L3 Sciences de la Terre

UE DU S5

UE – LU3ST501 - Géochimie

Responsables :

Etienne Balan (Etienne.Balan@sorbonne-universite.fr)

Pierpaolo Zuddas (Pierpaolo.Zuddas@sorbonne-universite.fr)

Intervenants : Hélène Balcone-Boissard, Maryse Rouelle, Sylvain Huon, Erwan Martin, Mathieu Chassé, Etienne Balan, Pierpaolo Zuddas

Présentation générale de l'U.E. et objectifs.

Au cours de cette UE seront abordées les notions de géochimie élémentaire permettant d'étudier le système Terre vu comme un système chimique. On montrera comment les propriétés chimiques et physiques des éléments et de leurs isotopes permettent de comprendre leurs distributions dans le milieu terrestre. La première partie s'intéresse aux équilibres chimiques en solution et à leurs relations avec les cycles géochimiques externes, la seconde partie se focalise sur des mécanismes physico-chimiques fondamentaux à l'œuvre dans les systèmes naturels, la troisième et dernière partie s'intéresse aux processus de partage élémentaire dans les systèmes de haute température et aux méthodes de datation isotopique.

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

- 10 séances de cours de 2h
- 10 séances de TD de 2h

Compétences développées

Connaissances disciplinaires

- ✓ Equilibres acide-base en solution
- ✓ Précipitation à partir des solutions aqueuses
- ✓ Liaisons chimiques et mécanismes d'incorporation des éléments traces dans les solides
- ✓ Bases de géochimie des isotopes stables
- ✓ Utilisation pétrogénétique des éléments traces et des isotopes radiogéniques
- ✓ Bases de géochronologie

Compétences transverses

- ✓ Analyse bibliographique en anglais
- ✓ Rédaction des idées, décrire et interpréter une figure
- ✓ Connaissances de chimie générale

Modes d'évaluation

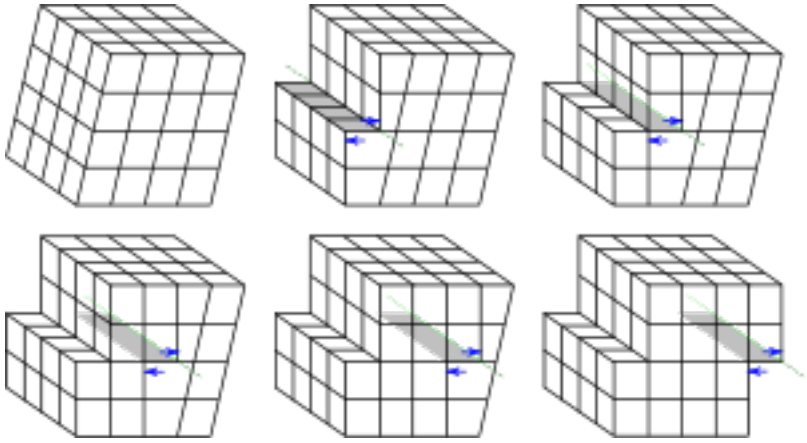
- ✓ 60% travail personnel
- ✓ 40% examen de cours

UE – LU3ST502 - Mécanique des milieux continus (ENS)

Responsable: Jean-Arthur Olive (Ecole Normale Supérieure), olive@biotite.ens.fr

Présentation générale et objectifs

L'objectif du cours est d'examiner le comportement mécanique des roches à différentes échelles de temps (de 10-3 s à 106 années) et d'espace (de 1 cm à 103 km). Les roches sont des solides composites. A une échelle spatiale suffisante, il est possible de définir leurs propriétés moyennes. Les concepts et résultats de la mécanique des solides constituent le cadre approprié pour analyser leur comportement. Les notions de contraintes et déformation sont introduites d'abord, les réponses mécaniques ensuite. En petite déformation, la réponse est élastique. C'est le cas de la sismologie et pour une large part, de la tectonique des plaques. En grande déformation, elle est fragile (failles, séismes) ou ductile (croûte profonde, manteau), selon la nature des roches et les conditions de pression et température.



Ça se déforme, ça glisse ou ça casse ?

Organisation des enseignements

30 h cours/TD

UE – LU3ST504 - Géodynamique et environnements sédimentaires

L'UE LU3ST504 est composée de deux parties : une partie « Environnements sédimentaires » et une partie « Géodynamique ».

Responsables : F. Rolandone (géodynamique), J. Schnyder (environnements sédimentaires)
Intervenants : P. Huchon, F. Rolandone, L. Jolivet, E. d'Acremont, N. Cubas, S. Boulila, D. Desmares, D. Do Couto, L. Emmanuel, L. Lecallonnec, S. Migeon, F. Minoletti, L. Riquier, J. Schnyder

Présentation générale et objectifs

Cet enseignement de L3 s'appuie sur les bases de connaissances acquises dans l'UE de L2 LU2ST403 « Sédimentologie & Tectonique ».
Après avoir acquis auparavant les bases de la reconnaissance des objets sédimentaires (figures sédimentaires, textures des roches détritiques et carbonatées, bioclastes, minéraux sédimentaires…), le but de cette partie « Environnements sédimentaires » est d'aborder les environnements sédimentaires continentaux et marins ainsi que l'identification des faciès sédimentaires sur le terrain, afin de proposer des reconstitutions paléoenvironnementales.

La partie Géodynamique interne a pour objectifs de :

- Comprendre les principes de base de la cinématique des plaques et de ses applications
- Connaître les principales caractéristiques des grands contextes géodynamiques (extension intracontinentale, accrétion océanique, grands décrochements, failles transformantes, subduction, collision…)
- Savoir manipuler des données sismotectoniques (mécanismes au foyer, GPS…) et d'imagerie sismique (réflexion et réfraction)
- Intégrer les objets élémentaires (failles, plis…) dans leur contexte global (transfert d'échelle

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

La partie environnements sédimentaires est composée de 7 cours de 2h et de 8 séances de TP de 2h.

Cours
Environnements fluviatiles
Plate-formes carbonatées
Environnements lacustres
Environnements littoraux silico-clastiques
Environnements pélagiques turbiditiques
Environnements pélagiques
Environnements évaporitiques

Travaux pratiques
Un système fluviatile : le Bassin de Lodève (2h)
La plate-forme carbonatée jurassique supérieur du Boulonnais (2 Tp=4h)
Littoraux silico-clastiques : la Molasse Marine de Digne (2)
Un système turbiditique : Peïra Cava et Grès d'Annot (2h)
Environnements pélagiques et volcano-sédimentaires (2 Tp=4h)
Un bassin évaportitique : le Bassin de Mulhouse (2h)

La partie géodynamique est composée de 11 cours de 1h et de 10 séances de TP de 2h.

1.Introduction générale, rappels sur la structure de la Terre et en particulier la lithosphère

2.Cinématique des plaques 1 (cinématique instantanée, modèles relatifs) TP Cinématique plane, jonctions triples
3.Cinématique des plaques 2 (modèles absolus, cinématique finie) -TD Mécanismes au foyer des séismes
4.Géodésie spatiale (GPS et InSAR) + TP Séries temporelles GPS & interprétation d'une image INSAR
5.Sismique réflexion et réfraction + TP Interprétation sismique
6.Gravimétrie, Isostasie, Relief+ TD Calcul et interprétation des anomalies gravimétriques & isostasie.
7.Extension continentale + TP Golfe de Corinthe
8.Extension continentale 2 + TP Marge de Galice
9.Dorsales océaniques + TP Golfe d'Aden
10.Subduction + TP Sumatra
11.Collision + TP Taiwan

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Connaissances disciplinaires

- Caractéristiques des grands contextes géodynamiques
- Cinématique des plaques
- Sismotectonique (géodésie et sismologie)
- Savoir reconnaitre les principales figures sédimentaires et les principaux bioclastes/éléments figurés
- Savoir identifier les principaux environnements de dépôts continentaux et marins
- Savoir analyser l'évolution verticale, au cours du temps des environnements de dépôts
- Savoir replacer les environnements de dépôt dans un contexte de bassin

Savoir faire disciplinaire

- Effectuer des calculs simples en cinématique instantanée
- Etablir le mécanisme au foyer d'un séisme à partir des arrivées d'ondes sismiques
- Calculer une vitesse de déplacement inter-sismique et un déplacement co-sismique à partir de séries temporelles GPS
- Interpréter un profil de sismique réflexion en temps double
- Déterminer sur un profil de sismique réfraction l'épaisseur et la vitesse des couches
- Intégrer ces différents types de données pour analyser un contexte géodynamique
- Analyser une lame mince carbonatée ou détritique en reconnaissant les principaux bioclastes et éléments figurés
- reconnaitre les principales figures sédimentaires
- avoir dessiner un log sédimentaire détaillé

Compétences transverses

Savoir rédiger clairement un texte, effectuer une recherche bibliographique, commenter un document.

Modes d'évaluation

Cours 30/100, TP 40/100, CC 30/100

UE Complémentaires S5

UE - LU3ST058 - Minéralogie

Responsables: Laurence Galoisy (laurence.galoisy@sorbonne-universite.fr) et Mathieu Chassé (mathieu.chasse@sorbonne-universite.fr)
Intervenants: Laurence Galoisy, Mathieu Chassé, Chrystèle Sanloup

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

La minéralogie est à la base des géosciences puisqu'elle offre une connaissance des matériaux qui constituent la Terre et les planètes. La composition, la structure et les propriétés physiques des minéraux contrôlent les processus physico-chimiques à l'œuvre dans tous les compartiments terrestres. Ces propriétés permettent aussi leur utilisation par l'homme comme ressource minérale. Cette UE offre un premier contact avec la minéralogie comme outil de compréhension du système Terre au travers de la diversité des informations extraites (géochimiques, pétrophysiques, géochronologiques, géothermométriques...). Elle offrira ainsi une vision complémentaire de celle de pétrologie magmatique et permettra d'appréhender les informations implicites de la nomenclature minéralogique employée au long de la licence Sciences de la Terre.
L'objectif est de se familiariser avec les savoirs fondamentaux de la discipline (cristal, minéral, constitution de la matière, formule structurale, structure cristallographique, propriétés macroscopiques et microscopiques des minéraux) ainsi que d'appréhender les techniques de caractérisation communes associées (microscopie optique, diffraction des rayons X, microscopies électroniques, spectroscopies) en vue de pouvoir répondre à des questions scientifiques variées (structure interne de la Terre, thermobarométrie, datation d'évènements géologiques, (paléo)conditions environnementales, cycles biogéochimique des éléments, propriétés utiles des matières minérales).
Cet enseignement s'appuiera sur un ensemble de pré-requis pluridisciplinaires : (1) structure et fonctionnement global du système Terre (niveau licence 2) ; (2) structure et organisation de la matière (chimie de licence 1) ; (3) optique (physique de licence 1) ; (4) géométrie (mathématiques niveau lycée).

La calcite, de l'assemblage d'atomes au contexte géologique et environnemental

Structure de la calcite | Biréfringence d'un spath d'Islande | Scalénoèdre de calcite hydrothermale | Calcite sableuse de Fontainebleau | Oeil de trilobite

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Les 6 ECTS seront répartis en 12 séances de cours (2h), 13 séances de TD (2h) et 3 séances de TP (2h), 2h supplémentaires seront réservées à un exposé oral. L'UE est divisée en quatre parties :

- Structure physico-chimique et cristallographique des minéraux : résolution d'une enquête scénarisée, construction d'une synthèse « boîte à outils » du minéralogiste (bilan commun, 2 h), exercices d'application en travaux dirigés (4 h).
- Approche systématique des relations structure–propriétés dans les minéraux : Cours magistraux suivis de travaux dirigés (20 h).
- Analyses minéralogiques : Cours magistral (2h) suivi de travaux pratiques sur plateformes instrumentales (6h) puis d'un compte-rendu oral (2h).
- Application à la compréhension des processus magmatiques et volcaniques : Cours magistraux suivis de travaux dirigés (20 h).

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Connaissances disciplinaires

- Interpréter une structure cristalline et l'arrangement des atomes en lien avec la composition chimique et l'environnement de formation du minéral.
- Lister, classifier et décrire les minéraux terrestres principaux, leurs caractéristiques, leurs occurrences et leurs usages.

Savoir faire disciplinaire

- Analyser les résultats issus des principales techniques de caractérisation minéralogique (microscopie optique ou électronique, diffraction des rayons X, spectroscopie) pour déterminer la nature et les propriétés physico-chimiques des minéraux.

Compétences transverses

- Déduire des informations géochimiques et géophysiques d'analyses minéralogiques pour comprendre des processus physico-chimiques à l'œuvre dans le système Terre.

Bibliographie

- Pour compléter le cours :
Montel, J.-M. & Martin, F. *Minéralogie: Cours et exercices corrigés*. (Dunod, 2014).
Nesse, W. D. *Introduction to Mineralogy*. (Oxford University Press, 2016).
- Pour la culture minéralogique :
Cordier, P. & Leroux, H. *Ce que disent les minéraux*. (Belin, 2008).
Farges, F. *À la découverte des minéraux et pierres précieuses*. (Dunod, 2018).

Modes d'évaluation

- 40 % examen final (écrit) ;
- 30 % contrôle continu (écrit à mi-parcours) ;
- 20 % travaux pratiques (présentation orale en milieu d'UE) ;
- 10 % projet (synthèse en début d'UE).

UE – LU3ST053 – Sols & Géomicrobiologie

Responsables : Georges ONA-NGUEMA & Thierry ALLARD
Intervenants :

- **Sols** : ALEXIS Marie, ALLARD Thierry,
- **Géomicrobiologie** : BENZARARA Karim, LELOUP Julie, MORIN Guillaume, ONA-NGUEMA Georges

Présentation générale de l'UE et objectifs

Les sols jouent un rôle de tout premier rang à l'échelle planétaire, à l'interface entre lithosphère, biosphère, hydrosphère et atmosphère. L'objectif de l'UE « Sols & Géomicrobiologie » comptant pour 6 ECTS est de fournir des connaissances de base et des éléments de réflexion sur la formation des sols et le fonctionnement des écosystèmes naturels (sols, sédiments, aquifères), dans un esprit pluridisciplinaire. L'accent est mis sur les processus biogéochimiques, traités à différentes échelles. L'UE aborde les notions de Sol et de Géomicrobiologie et souligne le rôle clé, actuel et passé, des microorganismes dans les processus géochimiques et minéralogiques de la surface de la Terre, depuis les milieux extrêmes jusqu'aux agrégats du sol.

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

1/ Notions sur les sols

1.1. Cours magistraux (10h)

- ***Généralités*** (T. Allard) : définitions, « équation de l'altération », facteurs de formation, constituants minéraux et organiques, minéraux primaires, séq. Goldich, minéraux secondaires, matière organique, physique de l'eau, chimie de l'eau / diagramme de Goldschmidt, fonctions du sol (agent et témoin du climat, agriculture, ressource minière, filtre des polluants), âge du sol (relatif et absolu : ^{14}C, K/Ar, défauts d'irradiation des argiles)
- ***Minéralogie*** (T. Allard) : minéraux argileux (kaolinite, smectite), oxydes de fer (hématite, maghémite), oxyhydroxydes de fer (ferrihydrite, goethite, lépidocrocite), (hydr)oxydes ferreux-ferriques (rouilles vertes, magnétite), hydroxydes et oxyhydroxydes d'aluminium (gibbsite, boehmite, diaspore), bauxites, sels (carbonates, halite, gypse)
- ***Propriétés*** (T. Allard) : texture, surface spécifique, structure, propriétés physico-chimiques, acidité, charges permanentes, charges variables, point de charge nulle, pouvoir tampon, Capacité d'Echange Cationique, couleur, retrait gonflement
- ***Processus majeurs*** (T. Allard) : formation des silicates secondaires, zonation climatique, sols latéritiques, datation par les défauts d'irradiation de la kaolinite, hydromorphie, podzolisation, modèle d'évolution en Amazonie, brunification, bisiallitisation, monosiallitisation, allitisation
- ***Biologie du sol*** (M. Alexis) : Pourquoi ? Qui ? Combien ? Quoi ? organismes (taille, fonction, quantité), relation sol-plante (racine et rhizosphère), zoom sur l'humus (interface organo-minérale)
- ***Eau du sol*** (M. Alexis) : définitions (teneur en eau, densité, porosité), comportement physique de l'eau dans le sol (différentes eaux du sol, capillarité et potentiel, l'eau pour les plantes, circulation), Chimie de l'eau du sol : rappels sur l'eau et les solutions, passage par le sol, acidité, composition, pH, rôle de la solution du sol

- ***Distribution des sols et usages*** (M. Alexis) : distribution des sols en France et dans le monde ; Quels sont les déterminants des différents usages ?

1.2. Travaux dirigés (10h)

- TD1 (T. Allard) : surface spécifique, bilans d'altération sur des profils de latérites (diagramme ternaire)

- TD2 (T. Allard) : diffraction des rayons X sur argiles et (oxy-hydr)oxydes de fer, calculs de reconstitution normée

- TD3 (T. Allard) : Examen de monolithes de sol, reconnaissance des horizons, processus majeurs d'altération des silicates (équilibrage des équations et calculs de bilans de matière)

- TD4 (M. Alexis) : Biologie du sol (interaction entre la racine et son environnement, humus et dynamique du carbone, rôle des vers de terre dans le fonctionnement du sol

- TD5 (M. Alexis) : Distribution et usage des sols

2. Notions sur la géomicrobiologie

2.1. Cours magistraux (12h)

- ***Généralités*** (G. Ona-Nguema) : présentation de l'organisation de l'UE, thèmes abordés en géomicrobiologie (CM, TD, TP), arbre de la vie et les domaines de la Biologie (botanique, zoologie, microbiologie : virologie, mycologie, parasitologie, bactériologie), structure et organisation d'une cellule procaryote (organisation des enveloppes des bactéries à coloration Gram-négative et Gram-positive)

- ***Introduction à la Géomicrobiologie*** (G. Ona-Nguema) : interactions entre microorganismes et constituants géologiques des sols et sédiments, quelques exemples de milieux propices au développement des microorganismes

- ***Colonisation des milieux par les microorganismes*** (G. Ona-Nguema) : importance des métabolismes microbiens (production énergétique et biosynthèses), adaptation, approvisionnement en énergie, division cellulaire et multiplication, exemples de conséquences visibles des interactions entre microorganismes et constituants géologiques des milieux (notions de cycles biogéochimiques du fer, de l'azote, etc.)

- ***Principaux types nutritionnels chez les microorganismes*** (G. Ona-Nguema) : définitions (métabolisme, anabolisme, catabolisme), sources d'énergie, d'électrons et de carbone, notions de phototrophie et chimiotrophie (chimio-organotrophies, chimio-lithotrophies), respirations (aérobie et anaérobies) et fermentations, notions de biosynthèses (photosynthèses et chimiosynthèses : autotrophie, hétérotrophie, mixotrophie, méthylotrophie)

- ***Biominéralisations par les microorganismes*** (K. Benzerara) : exemples concrets de divers biominéraux microbiens (Etretat, diatomite, stromatolite), voir et identifier une roche biogénique

- ***Conditions thermodynamiques nécessaires pour la formation d'un minéral***
(K. Benzerara) : calcul des concentrations à l'équilibre chimique à partir d'une constante de solubilité, comment le métabolisme des microorganismes change les conditions chimiques d'un milieu (écrire des équations bilan)

- ***Exemple de biominéralisation contrôlée*** (K. Benzerara) : bactéries magnétotactiques, un biominéral peut avoir un avantage sélectif, lien entre gène et formation de minéral, introduction aux apports de la génétique et de la génomique

- ***Diversité des écosystèmes microbiens*** (J. Leloup) : diversité microbienne, les bactéries (composition des membranes), diversité morphologique, les archées (composition des membranes), diversité morphologique, les virus (en simplifié)

- ***Répartition des microorganismes*** (J. Leloup) : environnement extrême ? les thermophiles (volcans, fumeurs noirs, sources hydrothermales), les psychrophiles (glaciers, permafrost, océans profonds), les barophiles, les halophiles (great salt lake…), les acidophiles (soda lake), fonctionnement des océans profonds en l'absence de lumière

- ***Cycles biogéochimiques des éléments traces*** (G. Morin) : sources naturelles et anthropiques, éléments de transition, métalloïdes, métaux lourds, éléments traces, polluants, contaminants, définitions, notions de spéciation, biodisponibilité, toxicité, solubilité, solvatation des ions, diagramme de Goldschmidt, interaction solide-solution, charge de surface des minéraux, adsorption

- ***Domaines de stabilité redox*** (G. Morin) : diagrammes Eh-pH de As et U, cycles biogéochimiques de l'arsenic et de l'uranium

2.2. Travaux dirigés (12h)

- TD1 (G. Ona-Nguema) : correction d'un examen - équations redox pour l'approvisionnement en énergie chez les bactéries chimiolithotrophes, chimioorganotrophes, photolithotrophes, photoorganotrophes

- TD2 (G. Ona-Nguema) : voies métaboliques communes entre fermentations et respirations pour l'approvisionnement en énergie chez les bactéries chimioorganotrophes, rendement dans la production d'énergie à partir du glucose

- TD3 (K. Benzerara) : « Procédé de dephosphatation des eaux » / « Précipitation de phosphate de calcium par des bactéries », écrire une constante d'équilibre de réaction, trouver le domaine de prédominance en pH de différentes formes acido-basiques, calculer la concentration d'espèces chimiques à partir d'une constante d'équilibre et des concentrations des autres espèces, lire des diagrammes montrant une évolution temporelle de paramètres chimiques dans une culture, écrire des équations bilans, calculer la sursaturation d'un milieu vis-à-vis d'une phase minérale

- TD4 (K. Benzerara) : « Transferts d'électrons entre bactéries et minéraux – application à la production d'énergie », notions générales d'oxydo-réduction (définitions), oxydoréduction du fer et métabolismes microbiens associés (identifier oxydant/réducteur, écrire une réaction d'oxydoréduction), place du cycle du fer dans des environnements actuels et passés, oxydo-réduction du fer et précipitation de phases minérales (lire des diagrammes Eh-pH), transferts d'électrons chez les bactéries ferri-réductrices

- TD5 (G. Morin) : « bioremédiation et traitement de l'arsenic dans les eaux : sites miniers, potabilisation », drainages miniers acides, écrire l'oxydation de la pyrite par l'oxygène et par le Fe^{3+}, définition du pE/Eh, loi de Nernst, principe de construction du diagramme Eh-pH du fer, relation entre pE et ΔG, échelle des pE, règle du « gamma », montrer que l'oxydation du fer(II) par O_2 est thermodynamiquement favorable, comprendre la catalyse de l'oxydation par *Thiobacillus ferrooxydans*, application pour la bioremédiation des sites miniers contaminés par l'arsenic, potabilisation, rôle des biofilms neutrophiles micro-aérophiles

- TD6 (J. Leloup) : « fonctionnement de la rhizosphère », conséquences de la présence d'une racine sur les propriétés physico-chimiques du sol, communautés bactériennes et rhizosphère, interactions entre espèces végétales, communautés fongiques et diversité du couvert végétal

3. Exposés sur articles scientifiques en lien avec les sols et la géomicrobiologie (4h)

Les étudiants effectuent un travail personnel par binôme pour préparer les exposés qui portent sur des articles publiés dans des journaux scientifiques, de type *CR Geoscience* et *Clays and Clay Minerals,* en lien direct avec les thèmes abordés en cours. L'évaluation est enregistrée comme une note de travaux pratiques pour permettre aux étudiants qui redoubleraient de la conserver pour l'année de redoublement

3.1. Exposés sur le thème des sols

- Nahon D. (2003) Altérations dans la zone tropicale. Signification à travers les mécanismes anciens et/ou encore actuels, *C. R. Geoscience,* 335, 1109–1119.

- Meunier J.-D. (2003) Le rôle des plantes dans le transfert du silicium à la surface des continents, *C. R. Geoscience*, 335, 1199–1206.

- Balan E., Fritsch E., Allard T. & Calas G. (2007) Inheritance vs neoformation of kaolinite during lateritic soil formation: a case study in the middle Amazon basin, *Clays and Clay Minerals*, 55, 253–259.

- Nguetnkam J. P., Kamga R., Villiéras F., Ekodeck G. E., Yvon J. (2008) Altération différentielle du granite en zone tropicale. Exemple de deux séquences étudiées au Cameroun (Afrique centrale), *C. R. Geoscience*, 340, 451–461.

3.1. Exposés sur le thème de la géomicrobiologie

- Berthelin J., Ona-Nguema G., Stemmler S., Quantin C., Abdelmoula M., Jorand F. (2006) Bioreduction of ferric species and biogenesis of green rusts in soils, *C. R. Geoscience*, 338, 447–455.

- Benzerara K., Miot J., Morin M., Ona-Nguema G., Skouri-Panet F., Férard C. (2011) Significance, mechanisms and environmental implications of microbial biomineralization, *C. R. Geoscience,* 343, 160–167.

- Charlet L., Morin G., Rose J., Wang Yh., Auffan M., Burnol A., Fernandez-Martinez A. (2011) Reactivity at (nano)particle-water interfaces, redox processes, and arsenic transport in the environment, *C. R. Geoscience,* 343, 123–139.

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'UE)

Connaissances disciplinaires

- Minéraux secondaires et leurs propriétés physico-chimiques
- Processus d'altération des silicates
- Physique et chimie de l'eau du sol
- Matière organique et biologie du sol
- Processus de colonisation des milieux par les microorganismes : conséquence de l'approvisionnement en énergie et des biosynthèses
- Relation entre métabolismes microbiens et thermodynamique des réactions géochimiques
- Rôle des microorganismes dans le transfert des polluants inorganiques
- Déterminants de la distribution des sols dans le paysage ; facteurs impliqués dans leur usage

Savoir faire disciplinaire

- Equilibrer des équations chimiques acido-basiques et d'oxydo-réduction
- Utiliser un diagramme ternaire
- Lire un diffractogramme de rayons X
- Etablir un bilan de matière dans un profil de sol
- Comprendre et interpréter une figure décrivant des expérimentations de laboratoire et de terrain
- Identifier la nature d'un humus
- Lire et interpréter des cartes pédologiques et d'usage des sols

Compétences transverses

- Lire et comprendre un article scientifique
- Interpréter les données d'une figure issue d'un article scientifique

Modes d'évaluation

- 40 % exposés (TP)
- 60 % cours et TD

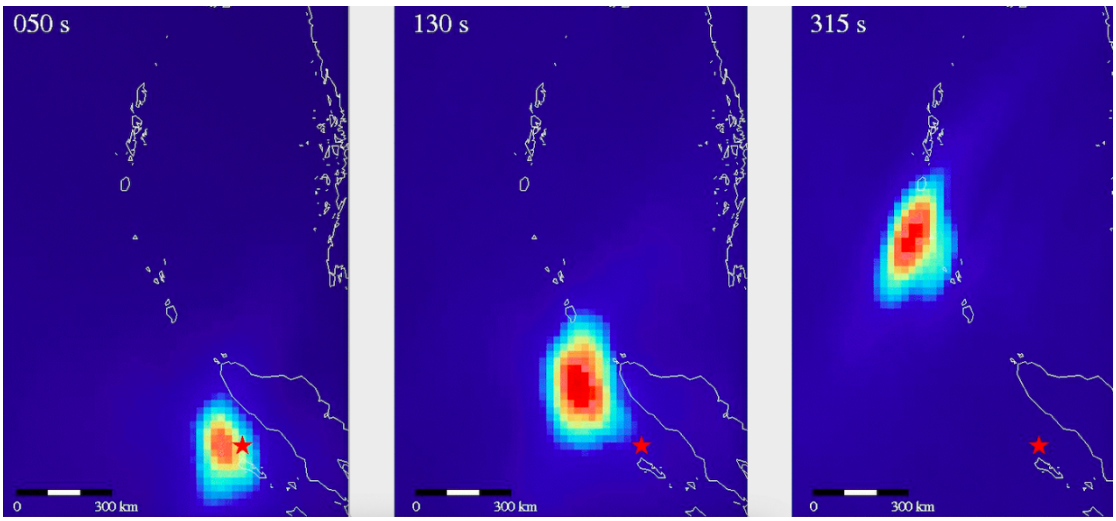
UE – LU3ST057 – Séismes, ondes et images

Responsable : Frédérique Rolandone

Intervenants : Frédérique Rolandone & Elia d'Acremont

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

L'étude des séismes et des ondes comporte plusieurs éléments : la première partie de cette UE se focalise sur la source sismique (sismogenèse) et la deuxième partie porte sur l'observation et la mesure de la propagation des ondes entre la source et le lieu d'observation.
Dans la partie sismogenèse, les lois d'échelle qui régissent les séismes sont étudiées, et les concepts de lacunes sismiques, aspérités et barrières au cours du cycle sismique sont abordés. L'objectif principal de cette partie est de caractériser la source sismique et de montrer comment est imagée l'évolution temporelle et spatiale de la rupture sismique. Cette première partie permet aux étudiants d'acquérir des connaissances de base en sismologie et d'étudier des exemples de grands séismes récents. Dans la deuxième partie la source sismique est cette fois « artificielle ». Les méthodes d'imagerie sismique réflexion et réfraction basées sur la mesure de la propagation des ondes sismiques seront étudiées. L'objectif principal de cette partie est de comprendre quels sont les principes d'acquisition de ces données, les limites de résolutions, les traitements de base pour visualiser ces données. Cette deuxième partie permet aux étudiants d'acquérir des connaissances sur les notions d'équation d'ondes, de trace sismique, de forme d'onde et contraste d'impédance afin d'avoir un œil critique pour l'interprétation de ces données.



Variation spatio-temporelle de la rupture du séisme de Sumatra

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

9 CM de 2h & 11 TP de 2h

Partie Sismologie-Sismogenèse : 5 CM de 2h et 7 TP de 2h
Partie Imagerie Sismique : 4 CM de 2h et 4 TP de 2h

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Connaissances disciplinaires

- Théorie de l'élasticité et les différents types d'ondes (acquis)
- Propagation des ondes élastiques (acquis)
- Méthodes d'imagerie sismique réflexion et réfraction (acquis)
- Résolution des données sismique
- Trace sismique
- Coefficient de réflexion
- Source sismique (en cours d'acquisition)
- Tenseur des moments (acquis)
- Echelles de magnitude (acquis)
- Directivité et fonction source des séismes (acquis)

Savoir faire disciplinaire

- Sens critique pour l'interprétation des données de sismique (artéfacts ; résolutions…)
- Pointés d'arrivées d'ondes sismique, modèles de vitesse et couches
- Calcul d'équations d'ondes
- Les ondes sismiques et leur sens physique
- Analyse de la fonction source d'un séisme
- Calcul des moments sismiques

Compétences transverses

Utilisation de logiciel de visualisation de traces sismique (SeiSee)
Rédaction, commentaire de documents,

Modes d'évaluation

- 40 TP
- 20 CC
- 40 Cours

UE - LU3ST059 - Océanographie

Responsables: Alban Lazar (alban.lazar@ sorbonne-universite.fr) et Guillaume Gastineau (guillaume.gastineau@sorbonne-universite.fr)
Intervenants: Alban Lazar, Guillaume Gastineau

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Ce module utilisera les notions de mécaniques et de thermodynamique pour comprendre la dynamiques des grands courants océaniques. Les liens entre courants, biogéochimie et climat seront abordés, ainsi que les grandes questions environnementales associées.

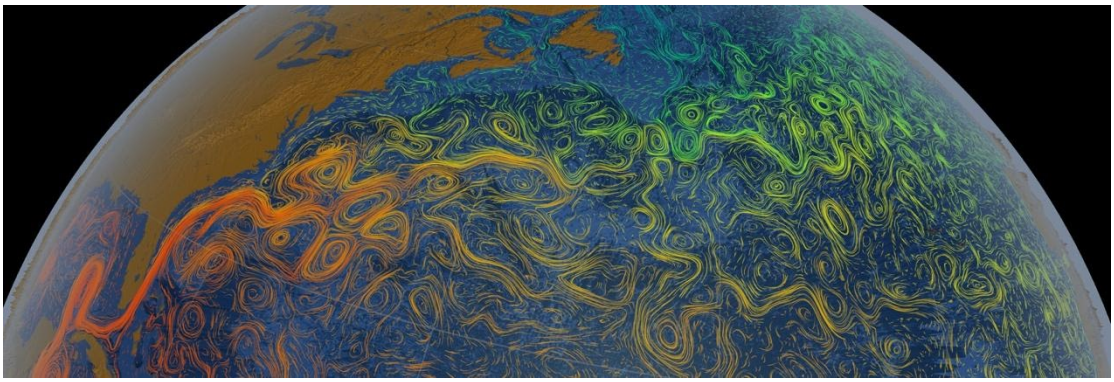


Figure : Courant océanique coloré selon la température océanique de surface, à partir de la base de données ECCO2 (from NASA Scientific Visualisation Studio, https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=3913).

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

6 ECTS répartis en 10 séances de cours (2h), 10 séances de TD (2h), 10 séances de TP de 2h (analogiques et numériques)

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Connaissances disciplinaires

- Savoir décrire les principaux courants océaniques, et comprendre leur dynamique.
- Savoir décrire les équations de la mécanique de fluides et en déduire les grands équilibre en œuvre dans l'océan
- Savoir décrire les liens entre courants océaniques et biogéochimie.
- Savoir caractériser les grands types d'ondes dans l'océan.
- Savoir décrire l'importance de l'océan pour les activités humaines et le climat.

Savoir faire disciplinaire

- Comprendre et appliquer les équations de l'équilibre géostrophique à la circulation océanique.
- Comprendre et appliquer les équations des courants d'Ekman.
- Comprendre, quantifier et interpréter les grands équilibres énergétiques à diverses échelles de temps (saisonnier, interannuelle, ou dans le futur).
- Savoir appliquer les notions de thermodynamiques et de mécaniques à l'océan.

Compétences transverses

Ce module sur l'océan s'appuiera et viendra renforcer les savoir-faire acquis en mécanique, thermodynamique et en météorologie. Il sensibilisera aux problématiques des grands problèmes environnementaux du XXIème siècle. Il s'appuiera sur des TD classiques (analyses numériques quantitatives, études de cartes, de diagrammes), des TP analogiques sur cuve tournante, ainsi que de l'analyse de données avec des outils de programmation.

Bibliographie :

Fieux, M. *L'océan planétaire*. Les Presses de l'ENSTA. 01/2020 (2ème édition).
Trujillo, A.P, Thurman, H.V.. Essentials of Oceanography, 12th edition.

Modes d'évaluation

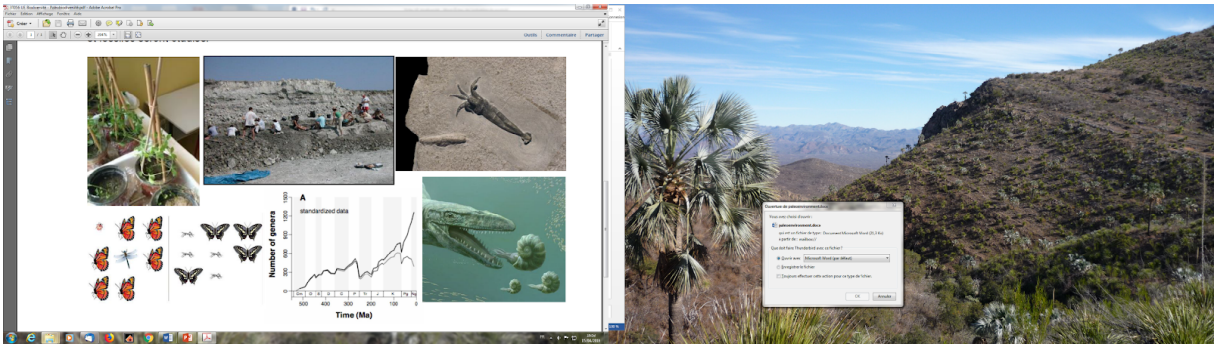
- 40% examen final
- 40% projet ou TP
- 20% CC

UE – LU3ST056 – Biodiversité et Paléobiodiversité

Responsable : Carine RANDON (carine.randon@upmc.fr)
Intervenants : Carine Randon, Loic Villier, Anais Boura, Johan Schnyder (Sorbonne)
Ronan Allain, Sylvain Charbonnier (MNHN)

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

L'objectif de l'UE est de présenter aux étudiants une vision d'ensemble de la biodiversité actuelle et fossile à travers les différents concepts et méthodes utilisés à la fois en biologie et paléontologie, et leurs applications pour la compréhension des écosystèmes.
Différents exemples concrets et expériences impliquant des groupes et écosystèmes actuels et fossiles seront étudiés.



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

20h de cours, 30h de TP/TD, 10h de travail personnel

Compétences développées et attendus

Connaissances disciplinaires

- **N**otions de (paléo)écologie (population vs peuplement, niche écologique, interactions biotiques,…)
- Les différents types de biodiversité (génétique, morphologique,…)
- Connaître les différents indices d'estimation de la (paléo)biodiversité et savoir les utiliser
- Connaître les caractéristiques des écosystèmes marins et continentaux et leurs contraintes sur les populations
- Connaître les différents types de lagerstätten
- Utiliser la préservation de l'organisme pour reconstituer son histoire taphonomique
- Savoir identifier les indices de déplacement
- Connaître les biais aux reconstructions paléoenvironnementales

Savoir faire disciplinaire

- Rédaction d'un compte rendu d'expérience scientifique
- Utilisation de la Paleobiology Database
- Indices de biodiversité
- Méthode CLAMP

Modes d'évaluation

- 20% TP, 30% projets personnels, 50% cours

UE – LU3ST055 - Ressources

Responsable : Laurence Galoisy (laurence.galoisy@sorbonne-universite.fr) – François Baudin (françois.baudin@ sorbonne-universite.fr)
Intervenants : L. Galoisy – F. Baudin – V. Plagnes – G. Ona-Nguema

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Les ressources minérales et énergétiques et les ressources en eau sont à la base du développement de nos sociétés. Elles correspondent à des domaines de grande actualité et en pleine expansion, au carrefour de grandes disciplines fondamentales et appliquées.

Cette UE présentera ainsi les minerais et minéraux industriels, la diversité des grands types de gisements de matières premières minérales, les principaux types de ressources énergétiques et la problématique spécifique de la ressource en eau, incluant les aspects liés au traitement de l'eau. Les enjeux liés au développement durable et à la gestion des impacts environnementaux seront présentés.

Mine de nickel – Nouvelle Calédonie

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

20 séances de TD, # 10 cours

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E.)

Connaissances disciplinaires

Pétrologie et minéralogie des gisements, Hydrogéologie, Géologie pétrolière

Savoir-faire disciplinaire

Utilisation des ressources dans un contexte environnemental : relation ressources / grands processus géologiques, impacts environnementaux

Compétences transverses

Familiarisation avec anglais technique, recherche bibliographique, exposés

Modes d'évaluation

Examen écrit 60%, TD et exposés 40%

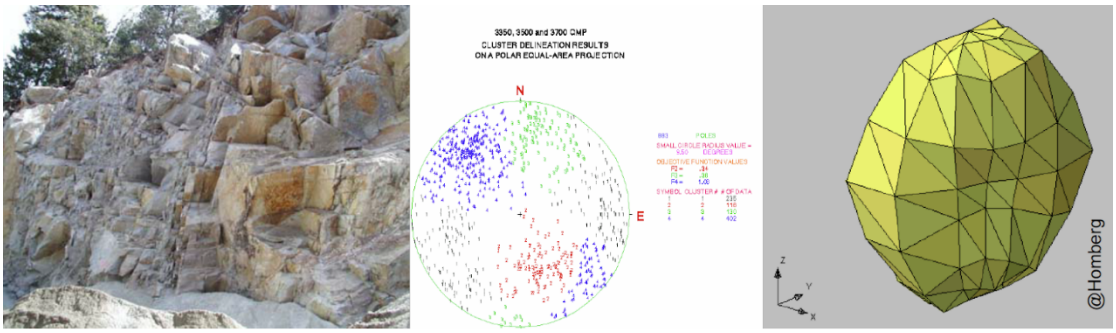
UE du S6

UE – LU3ST612 – Approche Intégrée en Géosciences (AIG)

Responsable : Sophie Violette (sophie.violette@sorbonne-universite.fr)
Intervenants : Catherine Homberg (catherine.homberg@sorbonne-universite.fr) ;
Johann Schneider (johann.schnyder@sorbonne-universite.fr)

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Le module **Approche Intégrée en Géosciences** est un **module méthodologique** qui à pour objectifs de vous apprendre : l'interdisciplinarité en géosciences, à commenter des documents et d'en créer de nouveaux qui soient synthétiques, à rédiger une synthèse et à présenter votre travail à l'oral.
La complémentarité des disciplines en géoscience est illustrée grâce à un objet géologique, le **bassin de Paris**, et à un fil conducteur représenté par une thématique à finalité opérationnelle, l'**Eau**.



De gauche à droite : affleurement d'une formation géologique fracturée où sont mesurés des plans de fracturation, report des pôles des plans de fracturation sur un canevas et ellipsoïde des propriétés hydrauliques.

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

A chaque séance le travail est organisé en sous-groupes (3-5 étudiants selon l'effectif). Il vous sera demandé de répondre à un questionnaire scientifique vous permettant d'analyser et de commenter de façon argumentée les documents mis à disposition. Chaque séance constitue une étape dans le cheminement scientifique de la thématique. Il s'agira essentiellement de combiner approches/ notions/outils acquis aux cours des modules de la Licence.

La thématique sera déclinée en 7 séances de TD de 4h, et une séance de 2h pour préparer à l'oral.

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E.)

- Valoriser de façon originale ses acquis en Géoscience (toutes disciplines)
- Acquérir des savoirs méthodologiques fondés sur des données variées
- Quantifier de façon simple des processus physiques
- Développer son ouverture d'esprit, son esprit critique et son esprit de synthèse
- Acquérir la maîtrise de la rédaction d'une synthèse et de l'exposé à l'oral

Modes d'évaluation

- 10% - Contrôle continu (synthèse à chaque séance de TD) Les étudiant-es devront choisir une thématique en rapport avec le bassin de Paris et montrant l'apport de la pluridisciplinarité. Cette thématique sera illustrée par un poster. Le poster servira de support pour une présentation à l'oral et donnera l'occasion d'un échange de questions/réponses.
- 30% - Mise en forme, présentation et réponses aux questions du poster
- 20% - Rédaction du résumé du poster et commentaire d'une figure de synthèse issu du poster (nombre de mots limité).

UE - 3T603 - Terrain L3

Responsable : Erwan Martin (erwan.martin@sorbonne-universite.fr)
Intervenants : Marie Alexis, Hélène Balcone-Boissard, Nicolas Bellahsen, Laurence Galoisy, Loïc Labrousse, Alban Lazar, Laurent Jolivet, Erwan Martin, Laurent Riquier, Maryse Rouelle, Diana Ruiz-Pino, Loïc Villier.

Présentation générale de l'U.E.

Stage de terrain au choix parmi les stages suivants (liste susceptible de varier d'une année sur l'autre):
- environnement et patrimoine
- géochimie sol-eau
- océanographie
- sédimentologie-stratigraphie-paléontologie
- tectonique
- volcanologie

Organisation des enseignements et descriptifs des stages

Stage d'une semaine environ. Attention: le lieu des stages peut varier d'une année sur l'autre.

Stage Environnement et patrimoine

Lieu: Bourgogne/5 jours
Encadrants: L. Galoisy (SU-S), S. Balcon Berry (SU-L), D. Sandron (SU-L) et P. Lefebvre (moniteur SU-S)

Ce stage de terrain mixte entre les deux facultés des Sciences et des Lettres de SU, vise à familiariser les étudiants scientifiques et littéraires avec les matériaux utilisés par l'homme au cours de l'histoire : grottes ornées, monuments gallo-romains et principaux monuments de l'époque romane de la région d'Auxerre. L'aspect historique (histoire de la mise en œuvre des matériaux) est complété par la présentation de l'exploitation des gisements des matériaux utilisés, par une visite d'une des principales carrières de calcaire monumental en France ainsi que par une introduction à l'archéologie expérimentale.

Stage Géochimie sol-eau

Lieu: Oise.
Encadrants: M. Alexis, M. Rouelle

Ce stage de terrain sera dédié à l'identification des facteurs à l'origine de la diversité des sols et à l'étude des intéractions géochimiques entre sol et eau. Le stage permettra d'aquérir les compétences nécessaires à la description des sols par l'observation de terrain et permettra de se former aux méthodes de prélèvement et d'analyses chimiques de terrain.

Stage Océanographie

Lieu: Villefranche-sur-mer.
Encadrants: A. Lazar, D. Ruiz-Pino

Introduction à l'organisation, la réalisation et l'analyse d'une campagne en mer à bord de la Sagitta III ou d'autres navire de la Flotte océanographique côtière française, dédiée à la mesure de quantités clés de la physique (profils de température, salinité, densité), l'optique (diffusiométrie), la biogéochimie (oxygène et pH) et la biologie marines (chlorophylle et plancton).

Stage Sédimentologie-stratigraphie-paléontologie

Lieu: Bourgogne.
Encadrants: L. Riquier, L. Villier

Ce stage de terrain vise à reconstituer la structure et l'histoire géologique d'un système sédimentaire récifal Jurassique en intégrant un large éventail de données paléontologiques, sédimentologiques, stratigraphiques et cartographiques. On s'intéressera également à l'étude de ces roches carbonatées en tant que reservoir exploitable par l'industrie pétrolière.

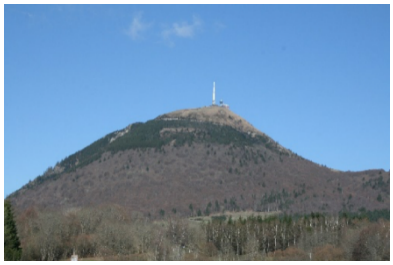
Stage Tectonique

Lieu: Pyrénées orientales.
Encadrants: L. Labrousse, L. Jolivet, N. Bellahsen

Etude des marqueurs de la déformation en domaine cassant (Corbières) puis ductile (Cap Creus). Etudes des marqueurs de la déformation depuis l'échelle de l'affleurement à celle des grandes structures (zones de cisaillement, plis, nappes, ...). Ce stage est complémentaire de l'initiation à la cartographie (stage L3 Barles) et de l'étude des orogènes (stage M1 Alpes et M2 Pyrénées).

Objectifs: appréhension quantitative de la deformation finie a toutes les échelles, représentation stéréographique et 3D des structures géologiques, observation des liens entre minéralogie et deformation dans les unités de socle et de couverture, mise en évidence de mécanismes localisants.

Stage Volcanologie



Lieu: Italie (7 jours) ou Auvergne (6 jours).
Encadrants: H. Balcone-Boissard, E. Martin, C. Honthaas

Etude du volcanisme récent du Massif Central (chaîne des Puys et massif du Sancy). À partir des dépôts volcaniques observés sur le terrain, nous reconstruiront les principaux styles éruptifs et l'histoire volcanique de la région.
Etude du volcanisme actif en Italie (champs Phlégréens, Vésuve et Stromboli). A partir d'observations des édifices volcaniques actifs, de leur activité et de leurs dépôts, nous discuterons la diversité des styles éruptifs et des risques associés.

Objectifs: prendre toute la dimension dynamique des édifices volcaniques, de leurs activités et de leurs conséquences

Modes d'évaluation: variables selon le stage suivi, mais pourront être

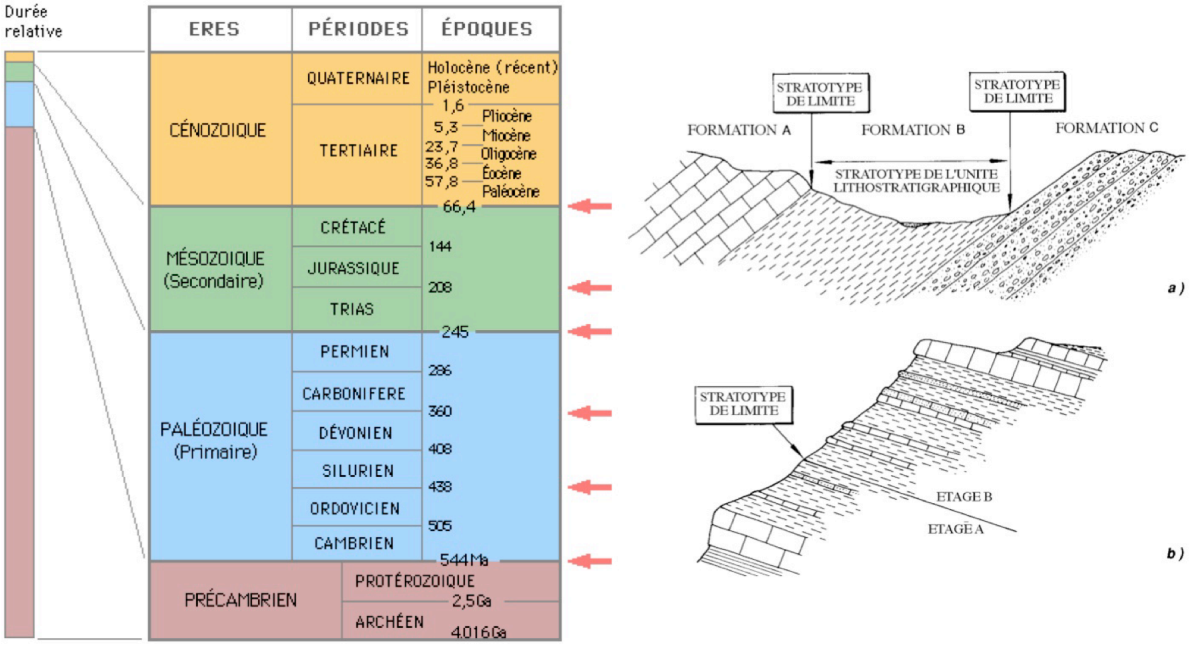
- carnet de terrain
- exercices sur le terrain
- recherche bibliographique en amont du stage avec présentation orale sur le terrain

UE - LU3ST609 - Stratigraphie

Responsables : Slah Boulila & Christian Gorini
Intervenants :
Annachiara Bartolini, MNHN (Biostratigraphie & biochronologie)
Slah Boulila SU (Cyclostratigraphie & astrochronologie)
Bruno Galbrun CNRS-SU (Magnétostratigraphie)
Christian Gorini SU (Stratigraphie sismique et séquentielle)
Laurent Riquier SU (Chimiostratigraphie, radiochronologie)

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Les notions de base et les méthodes de la stratigraphie (lithostratigraphie, biostratigraphie, chimiostratigraphie, magnétostratigraphie, etc.), indispensables aux futurs géologues, seront présentées pendant les séances de cours. D'autres approches utilisées aussi bien par les mondes académique et industriel, comme la stratigraphie séquentielle et sismique, la cyclostratigraphie, seront également abordées. Toutes ces méthodes et notions seront illustrées à travers des exemples concrets pendant les séances de TP. Les objectifs et implications de la stratigraphie seront discutés, en fonction de la méthode utilisée, tels que l'étude des variations paléoclimatiques et du niveau marin, différents types de datation stratigraphique,... Enfin, des synthèses de différentes approches, dans un contexte de stratigraphie intégrée, seront menées, par exemple, pour la construction de l'échelle chronostratigraphique internationale.



En a) définition des Formations (lithostratigraphie) ; en b) formalisation des limites d'étages, nécessaires à la construction de l'échelle chronostratigraphique de référence (à gauche, version simplifiée).

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

12 cours x 2h = 24h; 12 TP x 2h = 28h (+ 4h?

C1	Lithostratigraphie, biostratigraphie et chronostratigraphie	**TP1**	Biostratigraphie : datation relative par les ammonites
C2	Biochronologie: méthodes mathématiques quantitatives vs méthodes classiques	**TP2**	Exercices sur la biochronologie
C3	Radiochronologie isotopique	**TP3**	Radiochronologie isotopique
C4	Magnétostratigraphie	**TP4**	Lithostratigraphie (1) : observation et reconnaissance de faciès (lames minces, échantillons lithologiques) présents dans des coupes d'une même région
C5	Astrochronologie et Cyclostratigraphie	**TP5**	Lithostratigraphie (2) : corrélations des coupes lithologiques à travers les observations effectuées dans le TP3
C6	La charte chronostratigraphique internationale	**TP6**	Magnétostratigraphie : Etablissement des séquences de polarité
C7	Introduction aux notions de la stratigraphie séquentielle	**TP7**	Astrochronologie : exemple du Néogène
C8	Eléments de stratigraphie sismique	**TP8**	Eléments de stratigraphie séquentielle : exercices
C9	Méthodes physiques en stratigraphie : la diagraphie	**TP9**	Application des diagraphie aux réservoirs pétroliers
C10	Chimiostratigraphie (1) : géochimie isotopique et des éléments traces	**TP10**	Chimiostratigraphie : méthodes et applications
C11	Stratigraphie spécifique "tidale" (les tidalites)	**TP11**	Stratigraphie intégrée : étude d'événements géologiques
C12	Stratigraphie du Quaternaire	**TP12**	Stratigraphie du Quaternaire

Modalités d'évaluation

Ecrit : 50 points
TP : 40 points

UE – LU3ST607 - Géochimie Appliquée

Responsable :P. Zuddas
Intervenants : M. Rouelle, S. Huon

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Cet enseignement décrit le fonctionnement chimique des systèmes naturels et l'impact de l'activité humaine sur ces systèmes. Il développe les principes et les méthodes applicables à la compréhension et à la résolution des problèmes environnementaux.
Les concepts concernant les équilibres chimiques dans les eaux naturelles (réactions acide-base et redox dans les eaux et réactions eau-minéraux) sont intégrés dans le contexte d'un problème et d'un environnement spécifique. Les propriétés des isotopes stables et radiogéniques seront aussi présentées. Les processus et problèmes étudiés seront choisis dans des environnements continentaux et/ou marins. L'analyse des enregistrements historiques des pollutions dans les sédiments complète l'enseignement avec la notion temporelle de dynamique environnementale.

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

L'enseignement est organisé sous forme de cours (24H) de travaux dirigés (26H) et de projet (10H)

Principes de l'interaction eau –roche par l'approche d'équilibre :
Réactions acide-base, redox et complexation dans les eaux naturelles et recherche des espèces actives. Réactions de dissolution et précipitation des minéraux.
Comportement des éléments en mineurs dans les eaux continentales.
Comportement des isotopes stables.
Comportement des gaz dissout dans les eaux souterraines.
Caractérisation des flux d'eau et de matière en milieu lacustre.

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Connaissances disciplinaires

Eléments théoriques et pratiques de géochimie appliqués aux eaux naturelles pour comprendre les processus d'interaction avec d'autres composants des écosystèmes : classification des eaux naturelles et capacité à évaluer leur qualité chimique en relation avec l'état des écosystèmes.

Capacité à traiter et à évaluer la qualité des données analytiques : utilisation de calculs thermodynamiques simples (force ionique, activité ionique, indice de saturation, interprétation des diagrammes d'état). Interprétation et signification environnementale des fractionnements des isotopes stables et radiogéniques.

Savoir faire disciplinaire

Capacité à étudier et à distinguer les différents processus impliqués dans des systèmes naturels intacts ou pollués.

Compétences transverses

Rédaction, analyse de laboratoire des éléments majeurs d'une eau naturelle

Modes d'évaluation

Deux C.C. pendant les cours ou un examen final si les évaluations de progrès ne sont pas réussies. La préparation d'un projet final complétera la note globale.

UE – LU3ST605 – Pétrologie métamorphique

Responsables : Anne Verlaguet et Philippe Agard (anne.verlaguet@sorbonne-universite.fr)
Intervenants : Anne Verlaguet, Philippe Agard

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

L'étude des roches métamorphiques permet d'apporter des contraintes majeures sur les processus géodynamiques qui ont lieu dans les zones de subduction et de collision continentale : profondeur d'enfouissement des roches et vitesses d'exhumation, régime thermique et contexte géodynamique... Cette UE vise donc à former les étudiants à la reconnaissance des minéraux métamorphiques et structures de déformation associées, ainsi qu'à leur utilisation comme géothermobaromètres, afin qu'ils puissent interpréter les roches métamorphiques en termes d'indicateurs géodynamiques.

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

- 6 cours de 2h
- 6 TP-TD de 3h (majeures) ou 9 TP-TD de 2h (mineures)

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Connaissances disciplinaires

- faciès métamorphiques et associations minérales caractéristiques (acquis)
- construction et interprétation des chemins pression-température-temps (acquis)
- gradients métamorphiques et interprétation en terme de contexte géodynamique (acquis)

Savoir faire disciplinaire

- reconnaissance des minéraux en macro et au microscope optique (acquis)
- utilisation de graphiques représentant les compositions des roches et minéraux (acquis)
- lecture des isogrades métamorphiques sur carte géologique et calcul de gradient métamorphique (acquis)
- lecture et compréhension des diagrammes de phase (acquis)
- utilisation de thermobaromètres et grilles pétrogénétiques (en cours d'acquisition)
- analyse des structures de déformation et des chronologies cristallisation-déformation (en cours d'acquisition)

Compétences transverses

- présentation / commentaire de document (acquis)

Modes d'évaluation

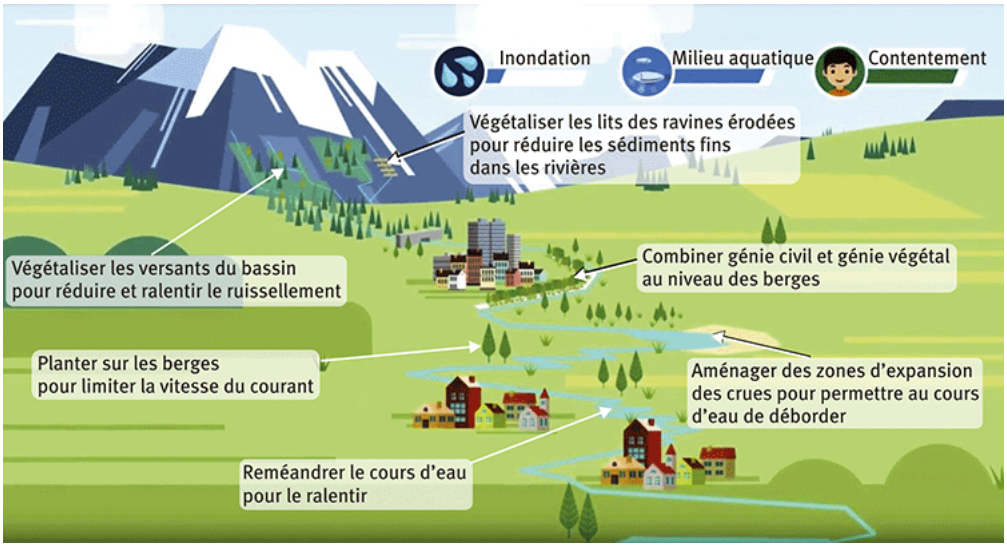
- 40% TP
- 60% cours

UE – LU3ST604 – Eau : Ressources et Risques

Responsable : Valérie PLAGNES (valerie.plagnes@sorbonne-universite.fr)
Intervenants : Agnès DUCHARNE, Anne JOST, Nicolas LE MOINE, Valérie PLAGNES, Ludovic OUDIN, Vincent Thieu, Danièle VALDES

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

La pression exercée sur les ressources en eau est forte et va continuer à augmenter dans les années à venir en réponse à une croissance économique mondiale soutenue et au changement climatique qui accroit les tensions et rend plus probable les évènements extrêmes. La dégradation et la salinisation des sols, les phénomènes d'érosion, les épisodes de sécheresse ou d'inondation, les problèmes de pollution, de même que la réduction de la disponibilité en eau (de surface et souterraine) font partie des conséquences de ces pressions sur la ressource en eau.
Le Programme de développement durable à l'horizon 2030 adopté par les Nations Unies en 2015 propose un plan d'action pour l'humanité, la planète et la prospérité. Il comprend 17 Objectifs de Développement Durable (ODD) dont un, l'ODD 6, est consacré à l'Eau et intitulé « *Garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau* ».
Cette UE a un triple objectif : 1) sensibiliser les étudiants au contexte et à la dynamique en cours au niveau international dans le domaine l'Eau via l'étude des priorités définies dans l'ODD 6 ; 2) les faire travailler sur les différents risques liés à l'eau et leurs évolutions dans le contexte du changement climatique (inondations, exploitation et contamination de la ressource) et enfin 3) ouvrir des perspectives pour aider à résoudre les nombreux défis mondiaux liés à l'eau.
Les notions d'interactions entre les différents ODD mais aussi entre la société et l'environnement, d'empreinte écologique de l'homme lui-même sur les ressources seront discutées.
Les différents métiers dans le domaine de l'eau seront présentés pour chaque thème abordé.



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Les enseignements se partagent en 6 Cours ou Cours-TD intégré de 2h, 4 TP et la préparation d'un projet qui sera restitué oralement (5ème séance de TP).
Cours 1 : Introduction aux Objectifs de Développement Durable liés à l'Eau de l'Agenda 2030 (Nations Unies). Présentation de l'ODD 6 et des sujets des projets à réaliser par groupe.

Cours 2 : Risque Inondation. Rappel des processus de génération et de propagation des crues. Aspects opérationnels et réglementaires de la prévision et de la prévention des inondations.

TP 1 : Terrain - Jaugeage de la Mérantaise, affluent de l'Yvette par petits groupes

TP 2 : Modélisation hydraulique expérimentale en canal artificiel

Cours 3 : Impacts anthropiques sur les ressources en eau 1/3 - aspects quantitatifs : effet des prélèvements (pompages) sur la ressource et sur les relations nappe-rivières.

Cours 4 : Impacts anthropiques sur les ressources en eau 2/3 - aspects qualitatifs : impacts des activités humaines sur la qualité de la ressource en eau. Un focus sera fait sur les principaux contaminants retrouvés dans les eaux de surface et souterraines.

TP 3 : Modélisation expérimentale du transport de contaminants dans un aquifère au travers d'une maquette de nappe alluviale.

Cours 5 : Impacts anthropiques sur les ressources en eau 3/3 - Impact du changement climatique sur les débits des rivières et les niveaux piézométriques. Introduction aux modèles climatiques et aux incertitudes sur les simulations.

Cours 6 : Gestion de l'eau à l'échelle locale : exemples au niveau du bassin versant et des collectivités. Introduction de notions règlementaires.

TP 4 : TP autour d'un jeu de rôle simulant un cas de gestion des eaux.

TP 5 : Restitution orale des projets : synthèse orale par groupe portant sur un cas d'étude lié aux risques traités dans le cadre de cette UE évaluera sa cohérence avec les priorités de l'ODD6.

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Connaissances disciplinaires

- Compréhension des mécanismes physiques (écoulement fluvial et torrentiel, propagation d'onde de crue, transport d'éléments en solution, modélisation du climat, prélèvements d'eau en nappe) intervenants dans le cycle de l'eau : compartiments de surface et souterrain
- Risques hydrologiques, climatiques, anthropiques, contamination des eaux
- Contexte international dans le domaine de l'Eau

Savoir faire disciplinaire

- Mesure et calcul de bilans, de flux, de propriétés physiques et hydrodynamiques
- Analyse de documents cartographiques (topographique, géologique, hydrogéologique, piézométriques) et de documents de synthèse
- Utilisation de modèles analogiques en hydrologie, hydrogéologie et gestion de l'eau

Compétences transverses

Valorisation des connaissances acquises en géosciences ainsi que dans l'UE d' Hydrologie-Hydrogéologie de L2. Rédaction de compte rendu de TP, Travail en groupe et restitution orale d'un projet sur la base d'analyses de documents en anglais et français. Croisement d'informations pluridisciplinaires. Modélisation (notion de conditions limite, optimisation, permanent/transitoire). Qualification et quantification des incertitudes de mesures et de modèles.

Modes d'évaluation

30% TP, 30% Projet, 40% Examen

UE – LU3ST606 : Caractérisation des matériaux pour la géotechnique et la géophysique

Equipe pédagogique : Nicolas Florsch et Pierre Théry.

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Cette UE se veut pratique et manuelle : il s'agit de *manipuler* (manipuler=avec les mains) un certain nombre de notions bien connues, mais parfois peu appréhendées par la pratique.

Sont abordées, entre autres :

- Mesure de la masse volumique (comment mesurer en laboratoire la masse volumique d'un corps de forme quelconque ?)
- Mesure de la surface spécifique (quelle est la surface d'un grès, en prenant en compte celle de tous les grains ?)
- Mesure du taux d'argile au bleu de méthylène.
- Mesure de la résistivité des roches (laquelle fonde les méthodes électriques pour la tomographie électrique du sous-sol)
- Mesure de la perméabilité (propension de l'eau en particulier à s'écouler à travers un milieu poreux)
- Mesure de la porosité (les vides entres les grains de sable dépendent-ils de la taille des grains ?)

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Chaque notion fait l'objet d'une manipulation facile, qui permet de bien comprendre et la grandeur mesurée et la manière dont on fait la mesure. Ces travaux pratiques se font au FABLAB du département, dans une ambiance d'émulation conviviale.

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Les TP amènent à retenir les notions étudiés dans leur côté le plus pratique, ce qui sert par la suite à mieux aborder des concepts plus complexes, grâce à la familiarisation de ces concepts de base.

Modes d'évaluation

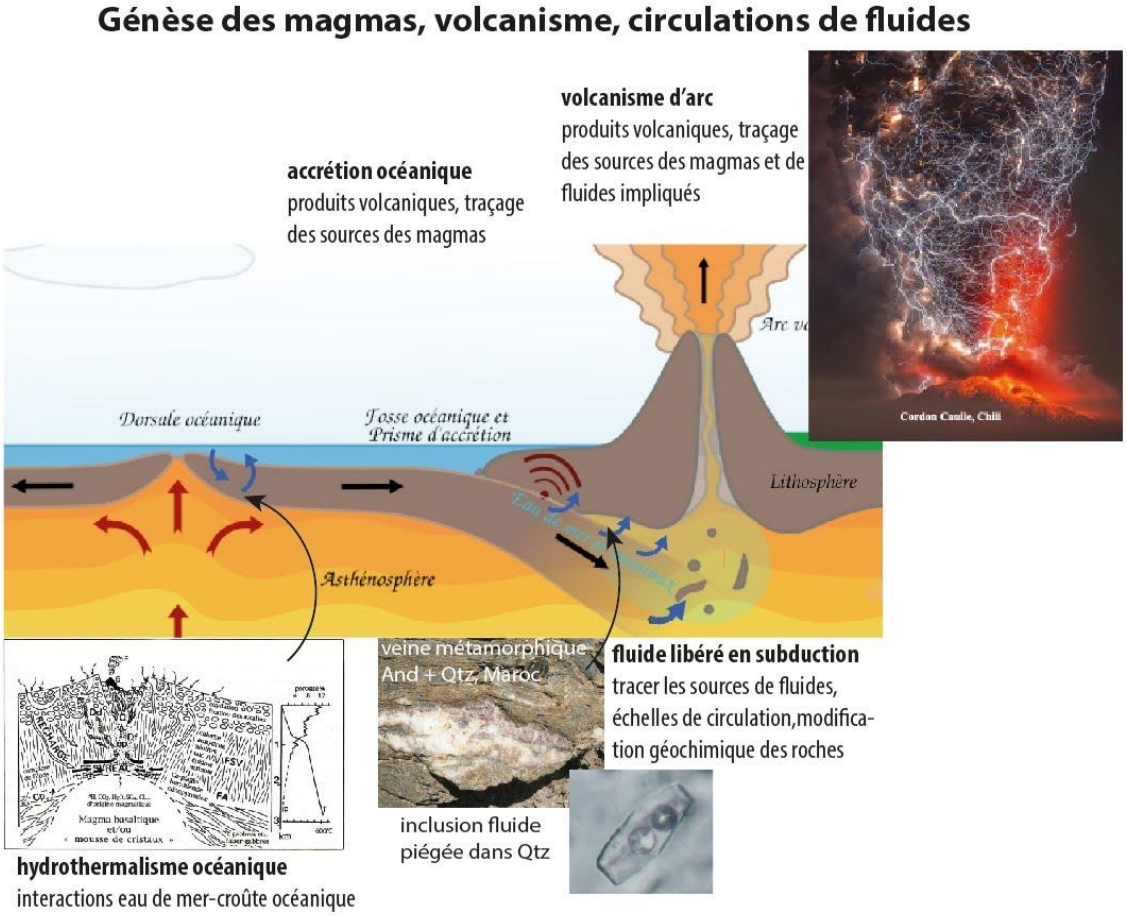
L'évaluation repose sur les rapports de TP rendus au fur et à mesure. Ils sont notés sur le fond (compréhension) et la forme (notamment sur le côté pédagogique du compte-rendu).

UE – LU3ST611– Magmas, Fluides et Volcans

Equipe pédagogique : Hélène Balcone-Boissard (helene.balcone_boissard@sorbonne-universite.fr), Christian Honthaas (christian.honthaas@sorbonne-universite.fr), Erwan Martin (erwan.martin@sorbonne-universite.fr), Anne Verlaguet (anne.verlaguet@sorbonne-universite.fr)

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Cette UE a pour objectif l'étude des magmas en contexte volcanique, et des circulations de fluides responsables de la formation de ces magmas. Nous utiliserons les outils pétrologiques et géochimiques afin d'étudier les sources de magmas, les types de produits volcaniques et les dynamismes éruptifs en fonction des différents contextes géodynamiques de mise en place. Nous étudierons également les interactions fluides-roches en contexte d'hydrothermalisme et de subduction afin de caractériser les sources de ces fluides, l'échelle de leur circulation dans les roches, et les modifications chimiques qu'ils engendrent.



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Les enseignements débuteront par des cours sur les processus magmatiques (transferts de fluides, origine et différenciation des magmas) et volcaniques (dynamismes éruptifs et impacts sur le climat), ainsi que sur les circulations de fluides dans les roches, afin de poser des bases théoriques. Ensuite l'essentiel de l'UE sera construit sur des études de cas autour de contextes géodynamiques clefs (tels que l'Islande, l'Indonésie, Les Antilles, dorsale médio-Atlantique, Alpes…) qui permettront d'explorer la diversité des processus de genèse et de mise en place des magmas ainsi que le traçage des circulations defluides. Une séance de modélisation analogique permettra également de discuter des processus physiques intervenant lors de la mise en place des laves en surface (exemple : dynamisme strombolien, coulée de lave etc.)

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Connaissances disciplinaires

- Processus de genèse des magmas
- Processus à l'origine de la diversité des magmas
- Processus de mise en place des magmas (dynamismes éruptifs, morphologie des édifices et produits émis)
- Source des fluides, interactions fluides-roches dans la croûte, échelles de circulations
- Traçage géochimique des fluides

Savoir faire disciplinaire

- Observation d'échantillons (magmatiques et métamorphiques)
- Traitement de données de géochimie et pétrologie
- Utilisation des outils géochimiques pour le traçage des sources de magmas et fluides
- Lecture et synthèse d'articles concernant pétrologie, géochimie, fluides
- Interprétation de données et documents tirés de travaux de recherche
- Conception d'un modèle analogique

Compétences transverses

- Traitement de données (Excel) de composition en éléments majeurs, traces, isotopiques
- Lecture et exposé d'articles en anglais
- Recherche/Synthèse bibliographique

Modes d'évaluation

L'évaluation par contrôle continu comportera :

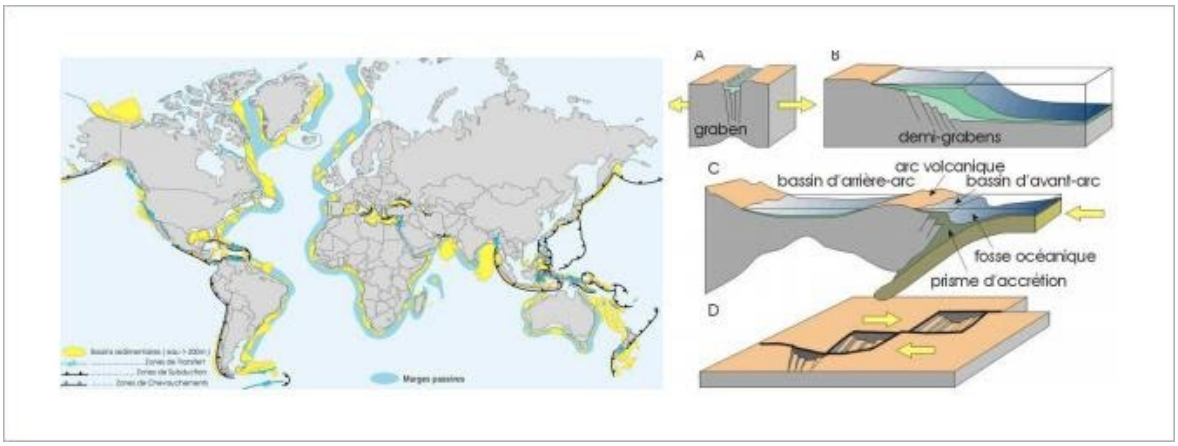
- Des devoirs maisons ou compte-rendus de TP
- Un écrit en salle
- Un oral à la fin des enseignements clôturant un projet tutoré sur un thème choisi et travaillé seul ou en binôme tout au long du semestre.

UE- LU3ST608 - Géodynamique des bassins sédimentaires Bassins sédimentaires, archives de la Terre, ressources du futur

Responsable: Christian Gorini

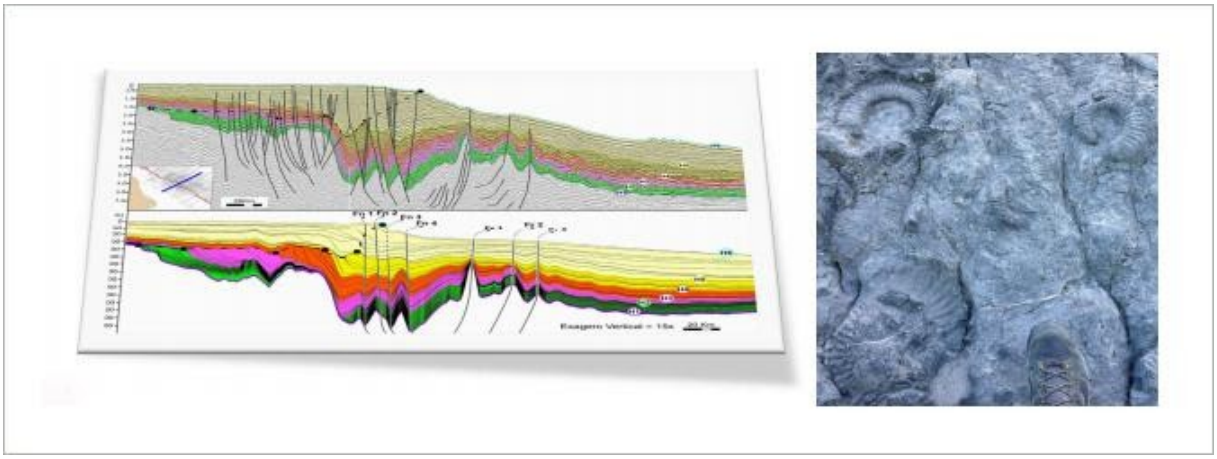
Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Le but de cette UE est de fournir aux futurs géologues l'illustration des concepts de base et des méthodes spécifiques de l'étude des bassins sédimentaires dans leur contexte géodynamique. Ces réceptacles représentent les archives de l'histoire tectonique et climatique de la Terre. Il s'agit d'offrir une vision dynamique des bassins sédimentaires et de sensibiliser les étudiants à la modélisation prédictive pour la recherche et l'exploitation des ressources naturelles. Les concepts sont illustrés à travers des exemples concrets d'application dans le cadre des cours/TD, de conférences et d'une journée à l'IFPen (Institut du pétrole et des énergies nouvelles).



(1) Distribution des bassins sédimentaires en fonction de leur position aux frontières de plaques

Mots clefs
Lithosphère, Bassins sédimentaires, relation tectonique/sédimentation, stratigraphie sismique, environnements de dépôts, ressources naturelles, subsidence, architecture stratigraphique des bassins, modélisation des systèmes naturels, energie, géodynamique interne, évaluation du risque naturel, environnement.



(2) Modèle diffusif Dionisos (Alberto Cruz, M2) sur la marge amazonienne (Brésil).Les surfaces stratigraphiques majeures ont été repérées et cartographiées grâce à la sismique Réflexion

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

CM1: Les deltas un objet majeur du remplissage sédimentaires (J Schnyder) TP1 : Les deltas (J. Schnyder et C. Gorini)
CM2 : Introduction sur les bassins sedimentaires (C. Gorini) types de bassins et caracteristiques en terme de ressources TP2 : caracterisations des différents bassins sedimentaires francais, un exemple de detail : carto et exercices (C.Gorini)
CM3: cycles de wilson et caracteristiques petrolieres des bassins (C. Gorini) TP3: Les rifts (C. Gorini)
CM4: Modelisation thermo-mécanique des Bassins (L. Le Pourhiet) TP7 : déchiffrer les résultats des modèles (L. Le Pourhiet) TP4
CM5 : Les Marges hyper étendues et marges dites "passives" (E. D'acremont) TP5 : les marges hyper etendues (E. D'acremont)
CM6 : Mecanismes initiateurs de la subsidence et courbes (MF Brunet) TP6 : Mecanismes initiateurs de la subsidence et courbes (MF Brunet)
CM7 : Les bassins intra cratoniques (S. Migeon) TP7 : Le bassin de Paris (S. Migeon)
CM8 :Les bassins d'avant pays (S. Migeon) TP8 :Les bassins d'avant pays (S. Migeonet D. Do Couto)
CM9: Les bassins sur decrochements (Migeon) TP 9: Les bassins sur decrochements (Migeon)
CM10: source et flux dans les bassins (N.Loget,D. Do couto) TP 10: sources et flux dans les bassinsD. Do couto,N.Loget)
CM11:La tectonique Salifere et Argilocinese (Jean Letouze et/ou C Gorini) 1/2 groupe à l'IFPen TP 11: La tectonique gravitaire à l'échelle des bassins (J.Letouze et/ou C. Gorini)
12 IFPen (Institut français du pétrole et des énergies nouvelles) avec C. Gorini 1/2 groupe à l'IFPen IFPen avec C. Gorini

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E.)

Connaissances disciplinaires

stratigraphie, géodynamique, interprétation sismique , tectonique (gravitaire , salifère argilo cinèse)

Savoir faire disciplinaire

Geologue de Bassin,reservoir, géologue de l'environnement, risques naturels, geologue des ressources et energies.

Compétences transverses

sédimentologie, stratigraphie séquentielle

Modes d'évaluation

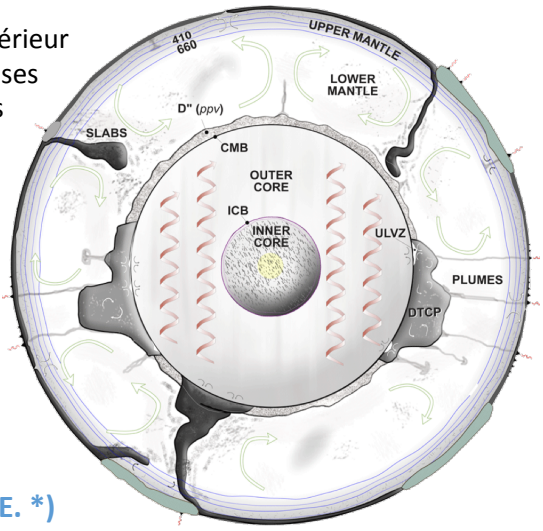
contrôles continus en TP (dossiers à monter, cartes, documents) et un contrôle à l'écrit pour les cours.

UE - 3T621 - Physique du globe

Responsable : Chrystèle Sanloup (chrystele.sanloup@sorbonne-universite.fr)
Intervenants : Marie Baïsset, Laurent Jolivet, Frédérique Rolandone, Chrystèle Sanloup

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Cette UE présente l'état des connaissances actuelles sur l'intérieur de la Terre, sa structure interne et la dynamique de ses enveloppes. L'UE s'appuie essentiellement sur des approches de géophysique (sismologie, géodésie, magnétisme), de minéralogie expérimentale, couplées aux données de géochimie isotopique.



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

5 séances de cours (2h), 9 séances de TD (2h), 1 séance de TP convection (2h)

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Connaissances disciplinaires

- ✓ Savoir expliquer le modèle de Terre interne PREM et le géotherme (acquis)
- ✓ Mémoriser la minéralogie du manteau et la composition du noyau (acquis)
- ✓ Pouvoir discuter un modèle de dynamique du manteau étayé par des arguments géophysiques (en cours d'acquisition)
- ✓ Savoir définir la lithosphère et son comportement rhéologique (acquis)

Savoir faire disciplinaire

- ✓ Maîtriser les ordres de grandeur importants pour la Terre interne (acquis)
- ✓ Savoir lire une figure (ex. données, schéma, etc), la présenter et l'exploiter (acquis)

Compétences transverses

bibliographie (articles de vulgarisation scientifique) et présentation d'articles à l'oral.

Modes d'évaluation

- ✓ 50% examen final TD + cours
- ✓ 20% projet CC (présentation orale d'articles de vulgarisation)
- ✓ 15% compte-rendu de TP
- ✓ 15% exercices TD Moodle CC

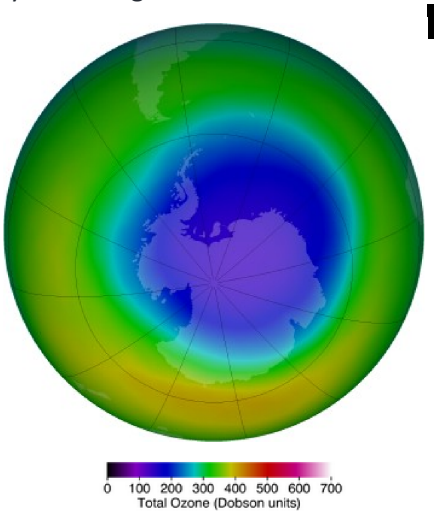
UE Complémentaires S6

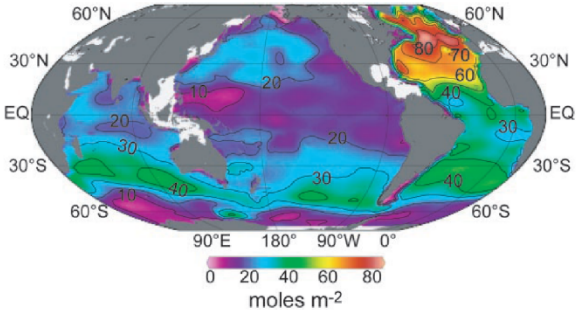
UE - LU3ST061 - Biogéochimie Océan - Atmosphère (Cycles biogéochimiques et interfaces océan - atmosphère)

Responsables : Yao TÉ (yao-veng.te@sorbonne-universite.fr) et Céline RIDAME (celine.ridame@sorbonne-universite.fr)
Intervenants : Nicolas CHEVALIER (nicolas.chevalier@sorbonne-universite.fr)

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

L'objectif de cette UE introductive est d'appréhender les fondements de la physique et la chimie de l'océan et de l'atmosphère qui permettent de comprendre les compositions chimiques des principaux réservoirs du système Océan - Atmosphère et d'étudier leurs évolutions dans un contexte de changement climatique. Cette UE aborde les principaux processus physico-chimiques ayant lieu dans ces deux écosystèmes et s'appuie sur des exemples concrets (compréhension des principes et des processus et étude quantitative) de cycles biogéochimiques pour sensibiliser les étudiants à la complexité du fonctionnement et du couplage Océan - Atmosphère (familles chimiques, temps de résidence, échange Océan - Atmosphère, distribution des constituants minoritaires dans le temps et dans l'espace, équilibre perturbé, …). Dans le contexte d'un climat changeant, le réajustement de ces cycles est également abordé.





Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Nombre de crédits : 3ECTS
Volumes horaires : CM 16h, TD 14h

Plan de cours :

- Circulation océanique : couplage avec l'atmosphère (2h CM + 2h TD)
- L'océan, un puits de CO_2 (2h CM + 2h TD)
- Apports atmosphériques de nutriments et impacts sur le phytoplancton (2h CM + 2h TD)
- Acidification de l'océan et conséquences sur les organismes marins (2h CM + 2h TD)
- Composition chimique de l'atmosphère et bilan radiatif (2h CM + 2h TD)
- Le système stratosphérique : couche d'ozone, équilibre naturel, puis perturbé (3h CM + 2h TD)
- Le système troposphérique : pollution atmosphérique, gaz à effet de serre, … (3h CM + 2h TD)

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Connaissances disciplinaires

- Approfondir les bases de la physique et chimie contemporaine dans un contexte environnemental ;
- Analyser, modéliser et résoudre des problèmes simples de physique et chimie
- Comprendre les couplages océan - atmosphère ;
- Comprendre les couplages interdisciplinaires en sciences de la terre avec la physique, chimie, biologie, …

Savoir faire disciplinaire

- Décrire et expliquer la distribution spatiale et temporelle des principales espèces chimiques dans l'atmosphère et les océans ;
- Maîtriser les concepts de taux de variation d'une espèce, le temps de résidence, le temps de transport ;
    - Manipuler les grandeurs atmosphériques (rayonnement, pression, température, humidité, concentration, temps de vie) et océaniques (densité, salinité, température)

Compétences transverses

- Mettre en œuvre une démarche et une réflexion scientifique
- Maîtriser les outils mathématiques usuels (algèbre et analyse)

Modes d'évaluation

Barème : - Examen 60%
- Contrôles continus 40%

UE – LU3ST063 - Projet informatique

Responsable et intervenant:
Laetitia Le Pourhiet (laetitia.le_pourhiet@sorbonne-universite.fr)

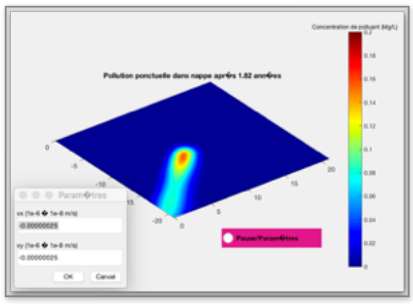
Présentation générale et objectifs

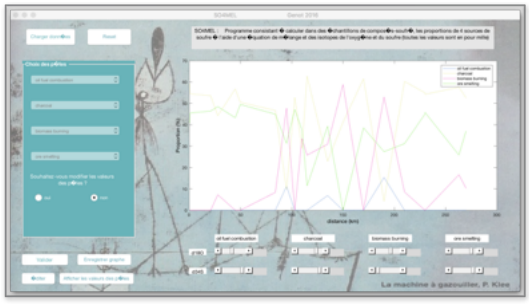
Public visé

Cette UE s'adresse aux étudiants se sentant à l'aise en informatique et désireux d'aller plus loin en informatique. L'UE de L2 ou n'importe qu'elle UE d'informatique introduction à la programmation de lycée, prépa, ou d'une autre majeure sont nécessaires (sont considérés comme prérequis, les boucles, les tableaux 1 et 2D, les fichiers ascii, les opérations booléennes et les branchements (if, else)).

Objectifs

Le but est de réaliser intégralement un programme informatique permettant d'acquérir des données géologiques stockées dans des fichiers, de leur appliquer des traitement automatisés et interactifs et enfin de présenter les résultats à l'aide de graphiques pertinents.





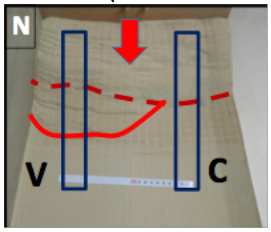
Organisation des enseignements et descriptifs des séances

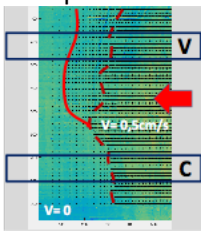
Les étudiants participant à cette UE devront choisir un projet par binôme/trinôme pour toute la durée de l'UE et doivent choisir un langage de programmation de haut niveau (python ou matlab) commun. Il est facile d'apprendre python et matlab si vous avez déjà programmé en C ou en Fortran.

Les projets informatiques seront fournis par l'équipe enseignante à l'avance, mais il sera aussi possible et même préférable que les étudiants soient force de proposition pour leur propre projet (dans la mesure où ils s'adressent suffisamment à l'avance aux enseignants pour qu'ils puissent en évaluer la faisabilité).

Les projets proposés pourront toucher tous les domaines des Sciences de la Terre et de l'Environnement ou s'effectuer en parallèle d'un stage Fablab fait par les étudiants ou un autre binôme.

Il y aura quelques séances de cours sur les interfaces graphiques et les fichiers complexe, le reste du temps le travail est en autonomie en présentiel (salle info mise à disposition une matinée par semaine) ou en distanciel via zoom ou bbb.





Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Acquis au sortir du module

Savoir faire disciplinaire

A l'issue du module l'étudiant saura formuler un problème scientifique de manière à en automatiser le traitement au maximum.

De plus, il maitrisera la recherche dans la documentation et internet afin d'être autonome pour ses futurs stages en laboratoire ou entreprise.

Compétences transverses

Anglais, rédaction de rapport et présentation orale, travailler en équipe.

Mode d'évaluation

à la semaine 3 :

Les étudiants doivent préparer sur papier libre la liste des fonctions avec leurs spécifications et l'architecture du programme notamment les interactions avec l'utilisateur prévues. (10 pts)

à la semaine 5

Les étudiants corrigent la liste des fonctions avec leurs spécifications et l'architecture du programme et les interactions avec l'utilisateur prévues en fonction des difficultés rencontrées et on fixe le cahier des charges définitivement (20 pts)

En fin de module:

Les étudiants rendent un manuel (5-10 pages) avec la description mathématique des traitements, la spécification des formats d'entrée des données, un cookbook (un exemple d'utilisation pas à pas sur un cas d'étude) ainsi que des FAQ (20 pts)

Ils présentent oralement leur projet devant le reste de la classe qui doit poser des question (20 pts)

Ils rendent aussi le code avec les données nécessaires pour réaliser le cook book.

Le code est évalué sur le style (indentations, commentaires et utilisation de branchement), les messages d'erreurs (le code ne doit pas générer d'erreur matlab/python native), et l'ergonomie de l'interface utilisateur. (30 pts).

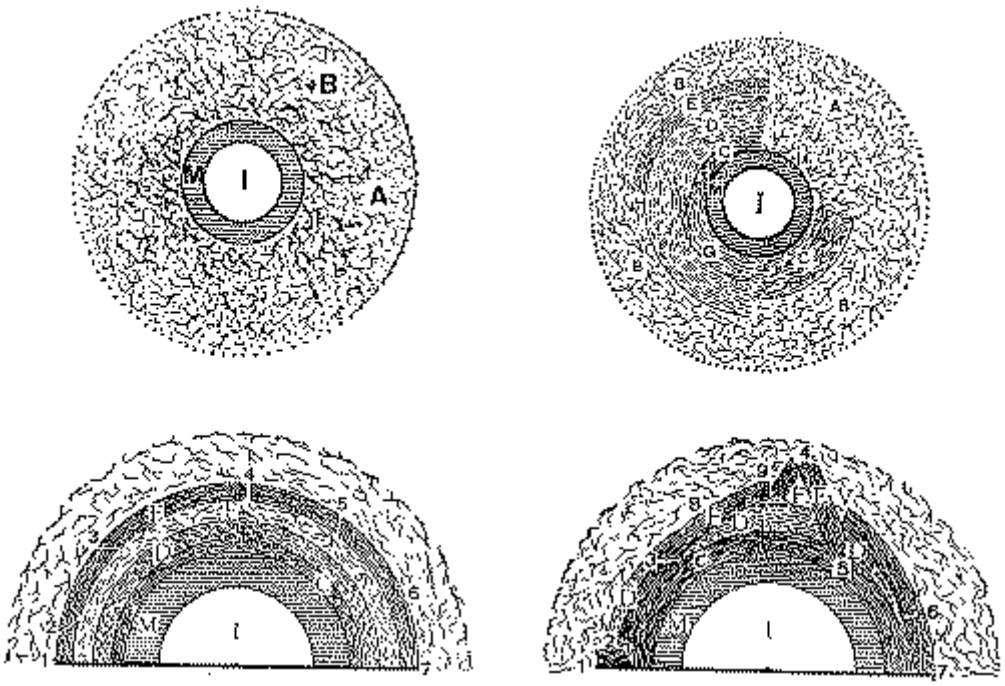
UE – LU3ST068 – Développement des idées en géosciences

Responsable : Hélène Gaget – helene.gaget@sorbonne-universite.fr
Intervenants : Hélène Gaget, Johann Schnyder, Claudio Rosenberg

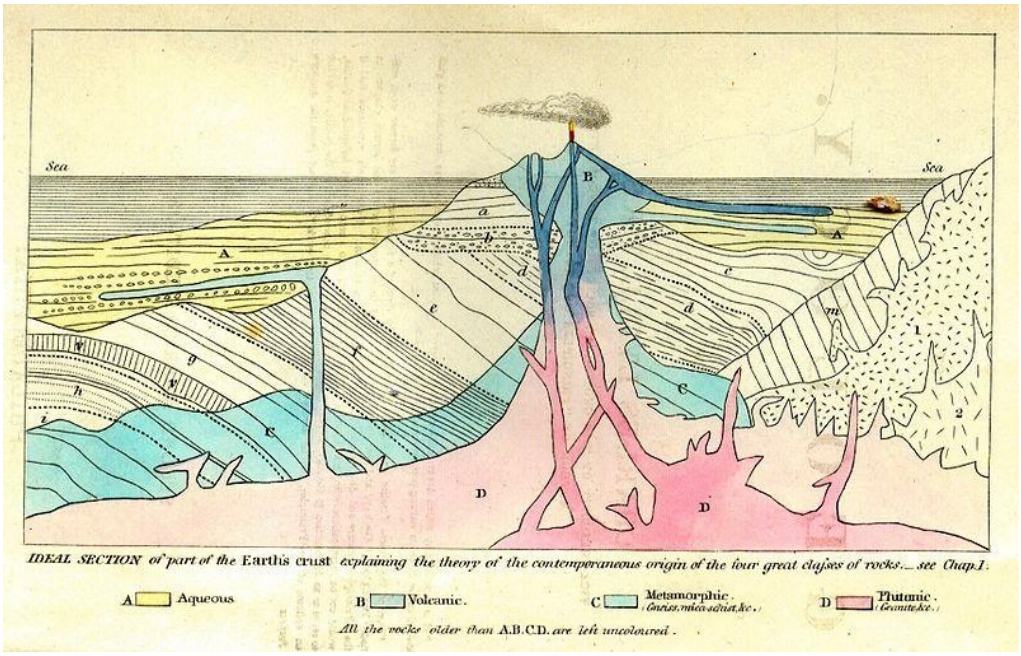
Présentation générale de l'U.E. et objectifs

L'UE DIG aborde l'évolution historique de la connaissance et de la pensée dans le domaine des sciences de la Terre. Il s'agit

- de découvrir comment, pour certains sujets choisis, la connaissance actuelle s'est peu à peu constituée ;
- de se rendre ainsi compte que la science ne s'est pas toujours pratiquée comme elle se pratique aujourd'hui ;
- de prendre la mesure des freins au changement dans l'évolution des idées ;
- de prendre contact avec des textes anciens et des iconographies d'époque.



Les structures passées et présentes de la Terre, telles que les dessine Descartes dans Principes de philosophie *en 1644*



Frontispice des Principes de géologie *de Charles Lyell, parus de 1830 à 1833. La Terre s'est façonnée lentement sur des durées très longues.*

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Les enseignements sont organisés autour de l'étude de quatre thèmes présentant chacun un aspect des connaissances à propos de la Terre depuis l'antiquité. Ainsi, 10 séances de cours-TD de 3 heures proposent :

- une introduction à l'histoire des sciences ;
- Thème 1 : Du géocentrisme à l'héliocentrisme ;
- Thème 2 : L'âge de la Terre et la paléontologie ;
- Thème 3 : Les figures de la Terre, la structure de la Terre ;
- Thème 4 : La formation des chaines de montagnes ;
- des exposés des étudiants, à propos de points particuliers en relation avec ces thèmes.

Pour chacun de ces sujets, une histoire de l'évolution de la pensée ou des représentations est exposée pendant le cours. Ce dernier est suivi d'un TD qui consiste à prendre contact avec quelques textes historiques, à analyser des controverses ou à étudier comment les concepts se succèdent, se superposent ou se juxtaposent dans l'expression de la connaissance.

Compétences développées

L'UE est conçue pour

1. accroître le niveau de culture générale en histoire des sciences,
2. réfléchir sur ce que fut la production des idées dans les siècles passés, en général et en particulier dans le domaine de la connaissance de la Terre,
3. mesurer que rien ne fut facile dans l'évolution des connaissances et des idées,
4. constater que la connaissance progresse comme un tout pluridisciplinaire.

Quelques connaissances disciplinaires peuvent être nécessaires à la compréhension de certains changements. Mais ne pas les posséder ne constitue pas un obstacle.

Modes d'évaluation

- Exposé individuel – 60 %
- Contrôle des connaissances par écrit – 40 %

UE - LU3ST602 - Stage Fablab

Responsable : Loic Labrousse (loic.labrousse@sorbonne-universite.fr)

Intervenants : Pierre Théry.

Présentation générale de l'U.E.

Le stage "Fablab" propose à des équipes de 2 ou 3 étudiants de développer une approche de modélisation analogique et numérique autour d'un problème de Sciences de la Terre. Le but est de mettre au point, améliorer et utiliser des maquettes (non-dimensionnées) puis des modèles analogiques (dimensionnés) pour mettre en évidence un processus ou évaluer un paramètre critique. La discussion porte ensuite sur le passage des conclusions aux échelles géologiques. A titre d'exemple, une série de modèles en "bac à sable" a été réalisée au cours des années précédentes, un modèle de "stick and slip" est en cours de réalisation et un projet de mesure de viscosité de matériau analogue est en projet. D'autres idées peuvent être proposées. Concrètement la réalisation des montages passe par l'utilisation des ressources du Rablab (impression 3D, conception assistée par ordinateur ...) et d'outils d'interfaçage (Arduino, MATLAB ...) pour l'extraction de données des expériences.

Des exemples ici :

https://fablab.sorbonne-universite.fr/wiki/doku.php?id=wiki:projets:projetue

à la rubrique " Projets de Stage en laboratoire (UE 3T602)

Organisation des enseignements

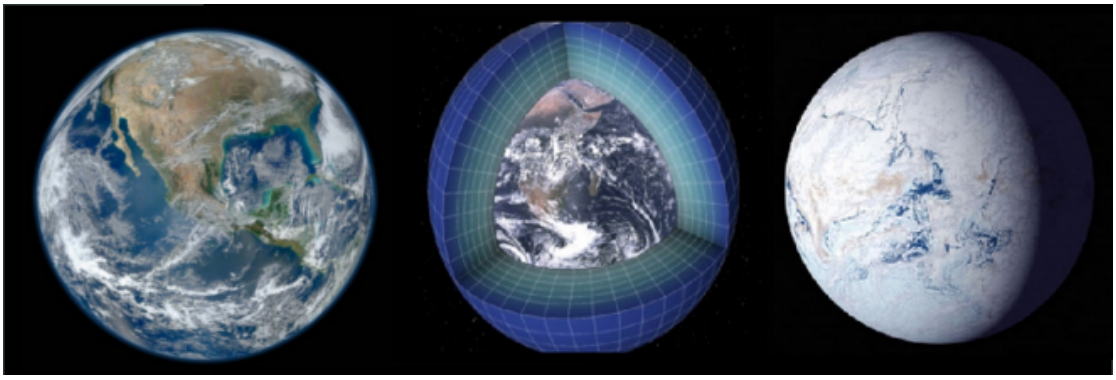
Les séances de travail ont lieu au Fablab sur les demi-journées allouées à l'UE, encadrées par L. Labrousse et P. Théry.

Le rendu et l'évaluation de l'UE se font sur le "wiki" que doivent renseigner les étudiants sur la page du Fablab, et sur un poster, en anglais, que les étudiants doivent présenter à l'issue du stage.

UE – LU3ST060 – Climats et Paléoclimats (6 ECTS)

Responsable : Jean-Baptiste Madeleine (jean-baptiste.madeleine@sorbonne-universite.fr) -
Intervenants cours magistraux: Jean-Baptiste Madeleine, Sylvain Huon

Présentation générale de l'U.E. et objectifs



L'objectif de ce module est de comprendre ce qui contrôle le climat de la Terre, sa variabilité sur de courtes et longues échelles de temps, et ses interactions avec la biosphère, la lithosphère, et l'hydrosphère. Pour cela, nous commencerons par poser les bases physiques permettant de comprendre la circulation de l'atmosphère, l'effet de serre et le cycle de l'eau (formation des nuages, précipitation). Nous explorerons ensuite les données paléoclimatiques de la Terre pour arriver aux observations satellite actuelles, et aborderons la problématique récente du changement climatique. Nous prendrons pour conclure un peu de recul en approfondissant les notions d'équilibre énergétique global et de stabilité du système climatique terrestre. Une large place sera laissée aux travaux pratiques, et les étudiants seront mis en contact d'outils utilisés dans la recherche actuelle. Ils exploreront des données in-situ ou satellite, des proxies paléoclimatiques, et réaliseront leurs propres simulations climatiques pour reconstruire le climat de la Terre, et mener leur propre enquête sur un sujet de leur initiative.

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

22h cours magistral - **22h** de travaux pratiques de modélisation et analyse de données - **16h** de travail personnel encadré (exercices de travaux pratiques, projet personnel)

Cours magistraux (11 cours) :

I.Les bases physiques

- **CM1 :** Le climat de la Terre et des autres planètes, et la climatologie aujourd'hui
- **CM2 :** L'éclairement solaire, source d'énergie du climat
- **CM3 :** La circulation atmosphérique
- **CM4 :** L'effet de serre et le rayonnement dans l'atmosphère

II. Les données paléoclimatiques et actuelles

- **CM5 :** Marqueurs et archives géologiques des climats du passé et des variations à diverses échelles de temps
- **CM6 :** L'exemple du Quaternaire : reconstitution du climat par séries temporelles et liens avec l'activité humaine
- **CM7 :** L'observation du climat actuel : cycles et variabilité

III. Approfondissements

- **CM8 :** La vapeur d'eau, les nuages et la précipitation
- **CM9 :** Le transport d'énergie et le bilan d'énergie global

- **CM10 :** La sensibilité climatique et la stabilité du climat

IV. Séance de clôture (**CM11**)

Remarque : Les cours sont rythmés par des exercices d'application concrets à faire en autonomie et corrigés en cours ou en ligne.

Travaux pratiques (11 séances) :

- TP1 à 4 : Reconstruire la Terre avec un modèle climatique 3D
- TP5 et 6 : Exploration des données paléoclimatiques
- TP7 : Données actuelles (observations satellite, simulations climatiques)
- TP8 à 11: Projet personnel (climat passé, actuel, futur, ou d'autres planètes)

Remarque : Les TP utilisent une interface JupyterLab facile d'utilisation et accessible en ligne depuis votre ordinateur, quel que soit votre système d'exploitation (Windows, macOS, Linux).

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E.)

Connaissances disciplinaires

- Bases de physique du climat : dynamique, thermodynamique, rayonnement, cycle de l'eau (acquis)
- Analyse de données, statistiques, marqueurs géologiques (acquis)
- Climat de la Terre et des autres planètes (acquis)
- Modélisation 3D du climat et sciences numériques (en cours d'acquisition)
- Flux d'énergie globaux (en cours d'acquisition)
- Dynamique des systèmes, rétroactions (en cours d'acquisition)

Savoir faire disciplinaire

- Outils mathématiques usuels : algèbre, calcul analytique (acquis)
- Calculs physiques : température, pression, vitesses, flux d'énergie (acquis)
- Simulations climatiques 3D, logiciel de recherche (en cours d'acquisition)
- Traitement de données (observations/simulations) par l'exécution (et éventuellement l'écriture) de codes Python (en cours d'acquisition)

Compétences transverses

Utilisation d'outils numériques (calcul scientifique Fortran et Python, sans connaissance préalable en programmation requise), apprentissage de la démarche expérimentale (hypothèse → expérience → confirmation / réfutation), analyse et interprétation de simulations numériques, analyse conjointe de modèles et d'observations, rédaction d'un rapport scientifique, anglais (lecture d'articles sur les projets réalisés).

Modes d'évaluation

- Devoir maison (CCU 20/100)
- Épreuve(s) de contrôle de connaissances (CC 40/100)
- Évaluation écrite (20/100) et orale (20/100) du projet de TP

UE – LU3ST066 – Paléontologie & évolution

Responsable : Loïc Villier (loic.villier@sorbonne-universite.fr)
Intervenants : Ronan Allain, Lucie Bittner, Jorge Cubo, Adrien Frantz, Isabelle Kruta, L. Villier, V. Zeytoun

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

La paléontologie fait le lien entre les disciplines biologiques et géologiques. Le programme de l'unité d'enseignement permet aux étudiants à orientation « sciences de la Terre » d'appréhender les sciences de la vie à travers l'évolution des organismes, et l'histoire des interactions entre biosphère et géosphère. Pour des étudiants de sensibilité « biologique », l'approche paléontologique permet d'aborder des processus qui s'expriment sur des temps impossibles à observer dans l'actuel. L'étude approfondie de quelques exemples permettra de bien comprendre la démarche scientifique, et la contribution de la paléontologie aux sciences de l'évolution. L'évolution biologique est un fait scientifique abondement commenté dans les médias et la société en général. Une meilleure connaissance des faits et des théories scientifiques permet de mieux comprendre les enjeux sociétaux et une analyse critique des discours, souvent caricaturaux véhiculés par les médias.

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

10 de cours de 2 h.
10 séances de TP/TD de 3 h.
10 h de travail personnel pour les étudiants, encadrées durant la durée des enseignements.

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E. *)

Connaissances disciplinaires

- Histoire des sciences de l'évolution (acquis)
- Notion d'espèce en paléontologie (acquis)
- Principes de classification du vivant et de la phylogénie (en cours d'acquisition)
- Processus de l'évolution (en cours d'acquisition)
- Macroévolution et macroécologie (acquis)
- Relation entre ontogenèse et phylogenèse (acquis)
- Paléontologie humaine (acquis)

Savoir-faire disciplinaire

- Fondements de l'anatomie comparée (en cours d'acquisition)
- Formalisation des observations et codage de matrices de caractères (en cours d'acquisition)
- Construction, lecture et interprétation d'un arbre phylogénétique (en cours d'acquisition)
- Morphométrie classique (en cours d'acquisition)
- Notions de modélisation en biologie (en cours d'acquisition)

Compétences transverses

Méthodologie (rédaction, analyse et commentaire de documents scientifiques, constitution d'un corpus documentaire)

Traduction d'un travail de recherche sous forme d'une présentation publique

Modes d'évaluation

- Examen de TP/TD (durée 2h) (25/100)
- Contrôle continu et rendu de projet (25/100)
- Un examen écrit de cours (durée 2h) (50/100)

UE - LU3ST069 – Géophysique : Outils & Applications

Responsables: Ludovic Bodet (ludovic.bodet@sorbonne-universite.fr) et Cyril Schamper (cyril.schamper@sorbonne-universite.fr)
Intervenants: Ludovic Bodet, Cyril Schamper et Julien Thiesson

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Cette U.E. vise à faire découvrir la géophysique appliquée, c'est-à-dire l'ensemble des méthodes qui font appel aux lois, théories et techniques de la Physique, afin de prospecter les premières dizaines de mètres de la Terre en effectuant des mesures depuis sa surface, sans l'endommager. En géophysique dite « de proche surface » ou « environnementale », le terme prospecter signifie explorer, investiguer, mesurer et analyser l'ensemble des signaux naturels ou artificiels disponibles à la surface, en vue de découvrir, d'imager ou de modéliser des objets, des structures, des ressources, des propriétés et des processus cachés du sous-sol. Les champs d'applications sont variés et comprennent : l'aménagement des sols en rapport avec la géotechnique et le génie civil (fondations, grands ouvrages, détections de réseaux) ; la préservation et la réhabilitation (détections et suivis de pollutions, contrôles de techniques de remédiations) ; l'hydrogéologie (pour la recherche, la caractérisation, le suivi, la gestion et la protection des ressources en eau) ; ou encore l'exploration ; les risques naturels ; l'agronomie ; l'archéologie…

Les techniques de prospection font appels à de **nombreux domaines** afin de cibler des propriétés physiques du sous-sol à la fois distinctes et complémentaires, pour mieux imager et comprendre les processus qui s'y déroulent. Les différentes disciplines de la géophysique appliquée couvrent ainsi les méthodes dites : **électromagnétiques ; sismiques ; électriques ; magnétiques et gravimétriques**. Cette U.E. ne vise pas à enseigner en détails l'ensemble de ces méthodes, mais plutôt à **donner les concepts**, principes et approches majeurs qu'elles impliquent. Il s'agira également d'exposer et de **mettre en pratique les outils essentiels** aux objectifs de prospection. Les aspects théoriques seront restreints au strict minimum nécessaire à la mise en œuvre d'instruments de mesures, d'outils de traitements de données et techniques d'interprétation et de modélisation.

Données, traitements et modèles seront ainsi les thèmes clés abordés par cette U.E. qui s'adresse autant à de futurs géophysiciennes et géophysiciens qu'à un public attiré par d'autres disciplines qui font appel à la géophysique (futurs géologues, hydrogéologues, géotechniciennes et géotechniciens, pédologues, archéologues, géochimistes…). Les **données** seront en partie acquises par les étudiantes et étudiants **sur le terrain,** afin notamment de comprendre par l'expérimentation, l'**objectif**, le **contexte théorique** et la **mise en œuvre pratique** associés à différentes méthodes de prospection géophysique de proche surface. Les étudiantes et étudiants découvriront ensuite, par leur mises en applications, les chaines de **traitements** (analyses statistiques, fréquentiels *etc.*) et **d'interprétations** (modélisation, inversion, apprentissage *etc.*) adaptées aux différentes méthodes également.

N.B. Pour celles et ceux qui souhaiteraient poursuivre en master dans le parcours Géophysique-Géotechnique (où la théorie des différentes méthodes sera abordée plus en détails), cette UE n'est pas obligatoire, mais fortement recommandée.

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

6 ECTS
20 h CM, 28 h TD, 12 h TP terrain

Les TP consisteront notamment en la mise en œuvre sur le terrain des méthodes géophysiques après une rapide introduction en CM. Les TD seront utilisés pour « regarder » les données acquises en commençant à les traiter et mettre en place les grands concepts

théoriques sur lesquels reposent ces méthodes. Les TD permettront également la réalisation d'analyses et d'interprétations plus avancées des données à partir d'outils numériques qui seront fournis et/ou à développer.

Compétences développées (et niveau attendu en fin d'U.E.)

Connaissances disciplinaires

✓ Savoir quelles propriétés du sous-sol peuvent être déterminées avec quelles différentes méthodes de prospection (acquis)

✓ Connaître dans les grandes lignes les apports et les limites des différentes méthodes de prospection (acquis)

✓ Connaitre les notions d'imagerie directe, de modélisation inverse et d'interprétation (acquis)

Savoir faire disciplinaire

✓ Savoir quelles techniques de prospection sont les plus adaptées aux cibles d'intérêts (en cours d'acquisition)

✓ Mettre en œuvre une prospection géophysique de proche surface sur le terrain (en cours d'acquisition)

✓ Mettre en œuvre les outils de traitement et d'interprétation adaptés (en cours d'acquisition)

Compétences transverses

✓ Mesures, incertitudes et outils statistiques associés (acquis)

✓ Analyse de données et traitement du signal (en cours d'acquisition)

✓ Modélisation et problèmes d'inversion/optimisation (en cours d'acquisition)

✓ Travail en équipe et/ou par projet (en cours d'acquisition)

✓ Présentation de résultats et rapports scientifiques (en cours d'acquisition)

Modes d'évaluation

✓ CC avec évaluations de TP (rapport, présentation, restitution d'outils etc.), réalisation de projets par groupes tout au long de l'U.E., courts devoirs surveillés, évaluations en ligne *etc*.