU), L. Galois (SU), E. Balan (SU)		
3 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"> <li>• Physique des minéraux : origine microscopique des propriétés (magnétiques, optiques...) des minéraux</li> <li>• Minéralogie environnementale : structure et réactivité des interfaces minéral-solution, spéciation des polluants métalliques, nanophases</li> <li>• Conditions de formation des minéraux</li> <li>• Verres, magmas et solutions hydrothermales ; le contrôle du partage et de la concentration des éléments</li> <li>• Les processus de diffusion à l'état solide; fractionnements isotopiques à l'équilibre</li> <li>• Ressources minérales: leur usage dans un contexte de développement durable; relations structure-propriétés dans les géomatériaux d'intérêt économique</li> </ul> <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><i>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.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Mineral physics: microscopic origin of mineral properties (magnetic, optical ...)</i></li> <li>• <i>Environmental mineralogy: structure and reactivity of the mineral-solution interfaces, speciation of metallic pollutants, nanophases</i></li> <li>• <i>Formation conditions of minerals</i></li> <li>• <i>Glasses, magmas and hydrothermal solutions; Control of element partitioning and concentration</i></li> <li>• <i>Solid-state diffusion processes; Isotopic fractionations at equilibrium</i></li> <li>• <i>Mineral resources: their use in a sustainability context; structure-property relationships in geomaterials of economic interest</i></li> </ul> <p><i>The students will thus have a background allowing them to continue in Earth and environmental sciences as well as in materials science.</i></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			

<a href="#">Terre Solide</a>	<b>Imagerie géophysique multi-échelle</b> <i>Multiscale geophysical imaging</i>		
MINES	M. Delescluse (ENS), H. Chauris (MINES), A. Gesret (MINES), X. Jia (ESPCI), M. Noble (MINES), A. Tourin (ESPCI)		
3 ECTS	30 h	cours/TD/TP	M1 / M2
<b>Prérequis</b>			
<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			

<a href="#">Terre Solide</a>	<p align="center"><b>Géomécanique / Mécanique de la fracturation et de la rupture sismique</b></p> <p align="center"><i>Geomechanics - Mechanics of fracturing and seismic rupture</i></p>		
ENS	A. Schubnel, C. Mehl, P. Dublanchet, H. Bhat		
3 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"> <li>1) la compaction des roches poreuses (développement de surpression de fluide dans une couche sédimentaire, réservoirs, subsidence, stockage).</li> <li>2) la fracturation des roches, la friction et la mécanique des séismes</li> </ol> <p><i>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:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <i>the compaction of porous rocks (development of fluid overpressure in a sedimentary layer, reservoirs, subsidence, storage).</i></li> <li>2) <i>rock fracturing, friction and earthquake mechanics</i></li> </ol>			
Modalités d'évaluation: examen écrit			
Mots clés : mécanique, friction, porosité, fluide, sédiments, failles			

<u>Terre Solide</u>	<b>Du bassin sédimentaire au réservoir géologique</b> <i>From the sedimentary basin to the geological reservoir</i>		
MINES	J.L. Grimaud (MINES) C. Mehl (MINES), C. Franke (MINES), I. 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,			

<a href="#">Terre Solide</a>	<b>Ressources minérales non carbonées, une introduction</b> <i>Non-carbon mineral resources, an introduction</i>		
MINES	L. Raimbault (MINES), V. Lagneau (MINES), L. 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><i>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.</i></p> <p><i>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.</i></p>			
Modalités d'évaluation : examen, contrôle continu et mini projet			
Mots clés : matières premières, formation, enjeux, exploitation, remédiation			

<a href="#">Terre Solide</a>	<b>Sismotectonique</b> <i>Seismotectonics</i>		
ENS	R. Jolivet		
3 ECTS	30h	cours/TD/projet	M1
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><b>1. Introduction:</b> Nous commencerons par une introduction sur l'historique des découvertes en sismotectonique au gré des différents séismes majeurs ayant eu lieu depuis une centaine d'année (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><b>2. Observer le cycle sismique:</b> 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><b>3. Quantifier les phénomènes:</b> 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 asismique au cours des différentes phases du cycle.</p> <p><b>4. Explorer les lois rhéologiques:</b> 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><b>5. Récapitulatif, Discussion:</b> 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			
Mots clés : cycle sismique, rhéologie, séismes, déformations			

## 5. Sociétés

Géopolitique de l'environnement.....	32
Géostructures et aménagement du territoire.....	33
Savoirs et politiques de la Terre, XVIe-XXIe siècles. Éléments d'histoire, philosophie et sociologie des sciences de la Terre.....	34
Risques et catastrophes.....	36

[Retour au sommaire principal](#)

<a href="#">Sociétés</a>	<b>Géopolitique de l'environnement</b>		
ENS	M. Reghezza		
3 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 :			
Mots clés :			

<a href="#">Sociétés</a>	<b>Géostructures et aménagement du territoire</b>		
MINES	J.-A. Fleurisson (MINES), I. Thénevin (MINES), F. Pellet (MINES), B. Tessier (MINES), E. Jahangir (MINES)		
3 ECTS	30 h	cours	M1
Prérequis : connaissances de base en géologie et en mécanique des milieux continus			
<p>Ce cours aborde l'aménagement du territoire en se concentrant sur les implications de la Géologie de l'Ingénieur et les apports de la Géomécanique pour limiter les risques liés aux glissements de terrain et aux ouvrages que sont les tunnels, les barrages et les exploitations de ressources minérales.</p> <p><b>Partie 1 : Géomécanique et Géologie de l'Ingénieur</b> (les concepts de base seront à acquérir - si besoin - par un travail personnel ou en participant à la semaine bloquée correspondant à l'Enseignement Spécialisé « Géomécanique et Géologie de l'Ingénieur » dans la cadre de la semaine PSL en général dernière semaine de Novembre) (12heures de travail personnel). Les applications géologiques et géotechniques à l'aménagement du territoire seront abordées à partir d'études de cas portant sur : (15 heures sur 2,5 jours consécutifs)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Problèmes géologiques et géotechniques relatifs à la ville de Paris ;</li> <li>• Mouvements de versants : analyse, modélisation et prévention ;</li> <li>• Dimensionnement de grands talus d'exploitations minières à ciel ouvert ;</li> <li>• Problèmes géologiques et géotechniques relatifs aux barrages ;</li> <li>• Problèmes géologiques et géotechniques relatifs aux tunnels ;</li> </ul>			

Partie 2 : Géomécanique avancée et conception de géostructures (semaine entière avec travaux pratiques et utilisation de logiciels de calcul dédiés – Slide, Abaqus, Flac...)

1) Compléments théoriques (8 heures de cours et 6 heures de travail personnel)

- Lois de comportement avancées et couplage Thermo Hydro Mécanique
- Stabilité des pentes : méthodes de calcul de stabilité (équilibre limite) et de déformation (FEM, DEM) des pentes, risque de glissement de terrain et conception des talus artificiels
- Dimensionnement des ouvrages souterrains : méthode convergence-confinement, méthode de calcul de stabilité et de déformation des ouvrages souterrains

2) Applications pratiques d'étude de cas à l'aide d'outils de simulations numériques (6 heures de cours et 12 heures de travail personnel sur projet avec simulations numériques)

- Glissements de terrain : Calculs de stabilité, calculs en déformation.
- Dimensionnement de tunnels profonds
- Affaissements de surface liés aux tunnels peu profonds

Les cas d'étude seront choisis de manière à ce qu'ils puissent aussi servir de références pour l'étude des problématiques environnementales et sociétales d'aménagement du territoire qui seront abordées dans le module animé ensuite par l'ISIGE sur ce sujet.

Modalités d'évaluation : examen, études de cas

Mots clés : géomécanique, géotechnique, aménagement du territoire, risques

### Sociétés

## **Savoirs et politiques de la Terre, XVIe-XXIe siècles. Éléments d'histoire, philosophie et sociologie des sciences de la Terre**

EHESS

S. Dutreuil et C. Bonneuil

3 ECTS

30 h cours / TD

Prérequis: aucun

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.

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.

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 ?

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 ?

Une seule planète : approches des sciences humaines et sociales :

(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.

Références :

PERSPECTIVES SUR LA TERRE :

- 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 conservatisme 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

<a href="#">Sociétés</a>	<b>Risques et catastrophes</b>		
	F. Benitez		
3 ECTS	24 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 cherchera à comprendre comment les sciences sociales abordent la question des risques et des catastrophes au-delà de l'étude des processus physiques. 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 : réalisation de posters en groupe			
Mots clés :			