

LU2ST032 – Paléontologie

Responsable : Delphine Desmares et Isabelle Kruta

Intervenants : Delphine Desmares, Elvis Guillaumin, Isabelle Kruta, Carine Randon, Valentin Rineau, Loïc Villier.

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

La Paléontologie étudie l'histoire et les mécanismes de l'évolution biologique à travers les fossiles, les restes des organismes du passé. La Paléontologie est donc par définition une science d'observation à l'interface de la biologie et de la géologie. Les bases acquises sont essentielles pour la culture générale de ces deux disciplines. Ces bases sont aussi indispensables à tout étudiant de géologie souhaitant faire du terrain et à ceux s'intéressant aux questions de biodiversité et d'évolution.

Le cours magistral a pour but de donner aux étudiants (en Sciences de la Terre et de la Vie) les clés de lecture des objets paléontologiques en relation avec les sédiments les contenant (biostratigraphie, reconstruction des paléoenvironnements).

Les travaux dirigés concernent la Paléontologie descriptive, c'est-à-dire à quoi ressemblaient les animaux et les végétaux. Les TD s'intéresseront principalement aux organismes invertébrés marins (macro et micro) et aux plantes fossiles. Pour chaque séance de TP de deux heures, une partie sera dédiée à l'observation et une autre à un ou des exercices permettant de remettre les objets fossiles dans leur contexte ou d'illustrer les applications de ces différents groupes.



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

- 6 cours de 2h.
- 9 séances de TP de 2h.

Compétences développées

A la fin de l'UE, les étudiants doivent être autonomes dans la détermination des principaux groupes fossiles (macro- et micro-). Ils doivent être capables de les positionner stratigraphiquement et de donner des précisions sur leur mode et leur milieu de vie.

Quel que soit le parcours auquel l'étudiant se destine, la paléontologie est un bagage fondamental et indispensable à tout géologue.

Connaissances disciplinaires

- Connaissance des bases des processus taphonomiques.
- Savoir observer, décrire et identifier les principaux taxons fossiles
- Connaître leur répartition stratigraphique, modes/milieus de vie et relations trophiques.
- Notions de biostratigraphie.

Savoir-faire disciplinaire

- Savoir identifier et décrire un objet fossile.
- Emettre des hypothèses concernant son âge et son milieu de vie.

Compétences transverses

- Savoir élaborer et présenter (à l'oral) un poster scientifique.

Modes d'évaluation

- QCM en ligne sur moodle
- Projet : réalisation d'un poster
- Evaluation(s) de TP
- Ecrit

UE optionnelle : LU2ST033 – « Environnement, Patrimoine et Archéologie »

Responsables : Laurence Galois (SU-S), Sylvie Balcon Berry (Su-L)

Intervenants TD : Cécile Bretonnet (SU-S), Camil Joundy (SU-L)

Cet enseignement peut être couplé avec le stage de terrain "Environnement et Patrimoine" qui permet sur 5 jours de profiter des connaissances acquises pour mieux comprendre le lien entre les matériaux de construction, les carrières d'extraction, les habitats anciens et l'architecture à travers des visites de sites en Bourgogne (voir le descriptif de cette UE de stage).

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Appuyé sur l'archéologie, l'histoire de l'art, l'utilisation des ressources minérales et l'évolution de l'environnement dans les quatre grandes périodes de l'histoire (ancienne, médiévale, moderne et contemporaine), cet enseignement mixte entre la faculté des Sciences (SU-S) et la Faculté des Lettres (SU-L) a pour objet de croiser formation scientifique et formation en sciences humaines dans le domaine du Patrimoine.

L'unité d'enseignement est destinée à donner :

1. des bases de connaissances sur les grands enjeux culturels et scientifiques des matériaux du patrimoine culturel,
2. une introduction aux matériaux naturels, transformés ou synthétiques utilisés par les civilisations humaines,
3. une introduction à l'impact sur les monuments des agents environnementaux d'origine naturelle ou anthropique (air, eau, facteurs biologiques).

L'enseignement sera effectué à parité par des enseignants des deux facultés (SU-S et SU-L), avec la priorité de pouvoir croiser aussi souvent que possible les interactions entre enseignants et étudiants des deux disciplines.



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

- 10 cours
- 20 TD

Les TD pour les étudiants de la faculté des lettres sont assurés par un enseignant de SU-S et les TD pour les étudiants de la faculté des Sciences sont assurés par un enseignant de SU-L.

Compétences développées

Connaissances disciplinaires

Pétrologie et minéralogie des matériaux du Patrimoine bâti

Les monuments historiques et l'exploitation des matériaux utilisés pour leur construction.

Savoir-faire disciplinaire

Faire le lien entre la construction des monuments au cours des âges et les matériaux employés.

Compétences transverses

Exposés à partir d'articles, bibliographie en français et en anglais sur les deux domaines scientifique et littéraire.

Modes d'évaluation

- TD
- Cours

LU2ST035 - Dynamique de la Terre Interne

Responsable : F. Rolandone

Intervenants : F. Rolandone, A. Gauthier, L. Le Pourhiet

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

L'objectif de cette UE est de comprendre la structure et la dynamique interne de notre planète. Pour cela, il est nécessaire d'étudier les phénomènes physiques que sont le champ géomagnétique, la force de pesanteur, les modes de transport de chaleur dans la Terre, et la propagation des ondes sismiques. Ces processus internes seront reliés aux mesures et observations réalisées à la surface de la Terre.

Les séances de TP se focalisent sur les applications quantitatives et physiques des processus de dynamique interne décrits dans le cours. Une partie de ces TP utilise Matlab comme outil pour les calculs, les graphiques et la visualisation des processus géodynamiques. Le but est d'utiliser des programmes afin de réaliser des expériences numériques et des études paramétriques pour mieux comprendre les champs géophysiques.

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Cette partie est composée de 5 cours de 2h et de 10 séances de TP de 2h.

- 1- **Cours 1** : Sismologie et structure du globe
- 2- **TP 1 & 2** Structure du globe : PREM et propagation des ondes
Rapport TP1 & 2

- 3- **Cours 2** Gravimétrie, isostasie, reliefs
- 4- **TP 3 & 4** Gravimétrie & isostasie
Rapport TP3 & 4

- 5- **Cours 3** Géodynamique interne et tectonique
- 6- **TP 5 & 6** Mouvements verticaux et rebond postglaciaire
Rapport TP5 & 6

- 7- **Cours 4** Structure thermique de la Terre
- 8- **TP 7 & 8** Structure thermique des océans
Rapport TP7 & 8

- 9- **Cours 5** Flux de chaleur et convection
- 10- **TP 9 & 10** Structure thermique des continents
Rapport TP9 & 10

Compétences développées

Connaissances disciplinaires

- ✓ Les différentes enveloppes de la Terre
- ✓ Structure sismologique de la Terre
- ✓ Structure thermique de la Terre
- ✓ Lien entre la géodynamique interne et la tectonique des plaques

Savoir-faire disciplinaire

- ✓ Calculer le gradient thermique dans les différentes enveloppes
- ✓ Effectuer des calculs simples de gravimétrie et d'isostasie.
- ✓ Interpréter des modèles de terre

Compétences transverses

- ✓ Notion de modèle et études paramétriques
- ✓ Commenter un document
- ✓ Utiliser Matlab pour faire des calculs et des graphiques
- ✓ Savoir rédiger un rapport incluant texte, figures et argumentation scientifique

Modes d'évaluation

- ✓ examen écrit sur les CM,
- ✓ TP (contrôle continu)

L'évaluation des TP se fait en contrôle continu : toutes les 2 séances de TP, un rapport est demandé (comme indiqué dans l'organisation des enseignements ci-dessus).

LU2ST042 - Histoire de la Terre

Responsable : Delphine Desmares et Isabelle Kruta

Intervenants : Anaïs Boura, Mathieu Chassé, Delphine Desmares, Isabelle Kruta, Carine Randon

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

L'UE s'intéresse à la reconstruction de l'histoire de la biosphère en relation avec les événements les plus importants de l'histoire de la géosphère. Seront abordées les radiations évolutions, les crises biologiques, les changements climatiques et paléogéographiques qui ont marqué l'Histoire de la Terre...



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

6 cours de 2h.

9 séances de TP de 2h.

Compétences développées

A la fin de l'UE, les étudiants connaîtront les différents événements qui ont marqué l'Histoire de la Terre. Ils seront capables de présenter des arguments pour discuter des facteurs abiotiques jouant sur la biosphère et l'évolution de la biodiversité.

Connaissances disciplinaires

Connaître les principaux jalons de l'histoire de la Terre et de la biosphère.

Savoir qui peuplait les océans et les continents des différentes périodes de temps du Néoprotérozoïque et du Phanérozoïque.

Connaître les causes et les conséquences des cinq grandes extinctions de masse.

Savoir-faire disciplinaire

Comprendre comment sont construites les courbes de paléobiodiversité et savoir les interpréter.

Compétences transverses

Avoir le bagage scientifique nécessaire à la compréhension des interactions entre la géosphère et la biosphère.

Modes d'évaluation

- QCM en ligne sur moodle
- Evaluation(s) de TP
- Ecrit

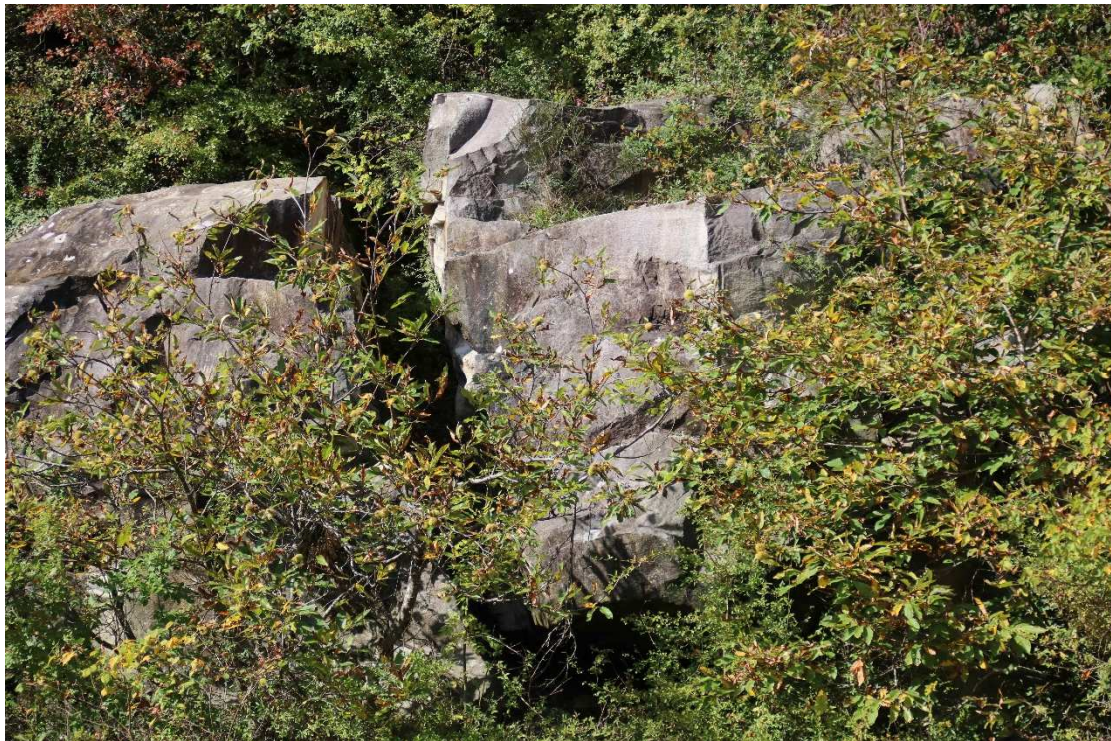
LU2ST043 - Exploration naturaliste : biodiversité-environnement

Responsable : Nicolas Rabet (nicolas.rabet@sorbonne-universite.fr)

Intervenants : Sabine Hennequin, Anais Boura, Florence Rousseau, Sidney Delgado.

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

L'objectif est de sensibiliser aux différents concepts liés à la biodiversité et à l'environnement. L'approche se veut résolument naturaliste en veillant à réduire le cloisonnement entre les disciplines des sciences de la vie et de la terre. Dans ce contexte nous cherchons à fournir des méthodes d'observation des organismes vivants dans leurs milieux naturels et montrer comment les facteurs abiotiques génèrent des éléments déterminants qui affectent les communautés. L'évolution est aussi un contexte fondamental dans cet enseignement dont la perception résultera de l'observation des organismes actuels mais aussi fossiles.



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

- ✓ 4 séances de 2h de TP biologie des organismes
- ✓ 2 sorties au MNHN (Galerie d'anatomie comparée/Galerie de Paléontologie, serres)
- ✓ 2 sorties de 6h à Chamarande
- ✓ 2 heures de cours

Compétences développées

Connaissances disciplinaires

- ✓ Concepts de base en évolution et en biodiversité
- ✓ Comprendre les bases de l'histoire du stampien dans le sud de l'Ile de France
- ✓ Influence de la roche mère sur la faune et la flore
- ✓ Organisation anatomique des organismes (actuels et fossiles)

- ✓ Interactions écologiques

Savoir-faire disciplinaire

- ✓ Approche naturaliste intégré (pluri-disciplinaire)
- ✓ Comprendre les bases de la description d'un organisme et son contexte écologique

Compétences transverses

Botanique, zoologie, géographie, écologie, rédaction de fiche de synthèse pluridisciplinaire.

Modes d'évaluation

- ✓ réalisation d'une fiche de synthèse pluridisciplinaire
- ✓ examen oral sur le contenu des enseignements

LU2ST044 – Stage labo

Responsables : Isabelle Kruta (isabelle.kruta@sorbonne-universite.fr),

Delphine Desmares (delphine.desmares@sorbonne-universite.fr)

Intervenants : Véronique Charrière, Cécile Montarou

Présentation générale de l'U.E. et objectifs



Les étudiants seront invités à contacter des laboratoires (dans et hors les murs de Sorbonne Université) afin d'y acquérir les bases techniques de la manipulation d'un outil analytique au laboratoire en vue de réaliser des analyses (minéralogique, chimiques, biologiques, géochimiques, paléontologiques...). Ils devront construire et présenter un poster scientifique en anglais relatant le contexte de l'étude, et les analyses qu'ils auront eux-mêmes réalisées.

Les objectifs du stage en laboratoire sont de :

- comprendre les principes et méthodes de l'appareil ou la technique d'analyse utilisée
- manipuler soi-même et obtenir des résultats
- critiquer les résultats obtenus (reproductibilité, marge d'erreur, etc.)
- réaliser un support écrit décrivant la technique employée, ses limitations et présentant les résultats de l'analyse
- s'adapter à un ensemble de contraintes d'écriture et de présentation.

Les laboratoires analytiques au sein desquels les étudiants seront accueillis sont ceux de l'UFR.918- TEB, exceptionnellement dans d'autres laboratoires du CNRS, du MNHN, de MétéoFrance, de l'INRA... Les techniciens et ingénieurs de ces laboratoires pourront apporter leur expérience et savoir-faire.

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Au total 30h incluant 7 demi-journées en laboratoire et 4h de TD d'anglais pour la préparation du poster scientifique.

Compétences développées

Compétences transverses

Travail en laboratoire, traitement et analyses de données, rédaction et mise en page d'un poster scientifique en anglais, recherche bibliographique, présentation orale d'un stage en laboratoire.

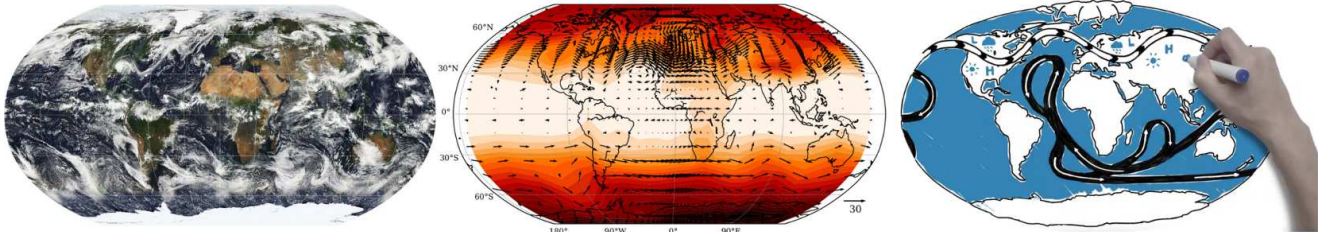
Modes d'évaluation

- ✓ Rendu du stage sous forme de poster scientifique
- ✓ Présentation à l'oral du poster
- ✓ Avis porté par les tuteurs de stage sur les acquis en laboratoire du stagiaire

LU2ST045 – Météorologie

Responsable : Jean-Baptiste Madeleine (jmadeleine@lmd.ipsl.fr)

Présentation générale de l'U.E. et objectifs



Cette U.E. a pour objectif de vous initier à la Météorologie, c'est-à-dire de comprendre et prévoir le temps que nous expérimentons au quotidien dans nos régions tempérées. Pour cela, l'U.E. met l'accent sur la mise en pratique des concepts théoriques, aussi bien par des calculs numériques et l'étude de situations météorologiques réelles en TD (cartes météorologiques d'événements majeurs type canicules, tempêtes...) que par la prévision du temps à l'aide d'un modèle numérique en TP. Les cours porteront sur les fondamentaux de Météorologie comme le mouvement de l'atmosphère et l'origine des vents, les mouvements ascendants dans l'atmosphère, ou encore la formation des nuages. Le contenu du cours sera articulé principalement autour d'équations physiques dont l'appropriation sera facilitée par des applications quantitatives concrètes en TD et l'utilisation d'un modèle de prévision numérique du temps en TP (sans connaissances préalables en programmation requises).

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

5 cours magistraux de 2h (10h)

1. Rappels généraux et introduction à la physique de l'atmosphère
2. Structure verticale de l'atmosphère
3. Changements de phase et formation des nuages
4. Origine des vents et équilibre géostrophique
5. Prévision Numérique du Temps (PNT)

6 séances de TD de 2h (12h)

- Séances 1 et 2 : Étude de profils verticaux et utilisation d'émagrammes
- Séances 3 et 4 : Analyse de cartes de température et pression
- Séances 5 et 6 : Prévision météo sur carte et analyse d'images satellite

2 séances de TP de 4h (8h)

Circulation globale et prévision météorologique régionale

Modes d'évaluation

- ✓ Deux examens répartis
- ✓ Un compte-rendu de TP
- ✓ Contrôle continu Moodle

Compétences développées

Connaissances disciplinaires

- ✓ Circulation générale de l'atmosphère (acquis)
- ✓ Principales variables atmosphériques et ordres de grandeur (acquis)
- ✓ Équilibre hydrostatique (acquis)
- ✓ Équation hypsométrique (en cours d'acquisition)
- ✓ Flottabilité d'une parcelle (acquis)
- ✓ Gradient adiabatique sec (acquis) et humide (en cours d'acquisition)
- ✓ Équation de Clausius-Clapeyron (acquis)
- ✓ Prévion de l'instabilité en atmosphère sèche (acquis) et humide (en cours d'acquisition)
- ✓ Formation des nuages (en cours d'acquisition)
- ✓ Force de pression, force de Coriolis et équilibre géostrophique (acquis)

Savoir faire disciplinaire

- ✓ Outils mathématiques usuels (algèbre, analyse de fonction, intégration, manipulation de vecteurs dans un espace à deux dimensions) (acquis)
- ✓ Utilisation de diagrammes thermodynamiques (en cours d'acquisition)
- ✓ Calculs de gradient à partir de cartes en isocontours d'un champ physique (acquis)
- ✓ Identification de systèmes en 3D par analyse cartographique 2D (en cours d'acquisition)

Compétences transverses

Utilisation d'outils numériques (interface Linux, 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 sur des cas concrets, analyse conjointe de modèles et d'observations, rédaction d'un rapport scientifique, anglais (lecture d'articles sur les situations météorologiques étudiées).

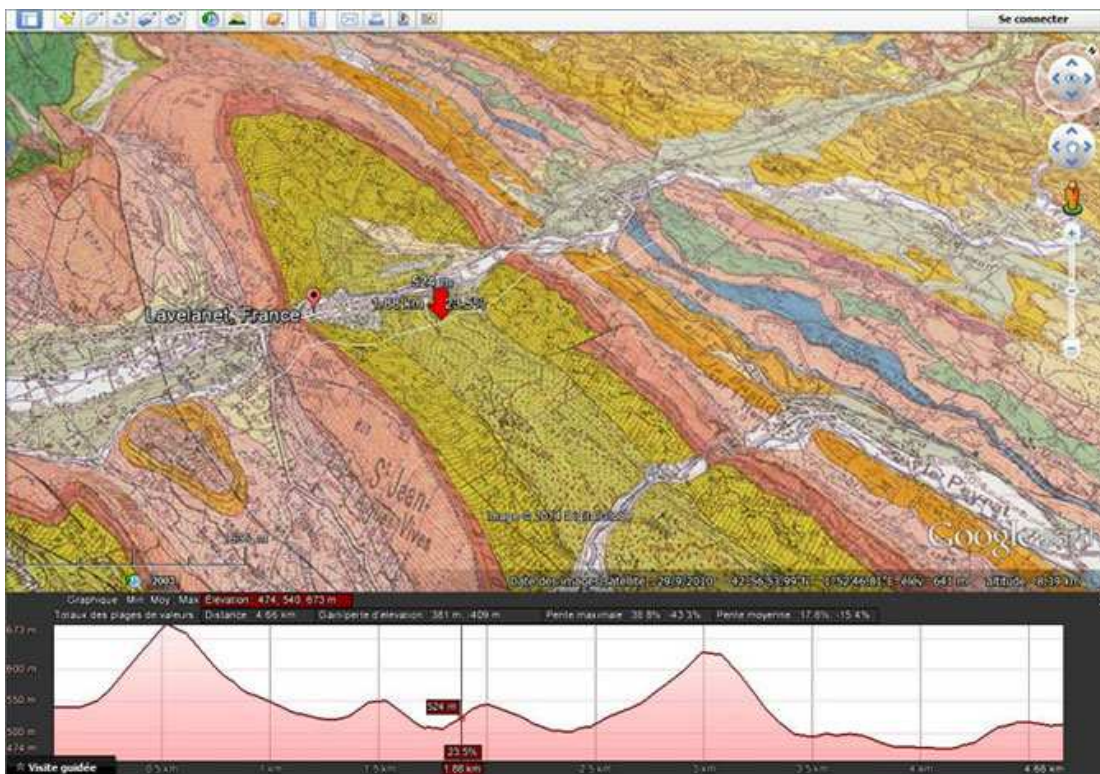
LU2ST301 – SIG - Cartographie

Responsables : Claudio Rosenberg (claudio.rosenber@upmc.fr)

Intervenants : Nicolas Bellahsen, Olivier Lacombe, Alain Rabaute, Jean-Baptiste Girault, Laurence Le Callonec, Agathe Faure, Damien De Couto, Nikos Lyberis, Philippe Agard, Nicolas Loget, Claudio Rosenberg

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Compétences et notions et acquises en sortie d'UE



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

22 séances de TP de 2h et 11 séances de CM d'1h

Les 5 premières séances de CM donnent les bases théoriques des projections cartographiques, des SIG, et de l'interprétation des cartes géologiques. Les 7 séances qui suivent présentent l'histoire géologique de la France à travers l'interprétation de la carte géologique de France au 1.000.000ème.

Compétences

Connaissances disciplinaires

- Histoire géologique de la France
- Principes de projections cartographiques
- Principes géométriques permettant l'interprétation 3D d'une carte géologique

Savoir-faire disciplinaire

- Analyse et construction 3D d'objets géologiques à partir de cartes géologiques et fonds topographiques

- Construction de coupes géologiques à partir des structures cartées en surface et leurs interpolations en profondeur Savoir intégrer des géométries mises en évidence en carte dans une séquence d'évènements tecto-sédimentaires
- Savoir dessiner et interpréter un schéma structural à partir d'une carte géologique
- Visualisation d'unités géologiques et relations avec la topographie sur visualisateurs 3D type Google Earth

Compétences transverses

- Savoir interpréter la structure et le flux des nappes d'eau en relation avec les structures et géométries mises en évidence à partir de la carte géologique
- Travail sur projets incluant bibliographie, construction de coupes, analyse et interprétation de cartes au 1/50000
- Introduction au SIG et aux outils de visualisation 3D

Modes d'évaluation

- ✓ TP
- ✓ projet
- ✓ CC
- ✓ CM

LU2ST302 – Minéralogie, pétrologie, magmatisme (MPM)

Responsables : Martin Erwan (erwan.martin@sorbonne-universite.fr)

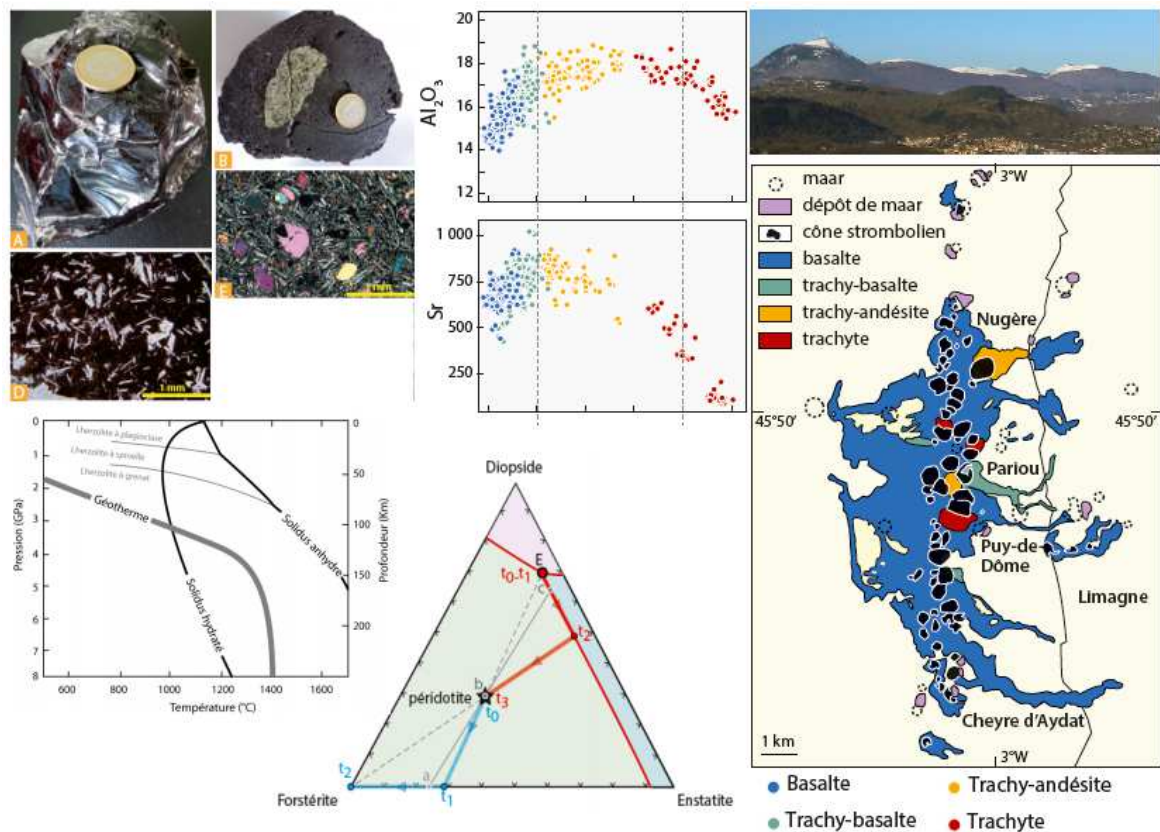
Céline Baudouin (celine.baudouin@sorbonne-universite.fr)

Intervenants : H. Balcone-Boissard, H. Bureau, C. Honthaas

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

L'objectif est d'apprendre à « lire » une roche magmatique pour en déduire son origine, son mode de mise en place et son contexte géodynamique.

La formation des roches magmatiques sera analysée sur la base de leur minéralogie et de leur chimie. La cristallisation des magmas, d'une part, et la fusion des roches, d'autre part, seront abordés à partir des objets naturels et de leurs analogues synthétiques. Les variations de composition chimique et minéralogique des roches ainsi que leurs textures permettront de discuter de leur origine et de leur mise en place. Enfin les processus magmatiques seront placés dans leur contexte géodynamique.



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Cours : 10 cours de 2h

TP : 10 séances de 4h (2h d'observation de roches magmatiques + 2h d'exercices)

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

Connaissances disciplinaires

- ✓ Diagrammes de phases binaires
- ✓ Diagrammes de phases ternaires
- ✓ Bilan de masse
- ✓ Le magmatisme et ses contextes géodynamiques
- ✓ Chimie et structure des minéraux magmatiques simples
- ✓ Notion de saturation en silice

Savoir-faire disciplinaire

- ✓ Observation et description des roches et minéraux magmatiques
- ✓ Description et interprétation d'un graphique
- ✓ Manipuler les données pétro-géochimiques (concevoir des diagrammes, établir des bilans de masse...)

Compétences transverses

Chimie (tableau périodique des éléments, notion de concentration, constante d'équilibre et d'activité), physique (notion de rhéologie, viscosité), math (niveau Baccalauréat scientifique).

Modes d'évaluation

- ✓ TP
- ✓ Écrit

LU2ST303 – Terrain 1 - Normandie

Responsable : François BAUDIN (francois.baudin@sorbonne-universite.fr)

Intervenants : Hélène BALCONE, Céline BAUDOIN, Swanne GONTHARET, Catherine HOMBERG, Christian HONTHAAS, Isabelle KRUTA, Laetitia LE POURHIET, Erwan MARTIN, Carine RANDON, Valentin RINEAU, Frédérique ROLANDONE, Loïc VILLIER, Pierpaolo ZUDDAS

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Ce stage de quatre jours aborde différents aspects des Sciences de la Terre à partir d'affleurements naturels et en carrière, visibles en Basse Normandie (Calvados et la Manche). Des objets géologiques remarquables sont observés, décrits et analysés permettant d'aborder les thèmes suivants : (1) Les migmatites du Pentévrien, l'un des plus vieux socle de France, (2) les séries sédimentaires du Paléozoïque inférieur des vallées de la Laize et de l'Orne, (3) le synclinal de May-sur-Orne et les discordances angulaires régionales, (5) le métamorphisme de contact du granite de Flamanville, (6) le Jurassique moyen de la région de Bayeux et de Caen, (7) les dépôts littoraux quaternaires, (8) la dynamique sédimentaire tidale actuelle.



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

1 séance de TP préparatoire (3h) et 4 jours de terrain

Compétences développées

Compétences transverses

- ✓ Initiation à l'observation et à l'analyse d'objets géologiques naturels
- ✓ Prise de notes synthétiques et initiation aux schémas d'observation sur un carnet de terrain
- ✓ Repérage au fil de l'itinéraire sur des cartes routières, géographiques et géologiques à différentes échelles
- ✓ Initiation au lever de carte géologique
- ✓ Orientation avec une boussole et une carte
- ✓ Mesure de direction et de pendage d'un plan et d'une ligne à l'aide d'une boussole.

Modes d'évaluation

- ✓ Exercices quotidiens réalisés chaque soir au retour du terrain
- ✓ Notation du carnet de terrain (justesse, qualité, soin, ...)
- ✓ Implication durant le stage

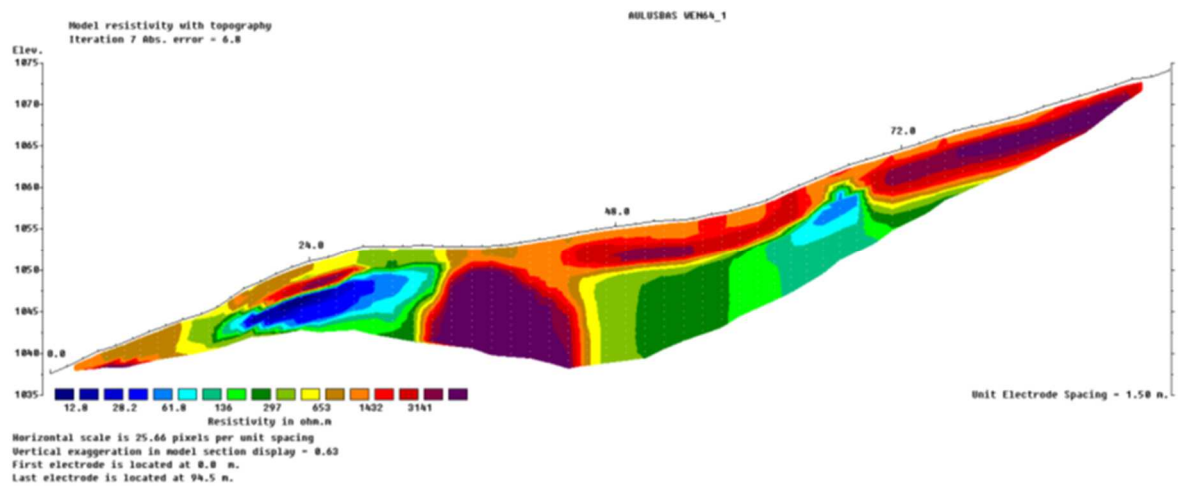
LU2ST304 - Outils mathématiques pour les Sciences de la Terre

Responsable : Anne-Marie LEJEUNE

Intervenants : Nicolas FLORSCH, Etienne BALAN, Julio CARDENAS

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Voir et revoir les mathématiques *utiles aux sciences de la Terre*. Dérivées, intégrales, fonctions de plusieurs variables, calcul vectoriel, algèbre linéaire, et introduction aux équations différentielles ordinaires et aux dérivées partielles sont au programme. On insistera cette année sur les opérateurs vectoriels (gradient, divergence etc.).



Tomographie de résistivité en présence d'une cavité peu profonde

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Dix séances de 1h de cours magistral et 10 séances de 2h de TD.

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

Connaissances disciplinaires

- ✓ Maîtrise des outils de base en mathématiques appliquées aux sciences de la Terre
- ✓ Compréhension des approches par modélisation des phénomènes physiques

Savoir-faire disciplinaire

- ✓ Calculs mathématiques élémentaires
- ✓ Applications aux sciences de la Terre

Compétences transverses

Profiter de l'universalité des mathématiques pour appréhender les phénomènes naturels (de l'écologie au volcan !)

Mode d'évaluation

- ✓ examen écrit
- ✓ rendus de TP et contrôles continus

LU2ST401 - Hydrologie-Hydrogéologie

Responsable : Simon Carrière (simon.carriere@sorbonne-universite.fr)

Intervenants : Sophie VIOLETTE, Ludovic OUDIN, Simon CARRIERE, Bertille LOISEAU, Pierre L'HERMITE

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Dans cet enseignement les notions fondamentales en hydrologie et hydrogéologie sont abordées pour des étudiants qui se destinent à une formation fondamentale ou appliquée en sciences de l'eau (hydrologie, hydrogéologie, hydrochimie), mais aussi dans toutes les sciences de la terre et/ou de l'environnement. Autour du cycle de l'Eau, de la notion de bassin versant et de bilan hydrologique, cette UE précise les propriétés physiques et hydrodynamiques des milieux poreux, décrit les types d'aquifères, évalue leur réserve et leur évolution au cours du temps, les méthodes mises en œuvre pour leur exploitation et les processus impliqués dans le transport d'éléments en solution.

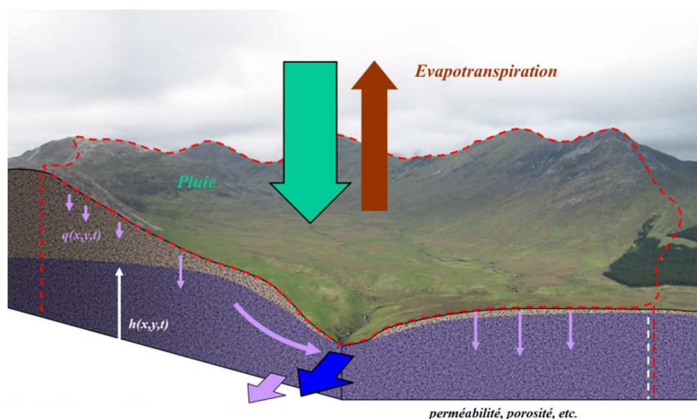


Figure 1 : Illustration des différents flux d'eau étudiés au cours de l'UE

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Les enseignements se partagent en 6 cours de 2h, 5 séances de TD de 2 h et un TP de 2h. Trois séances de 2h sont également prévues pour la préparation puis la restitution du mini-projet. Les TD sont des applications concrètes de notions vues pendant les cours d'hydrologie de surface (3 TD) et d'hydrogéologie (2 TD). Le TP porte sur une modélisation expérimentale d'une nappe d'eau souterraine au travers d'une maquette de nappe alluviale.

Cours 1 : Notions générales sur le cycle de l'eau, les interactions eaux de surface et eaux souterraines et décrit les processus hydro-sédimentaires et géomorphologiques propres aux systèmes alluvionnaires.

Cours 2 : Bases pour l'hydrologie quantitative 1/2. Ce cours présente le système bassin versant, sa définition, les moyens de détermination de ce système ainsi que la notion de bilan hydrique sur ce système. Pour cela, les différents flux (précipitation, évapotranspiration et écoulement) sont présentés.

Cours 3 : Bases pour l'hydrologie quantitative 2/2. La relation pluie-débit est décrite dans ce cours à plusieurs échelles temporelles : pluriannuelle, annuelle et événementielle. Ce cours présente en particulier le concept de régime hydrologique les mécanismes de genèse des épisodes de crues.

Cours 4 : Bases pour l'hydrogéologie quantitative 1/3. Ce cours présente les propriétés physiques et hydrodynamiques des milieux poreux, les notions de milieux non-saturé et saturé, les notions de charge hydraulique et de gradient hydraulique, la loi de Darcy.

Cours 5 : Bases pour l'hydrogéologie quantitative 2/3. Ce cours présente les différents types de nappes et de systèmes aquifères, ainsi que les interactions nappe-rivières et l'estimation des ressources en eau.

Cours 6 : Bases pour l'hydrogéologie quantitative 3/3. Ce cours aborde les notions d'exploitation des milieux aquifères, de transport de solutés en milieu poreux, de protection des captages et de gestion de la ressource en eau.

TD1 : Tracé d'un bassin versant à partir d'une carte topographique, détermination des caractéristiques géomorphologiques du bassin versant et estimations des flux du bilan hydrologique sur le bassin.

TD2 : Analyse de la réponse hydrologique en crue d'un bassin versant.

TD3 : Etude d'aménagement d'une rivière, hydraulique à surface libre, formule de Manning-Strickler.

TP : Le TP porte sur la détermination des propriétés hydrodynamiques du substrat sableux constituant une maquette de nappe alluviale, ainsi que sur l'estimation du flux d'eau souterrain passant dans ce substrat.

TD3 : Analyse et commentaire d'une carte hydrogéologique (région de Valenciennes) et réalisation d'une coupe hydrogéologique. Tracé d'une carte piézométrique et analyse de la relation nappe-rivière.

TD4 : Etude de cas permettant de caractériser le fonctionnement hydrogéologique d'un hydrosystème et d'évaluer l'impact d'une pollution accidentelle.

Projet : Synthèse de connaissances en hydrologie et hydrogéologie à partir de l'étude des transferts d'eau sur un bassin versant. Chaque groupe choisit un cas d'étude et prépare une synthèse présentée par groupe.

Compétences développées

Connaissances disciplinaires

- ✓ Compréhension des mécanismes physiques (écoulement et transfert d'éléments en solution) intervenant dans le cycle de l'eau : compartiments de surface et souterrain
- ✓ Bilan hydrologique, hydraulique à surface libre
- ✓ Charge hydraulique, Loi de Darcy, piézométrie

Savoir-faire disciplinaire

- ✓ Calcul de bilans, de flux, de propriétés physiques et hydrodynamiques
- ✓ Analyse de documents cartographiques (topographique, géologique, hydrogéologique)

Compétences transverses

Rédaction de compte rendu de TP, lecture de cartes topographiques, détermination de lignes d'isovaleurs à partir d'un jeu de données ponctuelles, notion de changement d'échelle, notion de gradient.

Valorisation des connaissances acquises en géosciences.

Modes d'évaluation

- ✓ TP
- ✓ projet
- ✓ cours

LU2ST403 - Sédimentologie et Tectonique

PARTIE SEDIMENTOLOGIE

RESPONSABLES

Laurent Riquier (laurent.riquier@sorbonne-universite.fr) et

Laurent Emmanuel (laurent.emmanuel@sorbonne-universite.fr)

INTERVENANTS

F. Baudin, S. Boulila, D. DoCouto, L. Emmanuel, C. Gorini, M. Hermoso, L. LeCallonnec, L. Riquier, J. Schnyder, L. Segalen

PRESENTATION GENERALE DE L'UE ET OBJECTIFS

L'objectif de ce module est de présenter les principaux processus sédimentaires, qui ont lieu au cours du cycle géologique des roches.

Durant les séances de cours magistraux, nous aborderons dans un premier temps les facteurs physiques et (bio)chimiques à l'origine de la sédimentation (altération, production biogène et chimique). Puis nous nous intéresserons aux processus sédimentaires (transport, dépôts, diagenèse) contrôlant la formation des sédiments et des roches sédimentaires (détritiques, carbonatées, évaporitiques, etc).

Au cours des séances de TP, nous nous intéresserons à la description des constituants et à la classification des roches sédimentaires en se basant principalement sur l'observation macroscopique d'échantillons de roches et sur l'analyse au microscope de lames minces.

ORGANISATION

10h de Cours (10 séances) et 20 h de TP (10 séances)

COMPETENCES ET NOTIONS ACQUISE EN SORTIE D'UE

Connaissances disciplinaires

- Maîtrise des notions fondamentales de sédimentologie, et des cycles sédimentaires
- Connaissance des principaux processus sédimentaires et facteurs associés, liés à la formation des sédiments et des roches sédimentaires
- Reconnaissance et description des constituants des grandes familles de roches sédimentaires à l'échelle macroscopique et microscopique

Savoir-faire disciplinaires

- Réalisation de dessins légendés d'échantillons macroscopiques et de lames minces
- Interprétation d'un diffractomètre et identification des minéraux

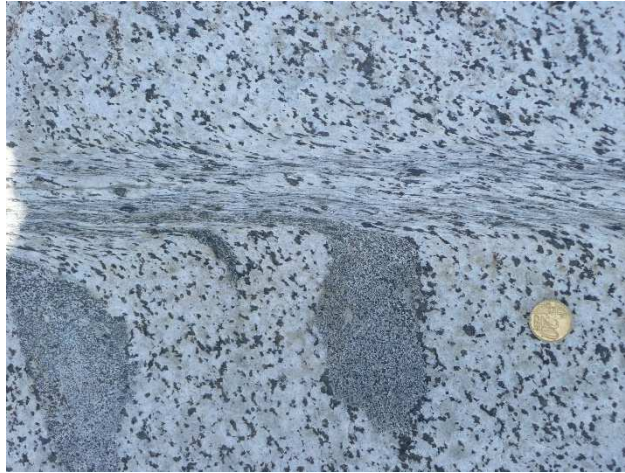
MODE D'EVALUATION

- TP, WIMS, évaluation de cours

PARTIE TECTONIQUE

Responsable : Claudio Rosenberg, Catherine Homberg

Intervenants : Claudio Rosenberg, Catherine Homberg, Laetitia Le Pouriet



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

9 séances de TP de 3h et 7 séances de cours de 1h

Compétences développées

Connaissances disciplinaires

- ✓ Contraintes et résistance des roches
- ✓ Lois de rupture
- ✓ Cinématique dans le champ ductile
- ✓ Mécanismes de plissement
- ✓ Anatomie et développement des grands systèmes tectoniques, décrochants, extensifs et compressifs.

Savoir faire disciplinaire

- ✓ Analyse structurale en carte et en coupe et en 3D
- ✓ Détermination des paléo-contraintes
- ✓ Détermination des champs de stabilité, de fracturation, de réactivation de structures, dans un diagramme de Mohr
- ✓ Quantification de la déformation

Compétences transverses

- ✓ Utilisation des canevas (de Schmidt) pour représenter des plans et lignes, et analyser leurs rapports dans l'espace.

Modes d'évaluation

- ✓ TP, CC, évaluation de cours

LU2ST404 – Introduction aux géostatistiques

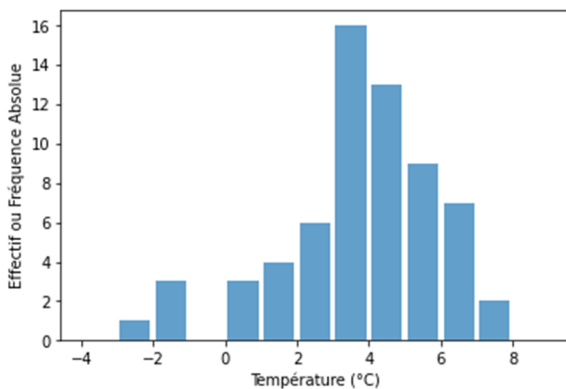
Responsable : Guillaume Gastineau – guillaume.gastineau@sorbonne-universite.fr

Intervenants : Guillaume Gastineau, Yannis Cuypers, Diana Ruiz-Pino

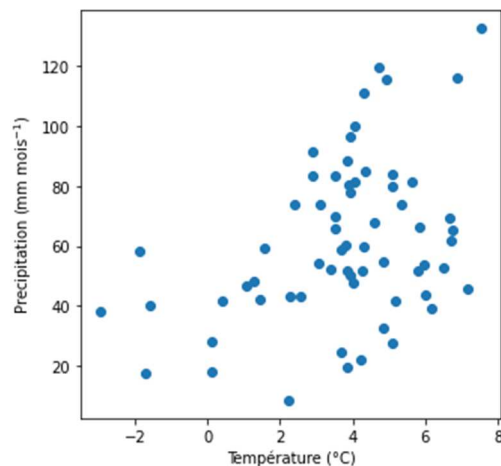
Présentation générale de l'U.E. et objectifs

L'objectif de cet enseignement consiste à savoir traiter les données issues de mesures ou d'observations et de les interpréter.

La plupart des phénomènes observés ont une variabilité. Les mesures sont donc des variables aléatoires. Les statistiques fournissent des outils permettant de quantifier cette variabilité. Les tests permettent de confirmer ou infirmer des hypothèses de travail en contrôlant le risque associé à la décision. Dans cette UE, pas de démonstrations mathématiques mais une présentation des fondements théoriques et une mise en pratique à l'aide de données issues des sciences de la Terre (paléontologie, climatologie, géochimie ...).



Distribution des températures les mois de Janvier à Paris de 1958 à 2022



Distribution bivariable de la température et de la précipitation les mois de Janvier à Paris de 1958 à 2022.

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Le contenu est réparti entre cours et TD. Les 10h de cours présentent les problématiques liées à la variabilité des mesures, au principe de l'échantillonnage, ainsi que le raisonnement associé à l'utilisation de tests. Les 20h de TD ou TP sur tableur mettent en application les principes avec des exercices d'applications simples. Des études de cas plus complexes liés aux Sciences de la Terre sont également abordées.

Compétences développées

Les concepts suivants seront développés :

- les statistiques descriptives,
- les intervalles de confiance;
- les tests d'hypothèses ;
- la régression et la corrélation.

A l'issu de cet enseignement, il s'agit

- d'avoir compris la signification et l'usage des lois de probabilités et de leurs paramètres ;
- de connaître les contraintes de l'échantillonnage et ses conséquences ;
- de connaître les techniques de base de comparaisons d'observations ;
- d'évaluer l'existence de liaisons entre grandeurs mesurées ;
- de comprendre les risques associés à l'usage des tests.

Modes d'évaluation

- ✓ Deux écrits sur table et des devoirs maisons.

LU2ST405 – Géochimie 6 ECTS

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.

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

Organisation des enseignements

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

Modes d'évaluation

travail personnel
examen de cours

LU3ST055 – Ressources – 6 ECTS

Responsable : Laurence Galois (laurence.galois@sorbonne-universite.fr) – François Baudin (francois.baudin@sorbonne-universite.fr)

Intervenants : L. Galois – 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.



Exploitation d'une mine de nickel en 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 TD et exposés

LU3ST056 – Paléobiodiversité - 6 ECTS

Responsable : Carine RANDON (carine.randon@upmc.fr)

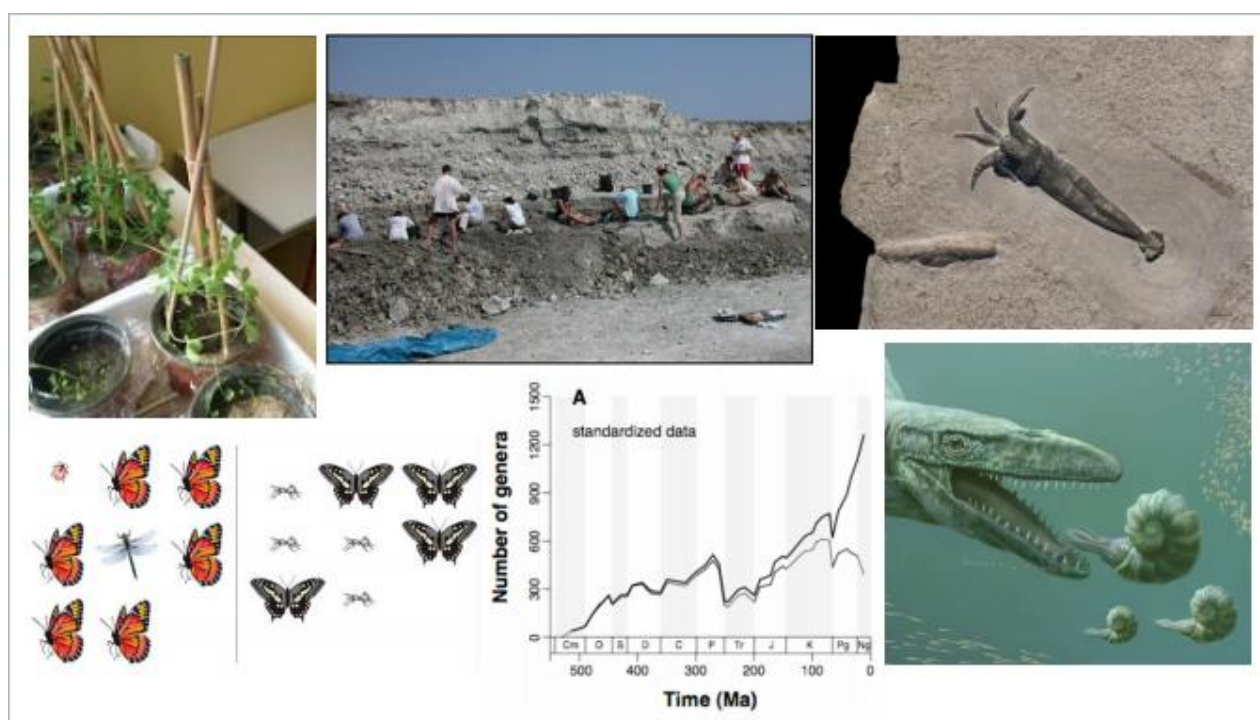
Intervenants : Carine Randon, Loic Villier, Anais Boura, Johan Schnyder (Sorbonne)

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

- Notions 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

TP, projets personnels, cours

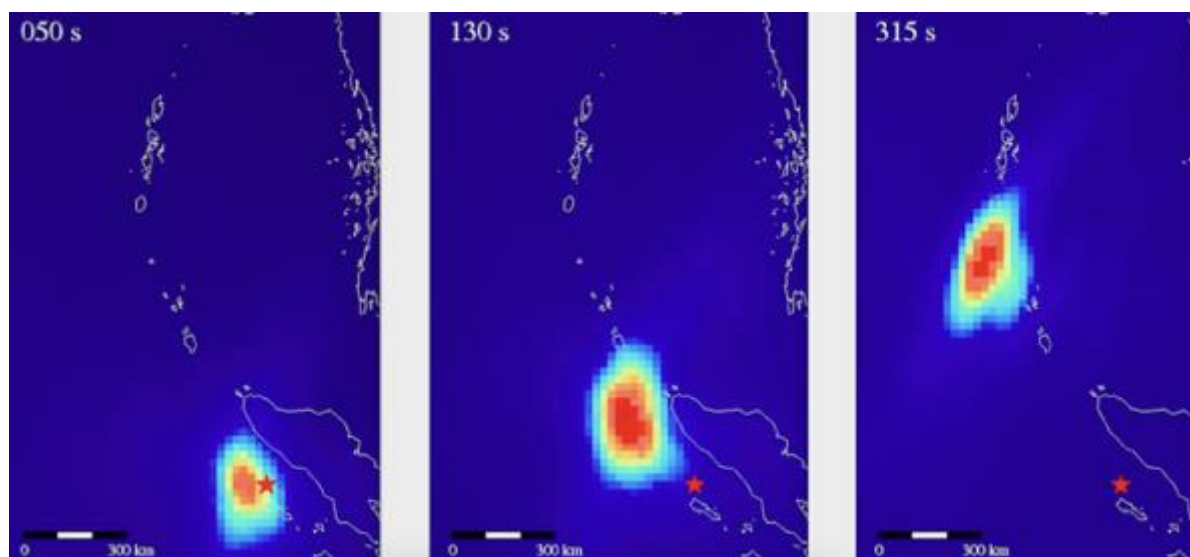
LU3ST057 - Séismes -Ondes et images – 6 ECTS

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 (sismogénèse) 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 sismogénèse, 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-Sismogénèse : 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

TP

CC

Cours

LU3ST058 – Minéralogie -6 ECTS

Responsables: Laurence Galois (laurence.galois@sorbonne-universite.fr) et Mathieu Chassé (mathieu.chasse@sorbonne-universite.fr)

Intervenants: Laurence Galois, Mathieu Chassé, Chrystèle Sanloup, Etienne Balan, Ludovic Delbes

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'événements 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

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, classer 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

- Dédurre 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

examen final (écrit) ;

contrôle continu (écrit à mi-parcours) ;

travaux pratiques (présentation orale en milieu d'UE) ;

projet (synthèse en début d'UE).

LU3ST059 – Océanographie - 6 ECTS

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

Intervenants: Alban Lazar, Guillaume Gastineau, Diana RUIZ-PINO

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

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

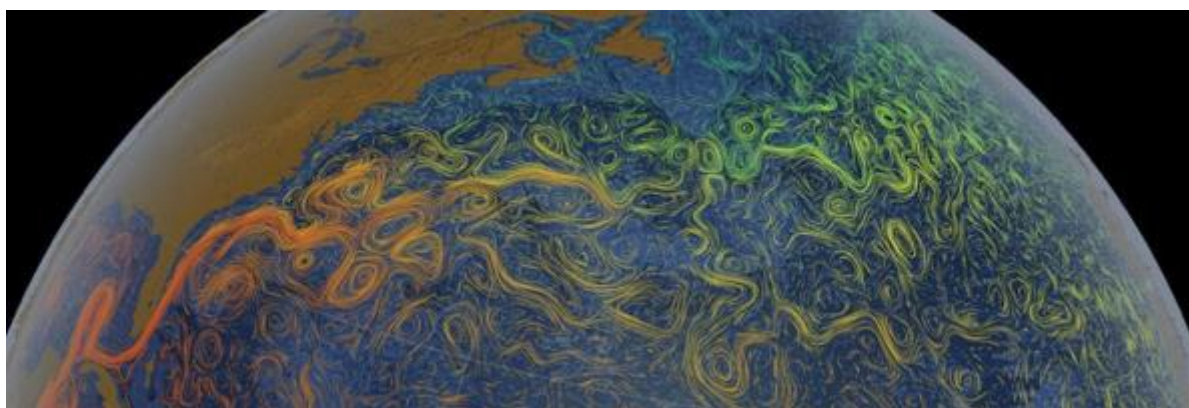


Figure : Courant océanique coloré selon la température océanique de surface, à partir de la base de données ECCO2 (from NASA Scientific Visualisation Studio, <https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=3913>).

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 équilibres 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 mécanique 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

examen final

projet ou TP

CC

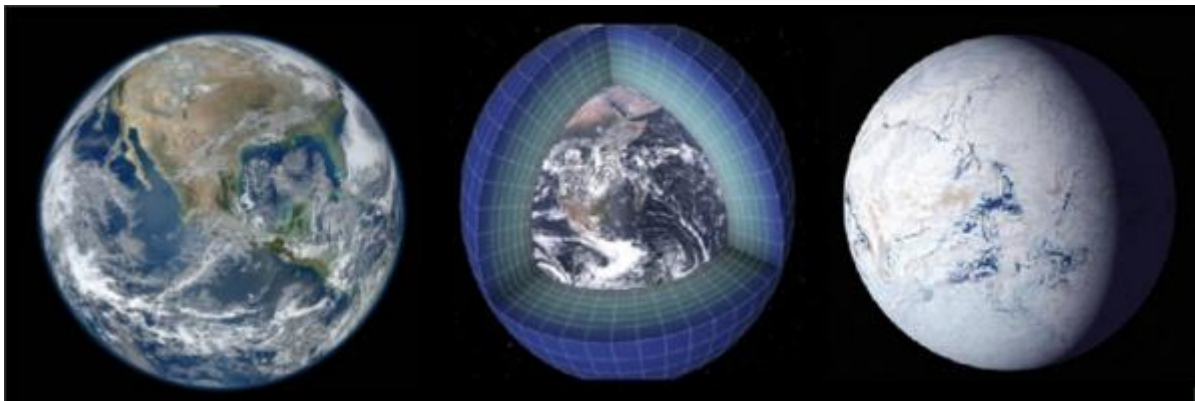
LU3ST060 - Climats et paléoclimats 6 ECTS

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^{[1][2][3][4][5][6][7][8][9][10]}

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) :

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

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

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

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

Épreuve(s) de contrôle de connaissances (CC)

Évaluation écrite et orale du projet de TP

LU3ST069 - Géophysique, outils et applications (6 ECTS)

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 appel à de nombreux domaines afin de cibler des propriétés physiques du sous-sol à la fois distinctes et complémentaires, pour mieux imaginer 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 chaînes 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

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)
- Connaître 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.

LU3ST501 – Géochimie 6 ECTS

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.

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

Organisation des enseignements

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

Modes d'évaluation

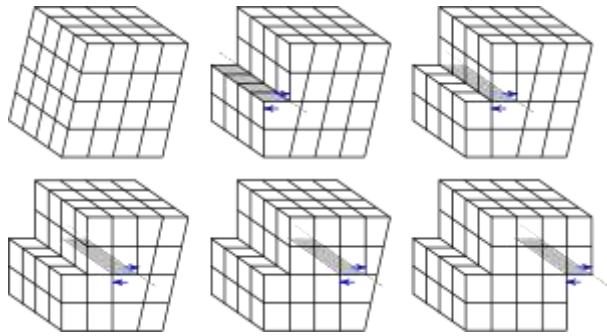
travail personnel
examen de cours

LU3ST502 - Mécanique des milieux continus (ENS) – 6 ECTS

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

LU3ST507 - Géodynamique et environnements sédimentaires - 6 ECTS

L'UE LU3ST503 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, accréation 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 fluviaux
- Plate-formes carbonatées
- Environnements lacustres
- Environnements littoraux silico-clastiques
- Environnements pélagiques turbiditiques
- Environnements pélagiques
- Environnements évaporitiques

Travaux pratiques

- Un système fluvial : 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 : Peira Cava et Grès d'Annot (2h)
- Environnements pélagiques et volcano-sédimentaires (2 Tp=4h)
- Un bassin évaporitique : le Bassin de Mulhouse (2h)

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

- Introduction générale, rappels sur la structure de la Terre et en particulier la lithosphère
- Cinématique des plaques 1 (cinématique instantanée, modèles relatifs) TP Cinématique plane, jonctions triples
- Cinématique des plaques 2 (modèles absolus, cinématique finie) -TD Mécanismes au foyer des séismes
- Géodésie spatiale (GPS et InSAR) + TP Séries temporelles GPS & interprétation d'une image INSAR
- Sismique réflexion et réfraction + TP Interprétation sismique
- Gravimétrie, Isostasie, Relief+ TD Calcul et interprétation des anomalies gravimétriques & isostasie.
- Extension continentale + TP Golfe de Corinthe
- Extension continentale 2 + TP Marge de Galice
- Dorsales océaniques + TP Golfe d'Aden
- Subduction + TP Sumatra
- 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 reconnaître 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
- reconnaître les principales figures sédimentaires
- savoir dessiner un log sédimentaire détaillé

Compétences transverses

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

Modes d'évaluation

Cours, TP, CC



Le rift d'Asal à Djibouti

LU3ST508 – Terrain 2 : cartographie

Responsable : Marc Fournier (marc.fournier@sorbonne-universite.fr)

Intervenants : Philippe Agard, Nadaya Cubas, Marc Fournier, Catherine Homberg, Nicolas Loget, Carine Randon, Laurent Riquier, Claudio Rosenberg, Johann Schnyder

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Cette école de terrain est consacrée à l'acquisition des méthodes de levés cartographiques en contexte sédimentaire plissé. Elle se déroule dans la région de Barles, au front des Alpes. La série stratigraphique et les méthodes d'analyse de terrain sont présentées en introduction du stage. L'essentiel du stage consiste en un levé géologique complet au 1/10.000^{ème} d'un secteur d'environ 10 km² par groupe de 2 ou 3 étudiants. L'objectif est de fournir aux futurs géologues les bases indispensables pour mener une étude de terrain en perfectionnant leur sens de l'observation et leur pratique des mesures quantitatives sur le terrain. Les arguments de terrain sont synthétisés pour reconstruire des paléo-environnements, des paléogéographies, un cadre géodynamique et pour intégrer l'histoire des terrains dans l'histoire géologique de la France. L'apprentissage alterne entre autoformation et encadrement régulier par les enseignants au fil du stage.



Vue d'ensemble des terrains

Organisation du stage

J1 : présentation de la série stratigraphique et des méthodes d'analyse de terrain (maniement de la boussole et du clinomètre, mesures de pendage, mesures de failles à stries, maniement du GPS)

J2 à J7 : cartographie d'un secteur par groupes de 2 ou 3 étudiants

J8 : présentation orale des terrains par chaque groupe

J9 : rédaction du rapport

Compétences développées

Connaissances disciplinaires

- ✓ Cartographie géologique
- ✓ Stratigraphie, paléontologie, sédimentologie, tectonique

- ✓ Géologie régionale des Alpes
- ✓ Histoire géologique de la France

Savoir-faire disciplinaire

- ✓ S'orienter par la lecture et le repérage sur carte
- ✓ Lire et interpréter les paysages
- ✓ Observer, décrire, mesurer et analyser les objets géologiques : dessins d'affleurements, mesures microtectoniques, décryptage de structures complexes à différentes échelles
- ✓ Reporter les observations sur une carte et sur un carnet de terrain
- ✓ Dresser la carte géologique du secteur d'étude
- ✓ Réaliser un schéma structural
- ✓ Dessiner des coupes géologiques
- ✓ Rédiger un rapport de terrain circonstancié
- ✓ Intégrer les résultats dans l'évolution régionale de la chaîne alpine

Compétences transverses

- ✓ Communiquer ses résultats à l'ensemble de la classe par une présentation orale sur le terrain

Modes d'évaluation

- ✓ Présentation orale
- ✓ Rapport écrit

LU3ST603 - Terrain 3

1- Stage de terrain de Sédimentologie, stratigraphie, paléontologie

Lieu: Merry-sur-Yonne (Bourgogne) / 6 jours

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 réservoir exploitable par l'industrie pétrolière.

Encadrants: C. Rosenberg, Loïc Labrousse

Objectifs: appréhension quantitative de la déformation finie a toutes les échelles, représentation stéréographique et 3D des structures géologiques, Lien entre représentations en cartes et représentations en coupes.

Travaux par ateliers d'une demi-journée, en individuel ou en groupe, exercices sur table le soir ... semaine intense !



3- Stage de Volcanologie

Lieu: Santorin (6 jours)

Encadrants: H. Balcone-Boissard, E. Martin

Etude du volcanisme actif de l'île de Santorin (Grèce). Une grande partie du stage consiste à cartographier les dépôts de l'éruption Minoenne afin de retracer l'histoire de cette éruption qui est l'une des plus grosses éruptions connues par l'homme (il y a 3600 ans). Ensuite l'étude de dépôts stromboliens, hydromagmatiques, coulée de laves, fumerolles etc. permettent de discuter des différents processus et dynamismes magmatiques et volcaniques qui ont permis d'édifier cet édifice volcanique qui présente un risque majeur.



Objectifs: prendre toute la dimension dynamique des édifices volcaniques, de leurs activités et de leurs conséquences (risques et aléas) minéralogie et deformation dans les unités de socle et de couverture, mise en évidence de mécanismes localisants.

4- Stage Environnement et Patrimoine



Lieu: Bourgogne (5 jours)

Encadrants: L. Galois (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.

5- Stage de Géochimie Sol – Eau

Lieu: Bourgogne / 5 jours

Encadrante: K. Quenea

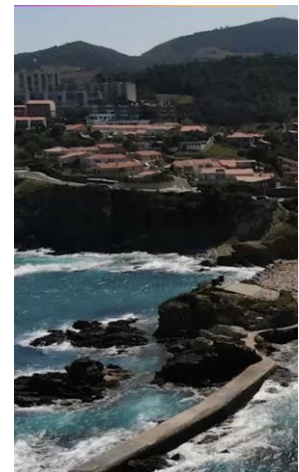


Ce stage a pour objectif d'observer les sols et d'identifier les facteurs à l'origine de leur diversité. A partir d'analyses de terrain, les interactions géochimiques entre sol et eau seront mises en évidence. Le stage permettra d'acquérir les compétences nécessaires à la description des sols par l'observation de terrain et permettra de se former aux méthodes de prélèvement et d'analyses chimiques de terrain.

6- Stage d'océanographie

Lieu: Banyuls sur Mer / 6 jours

Encadrants: A. Lazar, D. Ruiz-Pino



Introduction à l'organisation, la réalisation et l'analyse d'une campagne en mer. Présentation des activités de recherche d'une station marine de SU. Sorties à bord d'un navire de la Flotte océanographique côtière française, dédiée à la mesure de quantités clés de la physique (profils de température, salinité), la biogéochimie (Oxygène et pH) et la biologie marines (chlorophylle et plancton).

<https://www.obs-banyuls.fr>

LU3ST605 - Pétrologie métamorphique3 ECTS

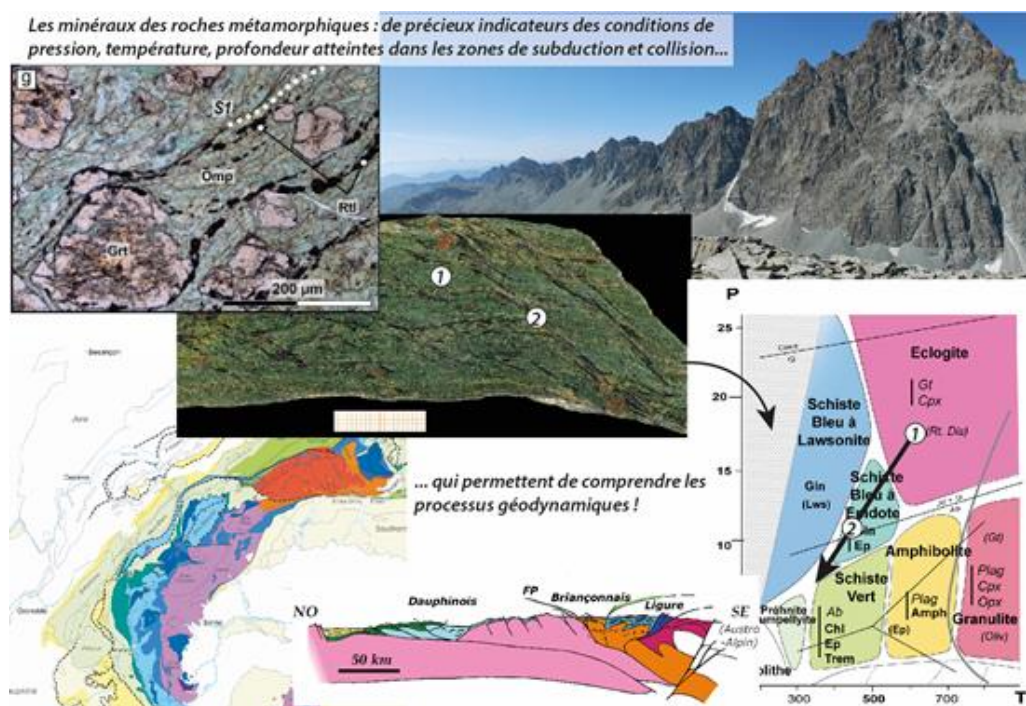
Responsables et intervenants : Anne Verlaquet ([anne.verlaquet @ sorbonne-universite.fr](mailto:anne.verlaquet@sorbonne-universite.fr))

Philippe Agard ([philippe.agard @ sorbonne-universite.fr](mailto:philippe.agard@sorbonne-universite.fr))

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Les roches métamorphiques qui affleurent aujourd'hui dans les chaînes de montagnes correspondent à des écailles de roches qui ont été enfouies dans une zone de subduction ou de collision continentale, avant d'être exhumées vers la surface. Au cours de l'enfouissement des roches, leur minéralogie change constamment au gré des variations des conditions pression-température subies. ***Les minéraux des roches métamorphiques sont donc de précieux indicateurs de ces conditions et nous permettent de déterminer la profondeur atteinte par les roches, leur vitesse d'exhumation, le contexte géodynamique d'enfouissement... Autant de données majeures pour la compréhension des processus et les reconstructions géodynamiques !***

Cette UE vise donc à former les étudiants (1) à la reconnaissance des minéraux métamorphiques (ex : grenat, staurotide, disthène, ...) et structures de déformation des roches, (2) à l'utilisation de ces minéraux pour déterminer les chemins pression-température-temps suivis par les roches, et (3) à l'interprétation géodynamique.



Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Les thématiques des cours et TP-TD sont totalement intégrées.

6 séances de cours de 2h :

Cours 1 – Les roches métamorphiques : définitions et notions de base

Cours 2 – Déformation et recristallisation des roches : structures et processus

Cours 3 – Estimation des conditions P-T : construction des grilles pétrogénétiques

Cours 4 – Estimation des conditions P-T : réactions divariantes, géothermobaromètres

Cours 5 – Gradients métamorphiques et évolutions types

Cours 6 – Métamorphisme et évolution géodynamique

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

Les séances de TP-TD sont essentiellement basées sur l'observation d'échantillons, de lames minces au microscope, et de cartes géologiques (environ 15h/18h). Les séances alternent observation macro, micro, étude de cartes et exercices.

- **Observation en macro et en lame** des différents types de roches (métabasites et métasédiments) : reconnaissance des minéraux et faciès métamorphiques, chronologies de cristallisation et chemins P-T associés (environ 9h) ;

- **Etude de cartes et coupes géologiques** (et lien avec les échantillons) : lecture des isogrades métamorphiques, interprétation en termes de gradient métamorphique et contexte géodynamique ; évolution thermique au cours d'une orogénèse ; chemin P-T-t et calcul des vitesses d'exhumation ; études en particulier des chaînes hercynienne et alpine (environ 6h) ;

- **Exercices de construction des grilles P-T et utilisation de la composition des minéraux comme thermomètres ou baromètres** (environ 3h).

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

Connaissances disciplinaires

- faciès métamorphiques et associations minérales caractéristiques

- construction et interprétation des chemins pression-température-temps
- gradients métamorphiques et interprétation en termes de contexte géodynamique

Savoir faire disciplinaire

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

Compétences transverses

- présentation / commentaire de document
- dessiner et légender un échantillon, une lame mince

Modes d'évaluation

35% évaluation de TP

50% évaluation de cours

15% dessins lames-roches et QCMs faits en cours.

LU3ST606 - Matériaux Géotechnique

Géophysique 6 ECTS

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 entre 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 étudiées 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).

LU3ST607 - Géochimie appliquée (6 ECTS)

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 complètera la note globale.

LU3ST608 - Géodynamique des bassins sédimentaires

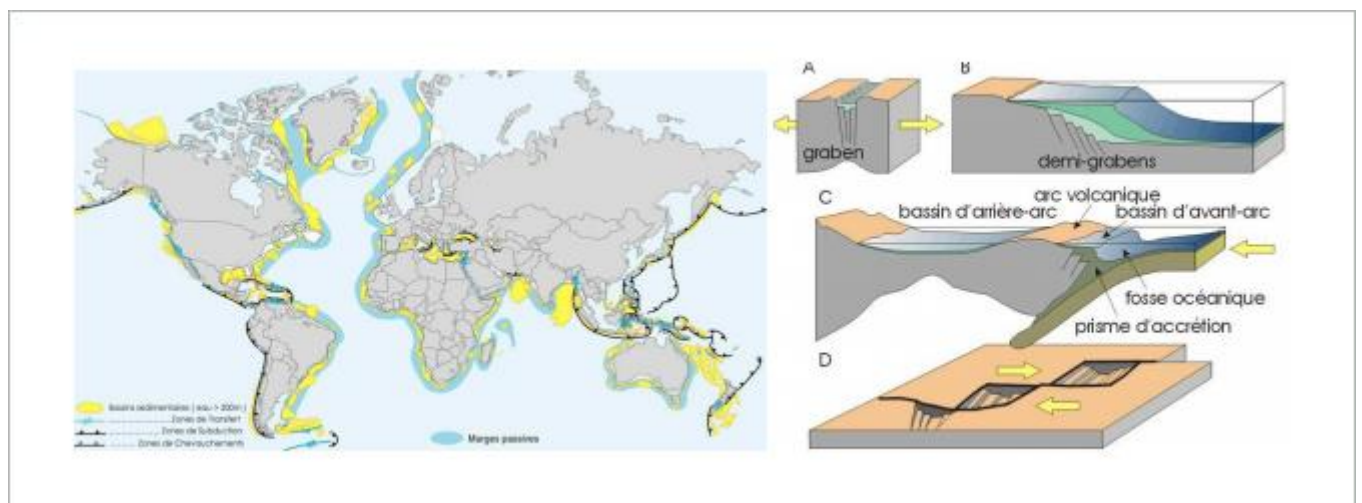
Responsable: Christian Gorini

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

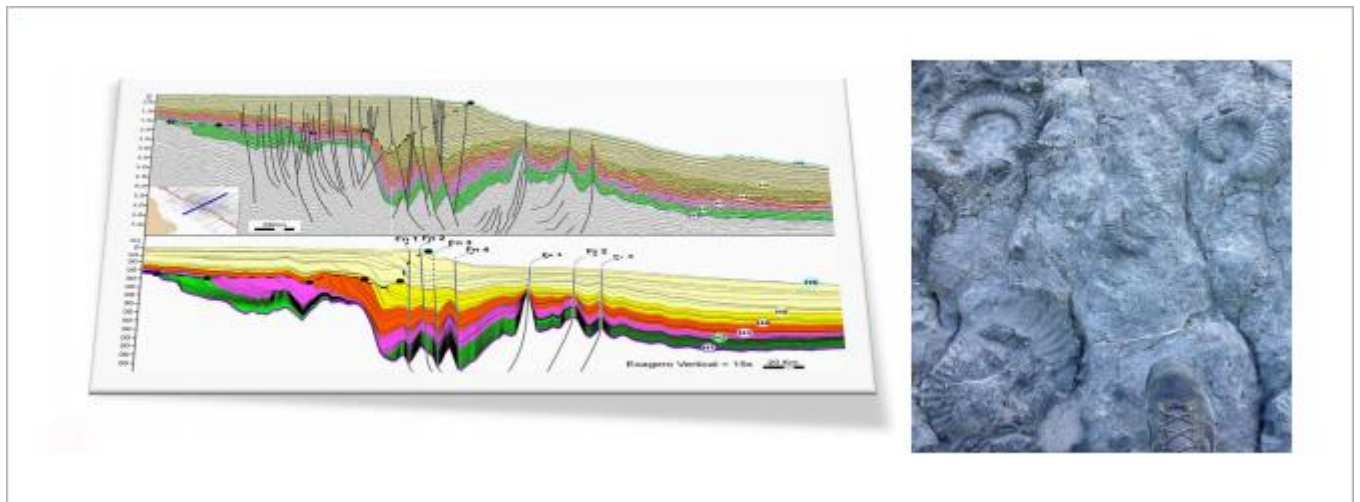
Le but de cette UE est de fournir aux futurs géologues l'illustration des concepts de base et des méthodes spécifiques de l'étude des bassins sédimentaires dans leur contexte géodynamique. Ces réceptacles représentent les archives de l'histoire tectonique et climatique de la Terre. Il s'agit d'offrir 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).

Mots clefs

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



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



(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 sédimentaires (C. Gorini) types de bassins et caractéristiques en terme de ressources TP2 : caractérisations des différents bassins sédimentaires français, un exemple de détail : carto et exercices (C.Gorini)
 CM3: cycles de Wilson et caractéristiques pétrolières des bassins (C. Gorini) TP3: Les rifts (C. Gorini)
 CM4: Modélisation 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 étendues (E. D'acremont)
 CM6 : Mécanismes initiateurs de la subsidence et courbes (MF Brunet) TP6 : Mécanismes 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. Migeon et D. Do Couto)
 CM9: Les bassins sur décrochements (Migeon) TP 9: Les bassins sur décrochements (Migeon)
 CM10: source et flux dans les bassins (N.Loget, D. Do Couto) TP 10: sources et flux dans les bassins (D. Do Couto, N.Loget)
 CM11: La tectonique Salifère et Argilocinèse (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

- Géologue de Bassin, réservoir, géologue de l'environnement, risques naturels, géologue des ressources et énergies.

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.

LU3ST609 - Stratigraphie

Responsables : Slah Boulila & Christian Gorini

Intervenants :

Annachiara Bartolini, MNHN (Biostratigraphie & biochronologie)

Slah Boulila SU (Cyclostratigraphie & astrochronologie)

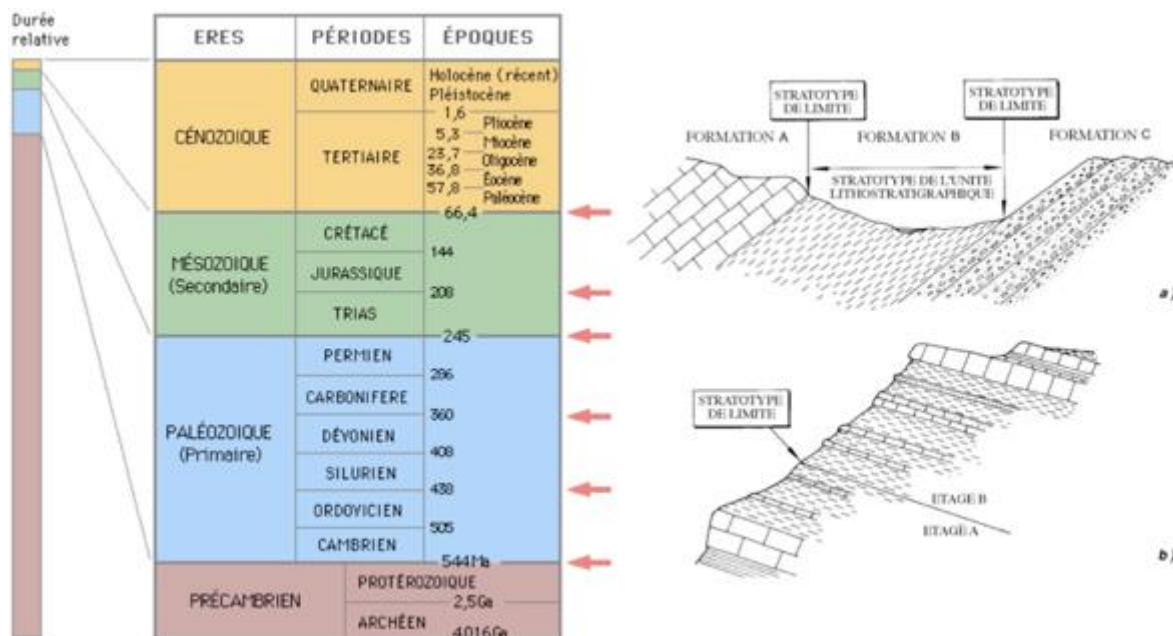
Bruno Galbrun CNRS-SU (Magnétostratigraphie)

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 = 24h

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 diagraphe	TP9	Application des diagraphe 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

LU3T613 - Approche intégrée en Géosciences (3 ECTS)

Responsable : Sophie Violette (sophie.violette@sorbonne-universite.fr)

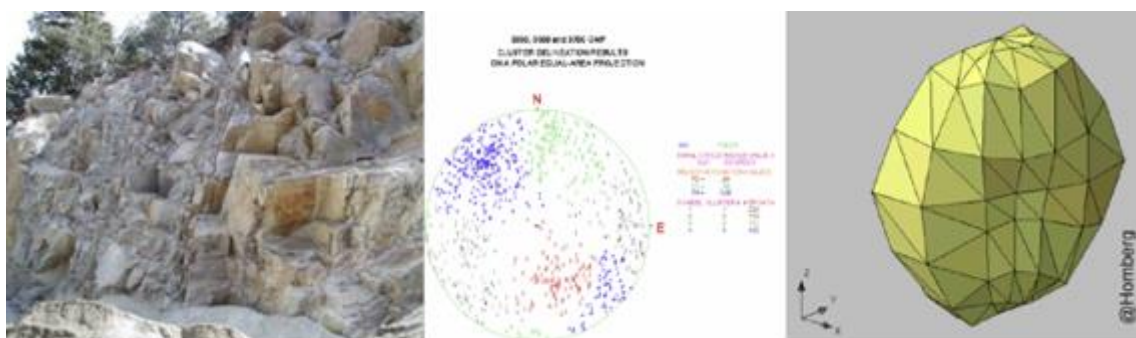
Intervenants : Catherine Homberg (catherine.homberg@sorbonne-universite.fr) ;

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 a 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

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.

Mise en forme, présentation et réponses aux questions du poster

Rédaction du résumé du poster et commentaire d'une figure de synthèse issu du poster (nombre de mots limité).

LU3ST614 - Magmas, Fluides et Volcans3 ECTS

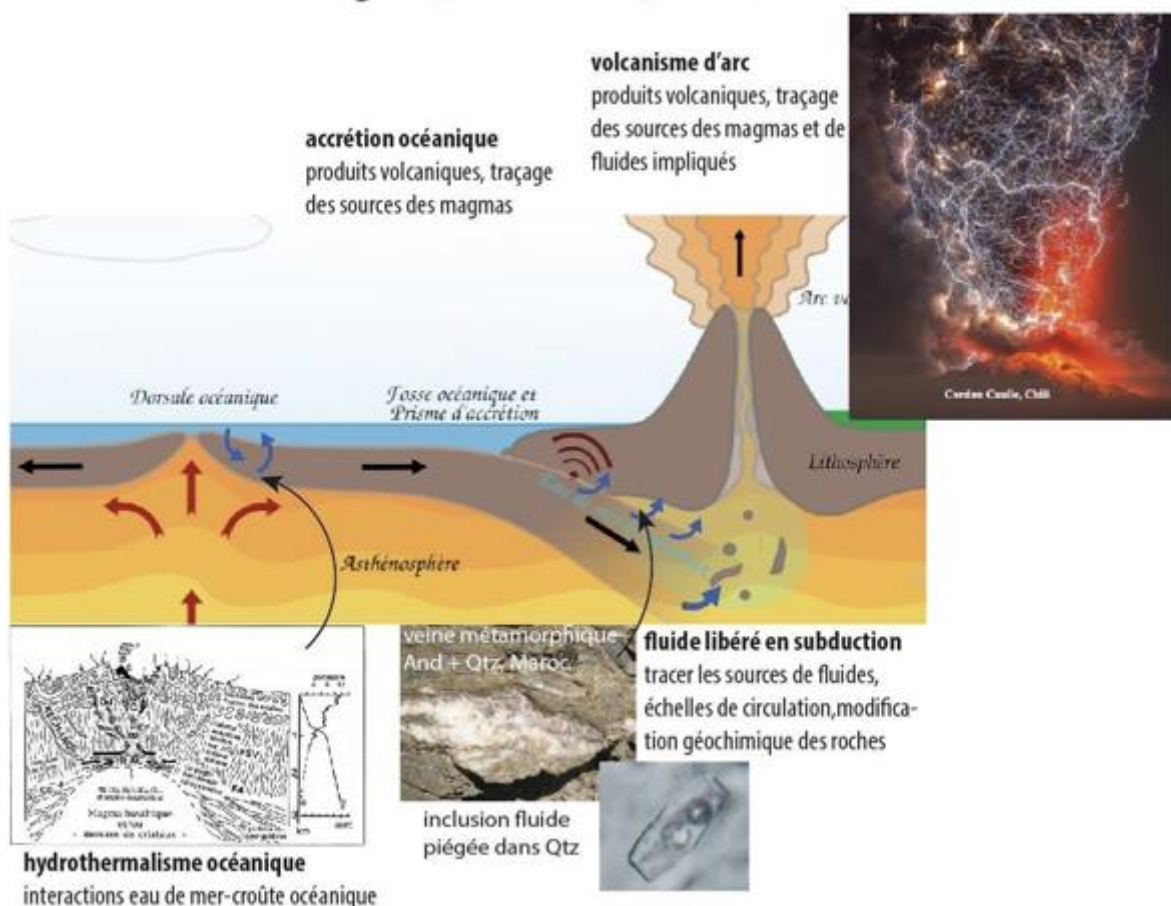
Equipe pédagogique :

Hélène Balcone-Boissard (helene.balcone_boissard@sorbonne-universite.fr), Christian Honthaas (christian.honthaas@sorbonne-universite.fr), Erwan Martin (erwan.martin@sorbonne-universite.fr), Anne Verlaquet (anne.verlaquet@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.

Génèse des magmas, volcanisme, circulations de fluides



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 de fluides. 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.

LU3ST615 - Eau, Ressources, 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 accroît les tensions et rend plus probable les événements 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 réglementaires.
- 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

LU3ST616 – Géosciences et enjeux environnementaux

Responsables et intervenants :

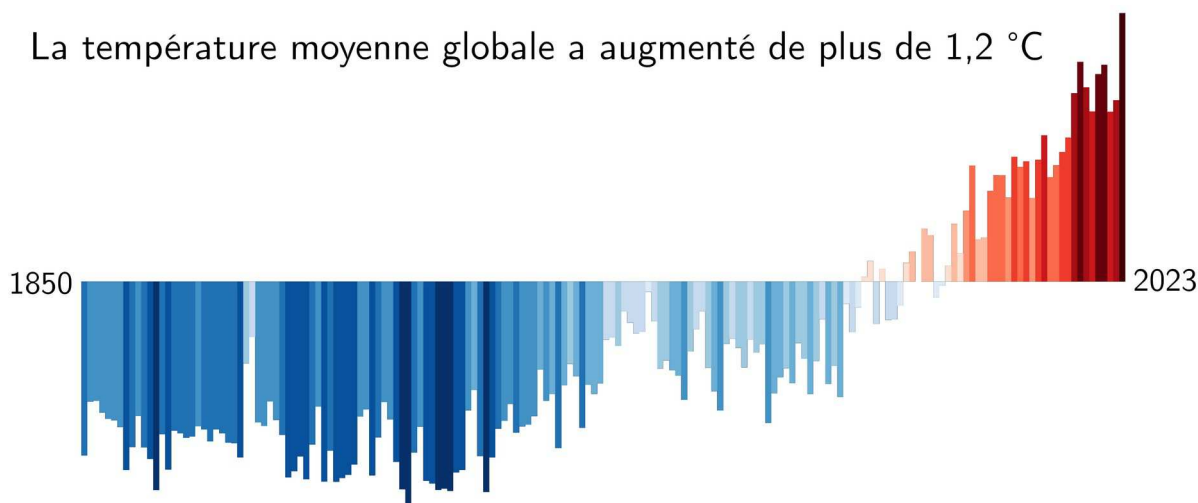
Florent Brient (florent.brient@sorbonne-universite.fr)

Mathieu Chassé (mathieu.chasse@sorbonne-universite.fr)

Présentation générale de l'U.E. et objectifs

Cette UE a pour but de former les étudiant·e·s de licence Science de la Terre aux causes et conséquences du réchauffement climatique, aux crises écologiques et aux enjeux des transitions par le prisme de leur formation en géosciences. Il s'agit dans une première partie de préciser et synthétiser les différentes perturbations liées aux activités humaines ayant des impacts globaux sur le fonctionnement du système Terre évoquées avec plus ou moins de détails au cours du cursus de Licence Sciences de la Terre. À l'appui de ces constats, une mise en action des étudiant·e·s face à une question sociétale posant des problèmes environnementaux concrets est proposée mettant en évidence l'aspect systémique des perturbations anthropiques du système Terre. L'objectif est alors de prendre conscience de la place de l'expert·e en géosciences dans les réponses à apporter et de la nécessité du dialogue et de l'interaction avec un vaste panel de parties prenantes (experts des divers champs scientifiques, en particulier incluant les sciences humaines et sociales, la société civile, le secteur privé, les décideur·euse·s politiques...).

La température moyenne globale a augmenté de plus de 1,2 °C



Relation avec le cursus

Cette UE s'appuie sur le panel de connaissances et de compétences pour partie acquises en licence Sciences de la Terre pour identifier et quantifier d'un point de vue temporel et spatial les perturbations induites par les activités humaines dans le fonctionnement du système Terre. Le cours comme les activités se veulent ainsi pluridisciplinaires, mobilisant la climatologie, l'océanographie, la météorologie, l'hydrologie, les sciences de l'environnement, la géochimie, la minéralogie, la pétrologie ou encore la paléontologie. Ces savoirs sont ensuite remobilisés pour étudier et tenter de répondre à des problématiques environnementales concrètes et se positionner en tant qu'expert·e et citoyen·ne pour appuyer la prise de décision.

Organisation des enseignements et descriptifs des séances

Les 3 ECTS seront répartis sur 5 séances de cours (2 h), 5 séances de TD (2 h) et 5 séances de projet en présentiel encadré (2 h).

Chaque **cours** est associé à un **TD** avec cinq grandes parties :

L'Anthropocène, nouvelle époque géologique ? Il s'agira de questionner la notion d'Anthropocène et présenter les indicateurs d'une « grande accélération ».

TD : modèles pour comprendre la nature systémique des problématiques environnementales
Les perturbations du système climatique. Fonctionnement de la machine climatique terrestre, paléoclimats

TD : étude des ordres de grandeurs des perturbations radiatives modifiant le climat.

Les perturbations du cycle de l'eau. Impacts des changements climatiques et des pressions anthropiques sur le cycle de l'eau en surface et en profondeur.

TD : modification des pluies et des sécheresses, effets sur l'hydrologie.

Les perturbations des cycles biogéochimiques. Reconstruction du cycle naturel de de l'azote et identification et quantification des perturbations anthropiques

TD : reconstruction et analyse guidée du cycle du phosphore

Un épuisement des ressources minérales ? Contraintes économiques, géographiques, politiques, sociales, techniques d'extraction et impacts environnementaux,

TD : étude de cas sur le lithium, contexte et débat sur l'ouverture d'une mine en France

Le **projet** a pour objectif d'identifier une problématique environnementale concrète, à une échelle régionale, autour d'une des quatre grandes thématiques abordées en cours. À l'appui d'une analyse basée sur l'expertise en géosciences, il s'agira de proposer des pistes d'atténuation ou d'adaptation prenant en compte la variété des contraintes, qu'elles soient techniques, politiques, géographiques, économiques, sociologiques... Le projet est construit avec l'aide des encadrants au long du semestre.

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

Connaissances disciplinaires

- ✓ Résumer les grandes tendances de l'évolution passée et actuelle des compartiments du système Terre et en particulier la nature et l'intensité des perturbations anthropiques

Savoir faire disciplinaire

- ✓ Discuter le concept de limites planétaires
- ✓ Discriminer les échelles de temps et d'espace en jeu dans une question environnementale

Compétences transverses

- ✓ Analyser la pertinence et les limites d'un modèle, scénario, prévision, prospective
- ✓ Critiquer une donnée en analysant la qualité de la démarche scientifique sous-jacente
- ✓ Caractériser une controverse puis l'examiner en se décentrant
- ✓ Évaluer de façon systémique les réponses proposées aux problèmes environnementaux

Bibliographie

- C. Bonneuil et J.-B. Fressoz, *L'événement Anthropocène*, Seuil, 2013
A. Boutaud et N. Gondran, *Les limites planétaires*, La Découverte, 2020
C. Renouard et coll. *Manuel de la grande transition*, Les Liens qui Libèrent, 2020

Modes d'évaluation

- ✓ Examen de connaissances sur table autour d'un problème guidé balayant les séances de cours et de TD
- ✓ Devoir maison ouvert autour de l'évaluation d'un problème environnemental
- ✓ Exposé oral suivi d'une discussion et rapport sur le projet

LU3T053 - Sols et géomicrobiologie - 6 ECTS

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, bisiallisation, monosiallisation, 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 (Ettrebat, diatomite, stromatolite), voir et identifier une roche biogénique

- Conditions thermodynamiques nécessaires pour la formation d'un minéral $\text{Fe}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (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, solvation 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 déphosphatation 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

exposés (TP)
cours et TD

LU3T066 - Paléontologie et évolution (6 ECTS)

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 abondamment 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)

Contrôle continu et rendu de projet

Un examen écrit de cours (durée 2h)