

Sorbonne Université
Département de formation Master
Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie

Grandes Questions Environnementales MU4EU002

Année Universitaire 2024-2025



Table des matières

Organisation de l'unité d'enseignement	3
Planning des cours et inscriptions	4
Formation à la recherche documentaire.....	5
Les cours	6
A. Les objectifs du développement durables des Nations Unies	6
B. Les ressources géologiques : les connaissances aux enjeux	7
C. Océan et cycle du carbone	8
D. Cycle de l'eau et enjeux environnementaux.....	10
E. Le climat et ses variations.....	11
F. Planétologie : formation, planétologie comparée et exploration des planètes.....	12
G. Nouveaux OGM: danger ou procédé novateur ?.....	13
Les projets.....	14
Projet. Océan et environnements marins.....	14
Projet. Sciences de l'océan, de l'atmosphère et du climat	15
Projet. Planétologie (Système solaire et exoplanètes).....	17
Projet. Systématique, Evolution et Paléontologie/Ecologie, Biodiversité, Evolution.....	18
Projet Revue systématique en écologie marine	20
Projet. Ecophysiologie et Ecotoxicologie	22
Projet. Géosciences (GEO) « La machine Terre »	24

ORGANISATION DE L'UNITE D'ENSEIGNEMENT

Objectif : cette UE vise à donner à l'ensemble des étudiant(e)s, inscrit(e)s en 1^{ère} année de master, une vision pluridisciplinaire et transversale des questions relatives à l'environnement terrestre et planétaire.

Organisation : les cours et TD ont lieu les mardi matin (voir planning à la page 4).

Les cours : chaque étudiant suit **2 cours de 6h** au choix. *Attention : il est interdit de s'inscrire aux cours en rapport avec son parcours.*

A - Les objectifs du développement durable des Nations Unies (cours ouvert à tous)	P. Koubbi
B – Les ressources géologiques : des connaissances aux enjeux (cours fermé aux GEO-P/G ²)	L. Labrousse
C - Océan et cycle du carbone (cours fermé aux SdM)	C. Ridame
D - Le cycle de l'eau : enjeux globaux (cours fermé aux HHGE)	A. Ducharne
E - Le climat et ses variations (cours fermé aux MOCIS, BA)	S. Turquety
F - Planétologie (cours ouvert à tous)	L. Griton
G - Nouveaux OGM: danger ou procédé novateur ? (cours fermé aux EPET)	A. Savouré

L'étudiant(e) passe deux examens correspondant aux deux cours qu'il/elle a suivis. La **note de cours** est la somme des 2 notes obtenues (sur 25). S'il/elle a choisi de suivre 3 cours, seules les 2 meilleures notes seront retenues.

Le projet : les étudiant(e)s travaillent en binôme. Ils/elles rédigent un rapport écrit et présentent leur travail oralement. Ils/elles obtiennent une **note de projet** pour l'ensemble du projet qui compte pour 50/100 de la note finale. Ce travail est personnel, il est supervisé par les enseignant(e)s responsables du projet. Le projet peut consister en un travail de synthèse (article sur des recherches actuelles ou sur les normes en vigueur en environnement) ou un projet informatique sur le climat.

J.C. Lata	ECIRE/EEF/SEP	jean-christophe.lata@sorbonne-universite.fr
C. Ridame	Sciences de la Mer	celine.ridame@locean.ipsl.fr
P. Koubbi	Écologie marine et terrestre	philippe.koubbi@upmc.fr
N. Cubas	GEO-P/G ²	nadaya.cubas@sorbonne-universite.fr
S. Turquety	MOCIS	solene.turquety@sorbonne-universite.fr
L. Griton	Planétologie	lea.griton@obspm.fr
A. Savouré	EPET	arnould.savoure@sorbonne-universite.fr

Formation à la recherche documentaire : Une séance de deux heures de cours sera proposée par les bibliothécaires (bibliothèque de Géosciences et environnement) pour vous former et vous aider dans votre recherche bibliographique pour votre projet. Des vidéos déposées sur Moodle seront à visionner avant la séance. Le visionnage des vidéos et le TD sont obligatoires (même pour le projet numérique). Un carnet de bord décrivant votre recherche documentaire est à rendre le 24/10/2024 et sera noté par les bibliothécaires (note /5 participant à la note de projet).

Notation : la **note finale** est la somme des deux notes de cours (/25*2), de la note de projet (/45) et de la note du carnet de bord (/5).

Responsable de l'enseignement : Solène Turquety

solene.turquety@sorbonne-universite.fr

Planning des cours « Grandes questions environnementales » 2024-2025

DATE	8h30-10h30	10h45-12h45	Salle
Vendredi 06/09/24		10h30-13h00 Réunion projets pour tous les groupes	Amphi A3
Mardi 10/09/24	Cours D (A. Ducharne)	Cours C (C. Ridame)	Amphi 55B
Mardi 17/09/24	Formation biblio pour tous les étudiants	Cours C (C. Ridame)	Amphi 43
Mardi 24/09/24	Cours E (S. Turquety)	Cours C (C. Ridame)	Amphi 55B
Mardi 01/10/24 (stage terrain STEPE)	Cours D (A. Ducharne)	Cours D (A. Ducharne)	Amphi 55B
Mardi 08/10/24	Cours E (S. Turquety)	Cours F (L. Griton)	Amphi 55B
Mardi 15/10/24	Cours E (S. Turquety)	Cours F (L. Griton)	Amphi 55B
Mardi 22/10/24	Cours B (L. Labrousse)	Cours F (L. Griton)	Amphi 55B
Mardi 29/10/24	Date de rendu du carnet de bord biblio		
Mardi 29/10/24	Semaine d'interruption des enseignements		
Mardi 05/11/24	Cours G (A. Savouré)	Cours B (L. Labrousse)	Amphi 55B
Mardi 12/11/24	Cours B (L. Labrousse)	Cours A (P. Koubbi)	Amphi 55B
Mardi 19/11/24	Cours G (A. Savouré)	Cours A (P. Koubbi)	Amphi 55B
Mardi 26/11/22	ATTENTION ATRIUM DES METIERS Pas de cours		
Mardi 03/12/24	Cours G (A. Savouré)	Cours A (P. Koubbi)	Amphi 55B
Mardi 10/12/24	Soutenances		
Mardi 17/12/24	EXAMENS pour tous les cours 9h30-12h30		
Du 23/12/24 au 5/01/25	Arrêt des enseignements. Vacances de Noël		
lundi 13 janvier 2025 MATIN	Remise des notes cours + projet pour les enseignants		
jeudi 16 janvier 2025 MATIN	Délibération du jury		
Mardi 4 février 2025	Examen de la Session 2, 9h30-11h30		

Inscriptions:

Attention : il est interdit de s'inscrire aux cours en rapport avec son parcours.

Le choix de cours doit être effectué sur framadata entre le vendredi 06/09 17h30 au lundi 09/09, 14h. Le lien sera communiqué par mail.

Quota indicatif (sera ajusté en fonction du nombre d'étudiants inscrits): 50 étudiants maximum inscrits par cours.

En revanche, vous pouvez suivre le « projet » en rapport avec votre parcours.

Le choix de projet doit être effectué sur framadata du vendredi 06/09 18h00 au mercredi 11/09, 12h. Le lien sera communiqué par mail.

Quota indicatif (sera ajusté en fonction du nombre d'étudiants inscrits): maximum 24 étudiants (12 binômes) par projet.

Les étudiants doivent constituer leur binôme dans la mesure du possible.

Formation à la recherche documentaire

Une séance de deux heures de cours en amphithéâtre sera proposée par les bibliothécaires pour vous former et vous aider dans votre recherche bibliographique pour votre projet. Des vidéos déposées sur Moodle seront à visionner avant la séance. Le visionnage des vidéos et la séance de cours sont obligatoires (même pour le projet numérique). Des exercices à faire sur Moodle seront notés par les bibliothécaires (note /5 participant à la note de projet). Un carnet de bord, intégrant un paragraphe de description de votre recherche documentaire et une bibliographie, sera à rendre fin octobre 2024. Ce travail pourra donner lieu à des commentaires et questions pendant la soutenance.



Philippe Koubbi,

philippe.koubbi@sorbonne-université.fr

Ce cours est proposé à tous les étudiants des masters du département SDUEE.

Les changements globaux qui affectent l'environnement et la biodiversité de la planète sont difficiles à percevoir car les échelles spatiales sont complexes et les variations temporelles sont difficiles à appréhender. Leurs conséquences sur les écosystèmes et les sociétés humaines sont importantes à considérer. Parfois, seuls les phénomènes catastrophiques sont perçus suivant une règle bien connue de la théorie de l'information : un événement brutal et fort (une épidémie, une inondation, une tempête, une canicule, etc.) laisse plus de trace dans la mémoire collective que des modifications lentes (perte de la biodiversité, pollution chronique, changements climatiques, acidification, conséquences des aménagements, etc.).

La prise de conscience est donc essentielle afin de proposer des solutions. Il faut comprendre que ces changements existent pour avoir une vision spatiale et temporelle couvrant autant l'échelle globale que celle de son propre environnement. Les réponses des espèces et des écosystèmes peuvent être expliqués par l'écologie, métascience se nourrissant de toutes les sciences biologiques, physiques, chimiques, mathématiques, humaines et de l'environnement. L'écologie a pour objet de comprendre un système, de prévoir son évolution et de le gérer. Mais pour solutionner la crise que traverse la planète, il faut intégrer les sciences humaines et les actions des états ou des citoyens à notre réflexion.

Durant cet enseignement, on montrera comment l'action de l'homme a depuis toujours modifié les écosystèmes avec des conséquences plus ou moins importantes. Parmi les conséquences, on parlera de l'augmentation de l'extinction des espèces, de la surexploitation des ressources naturelles, de la modification des paysages, de l'introduction d'espèces ou des changements planétaires. Certaines conséquences sont immédiates et visibles, d'autres plus difficiles à percevoir mais toutes ont des conséquences sur les sociétés. Pour cela, il faut également proposer des actions permettant de restaurer les écosystèmes, de les gérer, de les conserver non pas dans un cadre figé, mais dans celui d'une nécessaire cohabitation entre les activités humaines raisonnées et la nature.

Ces approches sont résumées dans le cadre du programme de développement durable des nations unies. Le site des nations unies nous donne détail les 17 objectifs de ce projet « pour sauver le monde » <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>: « Les objectifs de développement durable nous donnent la marche à suivre pour parvenir à un avenir meilleur et plus durable pour tous. Ils répondent aux défis mondiaux auxquels nous sommes confrontés, notamment ceux liés à la pauvreté, aux inégalités, au climat, à la dégradation de l'environnement, à la prospérité, à la paix et à la justice. Les objectifs sont interconnectés et, pour ne laisser personne de côté, il est important d'atteindre chacun d'entre eux, et chacune de leurs cibles, d'ici à 2030. » Nous verrons dans le cours que ces objectifs sont interconnectés et que si des actions sont spécifiques, ces objectifs ne peuvent pas être regardés indépendamment. Plusieurs exemples seront donnés : la consommation de poissons de bas prix est-elle une conséquence de l'esclavage au sein de compagnies de pêcheurs peu scrupuleuses qui font de la pêche illégale ou non déclarée ? A l'inverse, une gestion des pêche raisonnée et suivie scientifiquement peut-elle être conciliable avec la protection de l'environnement marin ou le développement d'Aires Marines Protégées ? Ces exemples montrent que l'action individuelle, ici acheter du poisson dont on ne connaît pas l'origine (objectif 12), peut engendrer des problèmes globaux en termes de pauvreté (objectif 1), de faim (objectif 2), de travail décent (objectif 8), d'inégalité (objectif 10), de conséquences sur la vie aquatique (objectif 14) et montrent des injustices (objectif 16).

D'autres exemples concerneront les milieux polaires, l'avifaune de la Nouvelle Zélande ou la muraille verte du Sahel.

Cours B. Les ressources géologiques : des connaissances aux enjeux

Loïc Labrousse, loic.labrousse@sorbonne-universite.fr

Les ressources géologiques sont la source d'une grande partie de la "richesse" créée par les sociétés humaines, et leur extraction est la première étape de l'élaboration de matériaux et produits depuis les plus rudimentaires (granulats), jusqu'aux plus sophistiqués (téléphones cellulaires, panneaux photo-voltaïques, *etc*). L'énergie nécessaire à leur transformation et à leur transport est, elle aussi, issue en grande partie de sources géologiques profondes (hydrocarbures fossiles et uranium essentiellement). La mobilité des populations, le secteur résidentiel (chauffage et climatisation) sont également très couteux en énergie, et imposent des formes de stockage et de transport d'énergie particuliers. Si la prise de conscience de l'impact de la consommation des hydrocarbures fossiles sur la pression partielle de CO₂ atmosphérique est engagée, les solutions alternatives, évoquées dans le cadre d'une transition énergétique, déplacent la pression sur d'autres ressources naturelles, dont l'exploitation a aussi un impact environnemental. Il en résulte que la notion de criticité des matériaux, le risque d'approvisionnement pondéré de l'importance économique, incorpore de plus en plus souvent un troisième terme d'impact environnemental, et que les listes des minerais "stratégiques" varient d'année en année. Si l'importance économique dépend essentiellement des développements technologiques des sociétés et des usages possibles d'un matériau, le risque d'approvisionnement, lui, dépend de la nature des gisements, de leur répartition géographique et de leur nature (profondeur, concentration, *etc.*), ... en bref de leur géologie.

La recherche et l'exploitation des ressources géologiques et le développement d'alternatives se basent donc sur un corpus de connaissance ancien (depuis le *De Re Metallica*, de Agricola, en 1556) aujourd'hui intégré dans le paradigme de la tectonique des plaques et dans la compréhension des mécanismes de transfert de matière d'un réservoir terrestre à un autre (volcanisme, hydrothermalisme ...) et la mise en évidence de leur capacité à concentrer la ressource. En effet, on peut considérer qu'un minerai devient un gisement à partir du moment où il a été concentré en une ressource donnée par des processus naturels au-delà d'un certain taux. L'exploitation de cette ressource passera ensuite par un stade de transformation, qui n'est la plupart du temps que le même processus que celui de concentration naturelle, mais poussé à l'extrême et sur des échelles de temps plus courtes.

Comprendre les enjeux de la transition environnementale en termes de ressources, passe donc par une connaissance des mécanismes de concentration naturels des substances d'intérêt, leur comparaison avec les procédés d'extraction, de purification, de raffinage mais aussi avec les processus à l'œuvre après extraction lors de l'interaction des matériaux extraits avec l'environnement.

Le cours s'articule en 3 chapitres :

1- les ressources du sous-sol : minerais et matériaux. Connaissances, procédés et enjeux. Il sera question de métaux, mais aussi de granulats, de la répartition des ressources, de leur usage et des procédés qui permettent de passer du minerai en place au produit utilisable par l'industrie, et sont dans le même temps, responsables de leur impact environnemental.

2- les ressources énergétiques du sous-sol : hydrocarbures fossiles et uranium. Connaissances, procédés et enjeux. Il sera question de pétrole, de gaz et d'uranium, de leur disponibilité, de l'impact de leur exploitation.

3- les ressources alternatives : ressources non-conventionnelles, "renouvelables", recyclage, etc. Il sera question de gaz de schistes, d'hydrogène, de biométallurgie, etc.

Ce cours développera des notions de géochimie, de minéralogie relativement simple, afin de permettre aux étudiants d'appréhender d'abord les ordres de grandeur en concentrations, en volume des quantités de ressources géologiques utilisées aujourd'hui et nécessaires aux alternatives pour demain, mais aussi les échelles de temps des processus de concentration, comparées à celles de notre consommation et de l'impact environnemental associé.

Ce cours se focalise sur le cycle du carbone en milieu marin, son impact au niveau global et ses modifications du fait des pressions anthropiques ou des variations naturelles. Nous verrons notamment comment l'augmentation des teneurs en CO₂ dans l'atmosphère a un impact direct sur la chimie et la biologie de l'océan, menaçant un équilibre fragile mais nous verrons aussi comment l'Océan a par ailleurs la capacité d'absorber une partie significative de ce carbone « en excès » d'origine anthropique en le stockant à l'échelle des temps géologiques.

Le cours se décomposera en trois parties :

1. L'océan : un puits de CO₂
2. Impact des apports atmosphériques sur le phytoplancton
3. Acidification des océans et conséquences sur les microorganismes marins

1. L'océan : un puits de CO₂

Outre des échanges thermiques entre l'océan et l'atmosphère qui régissent de façon majeure le climat à l'échelle globale et régionale, la biogéochimie de l'océan a elle aussi un rôle important sur la régulation du climat. Ce rôle s'établit au travers du cycle du carbone dans l'océan puisqu'il a un impact important sur les teneurs de CO₂ atmosphérique. Le lien entre les cycles du carbone océanique et atmosphérique se fait essentiellement au travers de deux processus :

- la pompe à carbone physique : un équilibre thermodynamique s'établit entre les pressions partielles de CO₂ de l'atmosphère et de la couche de surface. Cet équilibre est notamment contrôlé par la solubilité du CO₂ dans l'eau de mer, elle-même inversement corrélée à la température ;
- la pompe à carbone biologique : comme tous les organismes photosynthétiques, le phytoplancton transforme une partie du CO₂ dissous en surface de l'océan en carbone organique particulaire. Une fraction de ce carbone organique particulaire sera reminéralisée en CO₂ dissous par l'activité des hétérotrophes (bactéries, zooplancton), et l'autre fraction quittera par sédimentation la couche de surface – et donc l'interface avec l'atmosphère pour être exportée vers l'océan plus profond. De l'efficacité de cette pompe biologique va dépendre la capacité de stockage de carbone de l'océan mondial.

Nous verrons plus particulièrement les différents mécanismes qui contrôlent ces deux pompes à carbone et discuterons de leur variabilité temporelle : reconstruite dans le passé et prédictive pour le futur du fait des rejets anthropiques de CO₂ anthropiques et des rétroactions liées au changement climatique, notamment : la disponibilité en macro-nutriments (N, P, Si) et micro-nutriments (Fe) qui sont nécessaires à la photosynthèse ; la profondeur d'export du carbone qui contrôle le temps de stockage (de quelques siècles en zone mésopélagique à des millions d'années lorsque le carbone atteint les sédiments) ; la physique de l'océan qui permet d'une part d'apporter des nutriments en surface par mélange vertical avant stratification et d'autre part de redistribuer les nutriments en excès d'un bassin océanique à l'autre au travers de la circulation thermohaline ; l'impact de la taille et de la composition du phytoplancton sur la reminéralisation et l'export de carbone profond.

2. Impact des apports atmosphériques sur le phytoplancton

Les apports atmosphériques d'aérosols constituent, à l'échelle globale, une fraction importante des apports externes d'éléments d'origine naturelle et anthropique, à l'océan. A la suite de processus de mise en solution de ces aérosols dans la colonne d'air (pluie) et dans la colonne d'eau, une partie des éléments chimiques associés aux aérosols se retrouve sous forme dissoute et donc potentiellement biodisponible pour les

microorganismes marins. Depuis ces 20 dernières années, il a en effet été reconnu que l'atmosphère représente une voie d'approvisionnement significative de composés indispensables à l'activité phytoplanctonique comme les éléments nutritifs majeurs (azote et phosphore) et les métaux trace comme le fer, dans certaines régions océaniques. Une question essentielle demeure concernant le devenir de ces éléments d'origine atmosphérique d'intérêt biologique dans la colonne d'eau et en particulier les relations entre ces apports atmosphériques et l'activité phytoplanctonique marine. En effet, ces apports atmosphériques pourraient stimuler la production primaire, tout particulièrement dans les milieux océaniques oligotrophes.

Le rôle fondamental de l'atmosphère sur la dynamique des écosystèmes marins a déjà été reconnu. Un exemple frappant est le cas des eaux HNLC (High Nutrients and Low Chlorophyll) présentant des concentrations élevées d'éléments nutritifs (N, P), mais paradoxalement une biomasse algale peu développée par rapport aux conditions environnantes : Martin et Fitzwater (2008) ont suggéré que le fer est l'élément limitant de la production phytoplanctonique dans ces zones soumises aux plus faibles apports éoliens à l'échelle globale. Depuis, de nombreuses études ont permis de valider cette hypothèse : on considère aujourd'hui, que c'est le flux atmosphérique de fer qui contrôle et limite la production primaire dans les zones HNLC.

Un autre cas d'étude est celui de la Méditerranée, mer semi-fermée fortement soumise aux apports atmosphériques de par la proximité du continent et faisant partie des régions océaniques les moins productives du monde. Cette faible activité biologique est la conséquence d'un appauvrissement de la couche euphotique en éléments nutritifs. Les apports atmosphériques via leurs apports en azote et phosphore permettent de lever ponctuellement les limitations de l'activité biologique par la disponibilité en azote et phosphore et ainsi permettent une augmentation de l'activité phytoplanctonique.

Ces exemples soulignent bien le fait que l'atmosphère peut jouer un rôle fondamental dans le cycle de la matière vivante et les cycles biogéochimiques de certaines régions océaniques.

3. Acidification de l'océan et conséquences sur les microorganismes marins

Depuis le début de l'ère industrielle, l'utilisation intensive de combustibles fossiles provoque une augmentation régulière et de plus en plus rapide de la concentration de gaz carbonique (CO_2) dans l'atmosphère passant de 280 ppm en 1860 à environ 420 ppm de nos jours. Une partie des rejets de CO_2 ne reste pas dans l'atmosphère mais est piégée par les océans et les surfaces continentales. A l'heure actuelle, l'océan mondial absorberait chaque année environ 25% des rejets anthropiques de CO_2 . Ainsi, les océans de par le puits de CO_2 qu'ils représentent, ont une grande influence sur le climat. Cette absorption massive de CO_2 dans l'océan entraîne un bouleversement de la chimie de l'eau de mer, notamment du système des carbonates. La dissolution du CO_2 atmosphérique dans l'eau de mer provoque en effet une acidification globale des océans. Le pH moyen des eaux de surface océaniques qui est actuellement proche de 8,1 a déjà diminué de 0,1 unité depuis le début de l'ère industrielle. Au rythme des émissions actuelles de CO_2 , on estime que le pH diminuera de 0.3 unité d'ici 2100. Mais quel sera l'impact de ce phénomène sur les organismes et les écosystèmes marins ? Cette diminution de pH est associée à une diminution des ions carbonates CO_3^{2-} nécessaires à la formation du squelette calcaire (biocalcification) d'un grand nombre d'organismes marins calcifiants comme par exemple les coraux, les mollusques, les ptéropodes (zooplancton calcifiant), les coccolithophores (phytoplancton calcifiant). De tels organismes pourraient être potentiellement vulnérables à une élévation de CO_2 atmosphérique dans les années à venir au travers notamment de la diminution de leur calcification. L'augmentation de la concentration en CO_2 dans l'eau de mer pourrait aussi modifier la fixation de CO_2 par photosynthèse. Par exemple, les données obtenues sur la diatomée *Thalassiosira pseudonana*, sur la cyanobactérie *Crocospaera* sp., et sur les coccolithophores montrent que l'activité photosynthétique augmente fortement lorsque la pCO_2 augmente. En revanche, le doublement du taux de CO_2 par rapport aux valeurs actuelles n'augmenterait que très faiblement les taux de photosynthèse de nombreuses espèces phytoplanctoniques étudiées jusqu'à aujourd'hui. Les conséquences de l'acidification de l'océan sur les écosystèmes marins restent à ce jour mal connues. Nous ignorons si les organismes et les écosystèmes océaniques touchés s'adapteront et continueront à évoluer, et le cas échéant, comment. Les répercussions écologiques et économiques de l'acidification de l'océan, qui dépendront de la réaction de l'écosystème marin, pourraient être considérables.

Cours D. Cycle de l'eau et enjeux environnementaux

Agnès Ducharne, agnes.ducharne@sorbonne-universite.fr

La vie sur les continents est fortement dépendante de l'eau, qui intervient à la fois comme régulateur du climat et comme élément vital pour les écosystèmes et les populations humaines. Cet enseignement cherchera à présenter les processus de base impliqués dans le cycle de l'eau, ses interactions avec le système climatique, et ses conséquences hydrologiques, écologiques, et anthropiques, au cœur de la gestion environnementale.

La première partie se focalisera sur la composante « naturelle » du cycle de l'eau et sa place dans le système climatique. Nous insisterons sur les manifestations continentales du cycle de l'eau (eau des sols et des plantes, eaux souterraines, débits), qui définissent les ressources en eau douce mais aussi des facteurs de risques importants (inondations, sécheresses, santé). Nous analyserons notamment comment le climat pilote la disponibilité en eau, via la distribution géographique des précipitations, du rayonnement, et de l'évaporation. Nous discuterons aussi la notion de ressources renouvelables, en fonction des volumes et des temps de résidence de l'eau sous ses différentes formes.

La deuxième partie abordera le cycle de l'eau dans l'Anthropocène, qui désigne la période où l'Homme devient une « force géologique », depuis la révolution industrielle. Nous commencerons par présenter les différents usages de l'eau par l'Homme (eau potable, alimentation, énergie et industrie, navigation, tourisme), les altérations induites (quantitatives et qualitatives, *i.e.* pollutions), et les principaux axes de gestion de l'eau, y compris dans un but sanitaire. Nous aborderons enfin les modifications du cycle de l'eau qui accompagnent le changement climatique. Celui-ci tend à augmenter les contrastes hydrologiques entre les périodes/zones sèches et les périodes/zones humides, et renforce souvent les problèmes de gestion de l'eau, dont les modalités et les difficultés seront abordées en conclusion.

Cours E. Le Climat et ses Variations

Solène Turquety, solene.turquety@sorbonne-universite.fr

Ce cours vise à expliquer ce qu'est le climat de la Terre et comment il varie. Nous commencerons par définir ce qui caractérise le climat de la Terre : les échelles de temps et d'espace, les variables (température, précipitation, etc.). Puis, nous décrirons quelques modes de variabilité naturelle du climat et nous expliquerons les mécanismes mis en jeu : les cycles de Milankovitch (théorie astronomique du climat), l'oscillation Nord-Atlantique, les phénomènes El-Nino / La Nina, les grandes éruptions volcaniques. Nous expliquerons ensuite ce qu'est l'effet de serre atmosphérique et comment l'effet de serre naturel module la température de la Terre.

Nous décrirons comment les activités humaines perturbent le climat en contribuant à augmenter l'effet de serre naturel. Nous préciserons ce qui est connu et où sont les incertitudes. Nous écrirons un modèle simple du bilan radiatif de la Terre, et introduirons la notion de « sensibilité climatique » ou comment la température de la Terre se modifie en réponse à une perturbation extérieure (c'est-à-dire une modification de l'équilibre radiatif). Enfin, des éléments clés du sixième rapport du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat (*GIEC*) seront présentés et discutés.

Plan de cours :

1. Le ou les climats : climat/météorologie
2. Les variations naturelles du climat
 - La théorie astronomique du climat
 - Les éruptions volcaniques
 - L'Oscillation Nord Atlantique
 - El Nino et La Nina
3. L'effet de serre naturel : mécanisme physique et découverte
4. Les variations climatiques d'origine anthropique : évolution des gaz à effet de serre et réchauffement global
5. Modèle simple du bilan radiatif de la Terre et sensibilité climatique
6. Le GIEC et quelques éléments clés du dernier rapport (2023)

Cours F. Planétologie : formation, planétologie comparée, exploration

Léa Griton, lea.griton@obspm.fr

L'idée de ce cours est de proposer une ouverture aux problématiques de planétologie et leur lien avec les disciplines qui font les sciences de l'environnement. Ce cours est ouvert aux étudiants de tout profil.

L'objectif du cours et plus généralement de la planétologie, est de mettre en perspective les connaissances accumulées sur un seul système planétaire (notre Terre) avec de nouvelles connaissances obtenues sur les environnements planétaires, pour tendre à une compréhension la plus universelle possible du fonctionnement d'une planète : les propriétés de son atmosphère, les variations de son climat ; l'histoire d'une surface, qu'elle soit faite de roche ou de glace ; de la question de la vie et de l'habitabilité. La planétologie élargit les questions d'environnement posées par l'étude de la Terre, surtout dans le contexte récent de la découverte de milliers d'exoplanètes et de l'essor de l'exploration du Système solaire.

Plan du cours :

Partie I : à la découverte du Système solaire

A - découverte des planètes, B - mouvement des planètes, C - formation des planètes

Partie II : comprendre et comparer les planètes

A - propriétés physiques des planètes, B - planétologie comparée C - exploration spatiale, futures missions et enjeux

Partie III :

A – Habitabilité : définition(s) ? B – Recherche de vie extra-terrestre C – Exoplanètes

Le cours n°1 consiste en une (re-)découverte du Système solaire, la définition du mot « planète », un rappel des lois de Kepler et des différents référentiels qui permettent l'étude des objets célestes. On reprendra le scénario de l'histoire de sa formation et l'inventaire des objets qui le composent. Nous tenterons de comprendre pourquoi certains objets intéressent plus particulièrement météorologues, géologues, exobiologistes, etc.

Le cours n°2 s'articule autour de la notion de « planétologie comparée ». Nous prendrons quelques exemples concrets de l'étude d'un même phénomène sur les différentes planètes. Pourquoi explore-t-on les planètes du Système solaire ? Quelles sont les ingrédients qui font une planète ? Quels phénomènes (géo-)physiques sont observés sur toutes les planètes ? Avec quelles différences ? En quoi cela sert-il l'étude de la Terre ? Comment obtient-on des données sur les planètes ?

Le cours n°3 pousse plus loin l'ouverture, en présentant les défis posés par de grandes questions actuelles de recherche en planétologie : quelles sont les conditions favorables à l'émergence et au maintien de la vie ? Quels défis posent la découverte et l'observation des exoplanètes ? Puisque que nous aurons pris conscience de la situation exceptionnelle de notre planète au sein du Système solaire, nous aborderons des questions très actuelles d'éthique et de responsabilité de l'exploration in situ durable des planètes voisines.

Ce cours est une introduction aux sciences planétaires dans un contexte extra-terrestre. Il n'a aucune prétention à l'exhaustivité, mais entend donner quelques idées maîtresses pour penser l'environnement et la planétologie avec quelques exemples édifiants. Pendant le cours en amphi, des mini-TP seront proposés et l'enseignante recommande fortement de venir avec un ordinateur portable/tablette/smartphone avec une connexion internet. Il n'y a pas de poly de cours, la prise de notes manuscrite est fortement encouragée (beaucoup de schémas). L'évaluation consiste en un contrôle des connaissances par écrit, avec quelques calculs d'ordres de grandeurs, des schémas clés et une partie « dissertation » reprenant les notions vues en cours.

Cours G. Nouveaux OGM : danger ou procédé novateur ?

Arnould Savouré, arnould.savoure@sorbonne-universite.fr

L'utilisation de plantes génétiquement modifiées a suscité de nombreux et vifs débats qui ont profondément divisés notre société. Actuellement, ces plantes sont utilisées dans plus de 29 pays sur plus de 190 millions d'hectares. L'Europe fait exception à cette tendance, car elle a mis en place un moratoire interdisant leur utilisation agronomique.

L'objectif de ce cours est de donner des bases scientifiques solides pour mieux comprendre les débats et les enjeux liés à l'utilisation de ces plantes OGM, en mettant l'accent sur les nouvelles générations de plantes modifiées. Nous visons à former des participants éclairés, capables de prendre part activement à ces discussions.

A cette fin, nous examinerons notamment l'utilisation des pesticides et herbicides de synthèse en agriculture, en mettant en contexte le plan Écophyto II+ qui vise à réduire leur utilisation de 50% d'ici 2025. Nous aborderons leur impact potentiel sur le déclin des pollinisateurs, ainsi que le mode d'action de certains insecticides et toxines sur les plantes, et la capacité d'adaptation des insectes face à ces substances. Nous réfléchirons également à l'utilisation de plantes OGM capables de synthétiser ces molécules, ce qui pourrait éventuellement permettre de limiter, voire d'éliminer totalement, l'utilisation de pesticides. À titre d'exemple, nous étudierons l'infection des insectes par la bactérie *Bacillus thuringiensis* (qui produit la toxine Bt). Une attention particulière sera accordée à la synthèse de toxines par ces plantes, dans le but de réduire l'utilisation et la dispersion de pesticides dans l'environnement, ainsi que les pollutions associées à ces substances toxiques.

Après un rappel des principales méthodes d'obtention et d'utilisation des OGM, nous présenterons les différents types d'OGM ainsi que leur potentiel intérêt, en mettant l'accent sur les nouvelles techniques de sélection génétique connues sous l'acronyme NBT (New breeding techniques). Contrairement aux "anciens OGM", ces nouveaux OGM ne contiennent pas de gènes étrangers. Nous examinerons les dangers potentiels que ces nouveaux OGM pourraient poser pour les écosystèmes, ainsi que les risques socio-économiques et sanitaires liés à leur utilisation. Enfin, le cadre législatif concernant ces nouveaux OGM sera discuté.

Projet Océan et Environnements marins

Responsable : Céline Ridame (celine.ridame@locean.ipsl.fr)

L'objectif du projet est de réaliser un travail de synthèse, autour d'un thème scientifique lié à l'« Océan et les environnements marins », choisi par les étudiants dans la liste ci-dessous. Les étudiants travaillent en binôme et doivent effectuer une recherche bibliographique dans des revues internationales, en anglais (4 à 6 articles par binôme). Un premier article vous sera donné par votre tuteur. Une synthèse écrite sous forme d'un résumé de 2 pages (en français ou en anglais) incluant une figure significative réalisée par vos soins, et la liste des références bibliographiques sera à rendre en novembre. Puis, les étudiants présenteront à l'oral devant un jury scientifique, la synthèse réalisée sur le thème choisi (15 mn par binôme). Cette présentation orale s'appuiera sur une présentation PowerPoint et l'exposé sera suivi de questions. Vous devrez fournir la liste de toutes les références bibliographiques utilisées, et écrites selon les normes imposées. Les oraux auront lieu début décembre.

Réponses de l'océan aux changements climatiques

1. Impact du réchauffement climatique sur le phytoplancton
2. Impact des changements climatiques sur la biodiversité marine
3. Réponses des microorganismes calcifiants à l'acidification des océans
4. Quel est l'impact de l'acidification des océans sur le phytoplancton non calcifiant ?
5. Vers une désoxygénation de l'océan ?
6. Evolution temporelle des zones de minimum d'oxygène
7. L'océan est-il une source de gaz à effet de serre (CH₄, N₂O)?
8. Impact du réchauffement climatique sur les coraux
9. Conséquences de la diminution de la couverture de glace de mer dans les régions polaires
10. Quel océan d'ici la fin du siècle (sujet très vaste pouvant être abordé selon différentes thématiques) ?

Pollution des océans

11. Pollution chimique des récifs coralliens et conséquences
12. Invasion des étoiles de mer épineuses : conséquences sur les récifs coralliens
13. Eutrophisation des zones côtières
14. Prolifération de micro-algues toxiques
15. Les micro-plastiques : conséquences sur les organismes marins

L'océan : un puits de CO₂

16. Fertilisation artificielle des océans : une solution de la géo-ingénierie au réchauffement climatique ?
17. Impact des apports atmosphériques de poussières sahariennes sur l'activité phytoplanctonique
18. Les volcans peuvent-ils fertiliser l'océan ?
19. Pourquoi l'océan Austral est-il un puits de CO₂ ?

Projet Sciences de l'Océan, de l'Atmosphère et du Climat

Responsable : Solène Turquety (solene.turquety@sorbonne-universite.fr)

Deux types de projets sont proposés : la modélisation numérique du bilan énergétique global et du climat ou l'étude bibliographique de synthèse autour d'un thème choisi. L'un et l'autre sont réalisés en binôme. Le projet modélisation fait l'objet d'un rapport (environ 15 pages et programmes en annexe) à rendre mi-novembre. Pour le projet bibliographique, les modalités d'évaluation sont les mêmes que pour les autres projets GQE : rapport synthétique (environ 800 mots) avec une figure de synthèse à réaliser et la liste de références, ainsi qu'une présentation orale (15mn par binôme).

Travaux Pratiques de modélisation numérique idéalisée du climat

Prérequis : Bases en physique et notions de programmation (matlab, python, ...)

Ces projets ont pour objet la modélisation du bilan énergétique global de la Terre à l'aide de formulations mathématiques simples et d'outils informatiques.

Dans un premier temps, tous les étudiant(e)s définissent un modèle climatique simple simulant le bilan énergétique de la Terre à l'équilibre. La température moyenne actuelle de la Terre et sa sensibilité à une variation du rayonnement solaire sont déduites de ce modèle.

Dans un deuxième temps, les étudiant(e)s sont invité(e)s à choisir entre 2 TPs:

1. Le modèle de Milankovitch simplifié : Ce projet permet d'étudier les variations de la température de la Terre en fonction de son orbite. Nous retrouvons ainsi les grands cycles des climats passés.
2. Calotte polaire et transport de chaleur : Ce projet permet d'étudier l'influence de l'extension de la calotte polaire et du transport de chaleur horizontal (équateur-pôles), sur la température de la Terre.

Les formulations simplifiées de l'équilibre énergétique de la Terre utilisées dans ces travaux pratiques ont été proposées par M. L. Budyko en 2069. Elles donnent des ordres de grandeur des variables climatiques (éclairage solaire, albédo planétaire, transport de chaleur, etc.) jouant un rôle clé dans l'équilibre énergétique de la Terre. Elles permettent ainsi d'estimer la sensibilité de la température de la Terre à des modifications naturelles de certaines variables climatiques telles que le rayonnement solaire ou l'extension de la calotte polaire par exemple. Les modèles utilisés actuellement sont beaucoup plus complexes et intègrent les interactions entre océan, atmosphère et surface continentale. Cependant, la notion de « sensibilité climatique » introduite à l'époque est toujours d'actualité pour comprendre le climat actuel et prévoir le climat futur.

Les séances de projets se déroulent :

1. Dans une salle informatique à l'Atrium ([à vérifier sur moodle](#))
2. Les mardi 8h30-10h30 ou 10h45-12h45 : 5 séances, selon la disponibilité des étudiant(e)s.

NB : ces projets sont issus des travaux de K. Laval et M-A. Filiberti

Projets bibliographiques :

Les projets proposés sont à la fois axés sur les sciences de l'atmosphères et sur leurs interactions avec la surface (dont plusieurs projets bidisciplinaires).

L'observation spatiale de la Terre s'est fortement développée au cours des 2 dernières décennies. Plusieurs projets SOAC ont été définis dans le but de découvrir à la fois une thématique de recherche forte autour de l'océan, l'atmosphère et le climat, mais aussi les techniques utilisées pour leur observation depuis l'espace avec l'exemple d'une mission satellitaire.

Trois rendez-vous obligatoires par binôme sont fixés avec l'enseignant :

1. Point des notions clés, affinement du sujet, pistes pour aller plus loin

2. Discussion menée par les étudiants sur les résultats des recherches bibliographiques, questions éventuelles
3. Discussion et préparation de l'oral

Proposition de projets :

Lien direct avec les missions spatiales :

1. Observer les nuages et les précipitations avec le laser CALIPSO et le radar CloudSat (missions CNES/NASA)
2. Comprendre et suivre les cyclones tropicaux (mission ESA Meteosat)
3. Quantifier le bilan radiatif de la Terre (mission CNES/ISRO Mégha-Tropique/ScaRaB)
4. Ozone stratosphérique et trou d'ozone : où en est-on ? (mission CNES/EUMETSAT IASI)
5. Observation des gaz à effet de serre et lien avec les sources d'émission
6. Quantifier la fonte des glaces (mission NASA/CNES GRACE)
7. Evolution de la hauteur de océans (missions NASA/CNES Topex-Poséidon et JASON)
8. Observation de la végétation depuis l'espace : quels paramètres peut-on quantifier ?
9. Suivi des panaches volcaniques (mission CNES/EUMETSAT IASI)

Autres projets disciplinaires :

10. Extrêmes météorologiques et changement climatique
11. Particules fines dans l'atmosphère : quel impact sur le climat ?
12. Qualité de l'air : enjeux et liens avec le changement climatique

Projets bidisciplinaires :

13. Eruptions volcaniques, quel impact sur le climat ?
14. Pollution atmosphérique, changement climatique et productivité agricole
15. Feux de forêt : impact et évolution avec le changement climatique

Contact : Solène Turquety (solene.turquety@sorbonne-universite.fr)

Projet Planétologie

Responsable : Léa Griton (lea.griton@obspm.fr)

Les projets de Planétologie se proposent de découvrir l'une des nombreuses problématiques de recherche relatives à l'étude des planètes du système solaire ou des exoplanètes.

En prenant comme point de départ un article récent paru dans *Science* ou *Nature*, ou revue de rang A à comité de lecture, faisant état d'une découverte surprenante, d'une mesure quantitative importante et d'une réflexion théorique nouvelle, les étudiants doivent présenter le **contexte scientifique** entourant la parution de l'article, comprendre les **méthodes de mesure** associées et proposer une **analyse critique** des résultats de l'article.

Tous les projets PL se basent sur des disciplines également présentes en Géosciences :

1. Météorologie (ex : nuages de méthane sur Titan)
2. Géologie (ex : preuves de la présence passée d'eau liquide sur Mars)
3. Mécanique (ex : dynamique des disques protoplanétaires)
4. Spectroscopie (ex : composition de l'atmosphère des exoplanètes)
5. Biologie (ex : apparition de la vie sur la paléo-Terre)

La connaissance des planètes n'est donc qu'une facette exotique de la connaissance du système Terre.

Différents articles sont proposés au choix en début de module, et les binômes présentent leur recherche sous deux formes : un **résumé écrit** au format « blog d'actualité scientifique » et une **présentation orale détaillée** décrivant rigoureusement les méthodes, résultats et implications de l'article. Il s'agit d'un module de découverte ne demandant pas de prérequis particulier en planétologie, mais une grande curiosité scientifique et un intérêt certain pour l'astronomie ou l'exploration spatiale seront un plus. Les articles de recherche étant rédigés en anglais, la maîtrise de l'anglais scientifique « lu » est nécessaire pour réaliser ce projet.

Organisation :

En début de semestre, le planning des séances « projet » est établi et les étudiants s'y inscrivent en fonction de la compatibilité des séances de projets avec les cours « GQE » qu'ils ou elles suivent.

Planning prévisionnel : (on rappelle que les demies journées de chaque mardi du semestre sont consacrées au projet et cours GQE, même lorsque l'enseignante ne propose pas de séance de projet...)

Mardi 17 septembre : AVOIR LU L'ARTICLE DE BASE ! Décryptage de l'abstract, thèmes et pistes de recherche, outils de recherche en astrophysique, mots clés

Mardi 24 septembre : Propositions de différentes sources de compléments de recherche : autres articles de recherche, blogs/émissions scientifiques, réseaux sociaux. Point sur les carnets de bord biblio.

Mardi 1^{er} octobre : rendez-vous d'avancement avec celles et ceux qui ne sont pas en stage de terrain.

Mardi 5 novembre : Préparation pour les présentations orales de projet et la figure finale. Avez-vous défini votre problématique ?

Mardi 19 novembre/3 décembre : première version des slides de l'examen, rendez-vous d'avancement.

Projets Systématique, Evolution et Paléontologie

Ecologie, Biodiversité, Evolution

Responsable : Jean-Christophe Lata (jean-christophe.lata@sorbonne-universite.fr)

Les projets SEP/ECIRE/EEF sont des projets d'études bibliographiques, sur des sujets d'écologie environnementale « brûlants » et polémiques, avec une volonté d'intégrer une dimension sociétale (globale, économique, politique) et d'exercer un certain esprit critique.

Ci-dessous, des exemples de sujets sont proposés, sachant que les étudiant(e)s ont le droit de proposer d'autres sujets si la thématique leur est chère. Les articles cités pour les thématiques sont là à titre d'exemple et de guide, étant considérés comme des articles « références ».

6 sujets bi-disciplinaires :

- A. Les Aires Marines Protégées : un succès contrasté ? (Badalamenti et al. 2000 Cultural and socio-economic impacts of Mediterranean marine protected areas. *Environmental Conservation* 27, 110-125)
 - B. Impact des changements climatiques sur les microorganismes du sol. (Singh et al. 2010 Microorganisms and climate change: terrestrial feedbacks and mitigation options. *Nature Reviews Microbiology* 8, 779–790)
- C. Les OGM face à la crise alimentaire du 21^{ème} siècle ? (Celis et al. 2004 Environmental biosafety and transgenic potato in a centre of diversity for this crop. *Nature* 432, 222-225)
- D. L'agriculture biologique peut-elle remplacer l'agriculture intensive ? (Reganold et al. 2001 Sustainability of three apple production systems. *Nature* 410, 926-930)
- E. Comment les changements globaux (principalement le réchauffement) vont influencer sur les aires de répartition des espèces ? (Wilson et al. 2004 Spatial patterns in species distributions reveal biodiversity change. *Nature* 432, 393-396)
- F. Importance des interactions plantes pollinisateurs. (Kremen et al. 2002 Crop pollinisation from native bees at risk from agricultural intensification. *PNAS* 99(26), 16812-16816)

11 sujets mono-disciplinaires :

- 1. La crise de biodiversité actuelle est-elle surévaluée ? (Have we overstated the tropical biodiversity crisis? Laurance, 2006. *TREE* 22(2), 65-70)
- 2. L'ingénierie écologique face aux enjeux du 21^{ème} siècle. (Mitsch & Jorgensen 2003 Ecological engineering: A field whose time has come. *Ecological Engineering* 20, 363-377)
- 3. Les services écosystémiques et le consentement à payer. (Costanza et al. 1997 The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260)
- 4. Le stockage du C dans les sols, réelle solution ou utopie ? (Mack et al. 2004 Ecosystem carbon storage in arctic tundra reduced by long-term nutrient fertilization. *Nature* 431, 440-443)
- 5. Les espèces invasives et les conséquences sur le fonctionnement d'un écosystème ? (Levine et al. 2003 Mechanisms underlying the impacts of exotic plant invasions. *Proc R Soc Lond B* 270, 775-781)
- 5-1 Impact des corridors de dispersion dans la dissémination des espèces invasives. (Christen & Matlack 2006 The Role of Roadsides in Plant Invasions: a Demographic Approach. *Conservation Biology* Vol.20, 385–391) et/ou Kalwij et al. 2008 Road verges as invasion corridors? A spatial hierarchical test in an arid ecosystem. *Landscape Ecology* 24, 439–451 et/ou Hansen et al. 2005 The influence of disturbance and habitat on the presence of non-native plant species along transport corridors. *Biological Conservation* 125, 249–259)

- 5-2 Espèces invasives: L'éradication, une solution ? (Eradication revisited: dealing with exotic species. Myers et al., 2000. TREE vol. 15(8), 316-320)
- 5-3 Impact des espèces invasives sur les espèces locales : compétition. (Review of negative effects of introduced rodents on small mammals on islands. Harris 2009. Biological Invasions 11, 1611–1630)
- 6-1. La structure du réseau plantes-pollinisateurs interactions généraliste VS spécialistes. (Long-term observation of a pollination network: fluctuation in species and interactions, relative invariance of network structure and implications for estimates of specialization. Petanidou et al., 2008. Ecology Letters 11, 564-575) et/ou Architecture of Mutualistic and Trophic Networks. Thébault & Fontaine, 2010. Science 329, 853-855)
- 6-2. Importance des relations plantes-pollinisateurs: un service écosystémique. (Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. Gallai et al., 2009. Ecological economics 68, 810-821) et/ou Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Klein et al., 2007. Proc. R. Soc. B 274, 303–313)
- 6-3. Impact de la structure du paysage et des usages sur la structure des communautés d'insectes pollinisateurs. (Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. Kremen et al., 2007. Ecology letters 10, 299-314) et/ou Mass flowering crops enhance pollinator densities at a landscape scale. Westphal et al., 2003. Ecology letter 6, 961-965)
1. 7. Mesurer la biodiversité. (Getting the measure of biodiversity. Purvis & Hector, 2000. Nature 405, 212-220)
8. Impact de la disparition des supers prédateurs. (Ripple et al. 2014. Status and ecological effects of the world's largest carnivores. Science, vol 343)
9. La lutte contre la désertification. (Le Houérou 1996. Climate change, drought and desertification. Journal of Arid Environments 34, 133-185)
10. Impact des plastiques dans l'environnement : pistes, solutions et culs-de-sacs environnementaux. (Derraik 2002 The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. Marine Pollution Bulletin 44, 842-852)
11. Quel est l'impact du changement climatique sur les blooms de méduses ? (Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review Purcell et al. 2007. Marine Ecology 350, 153-174)

Projet Revue systématique en écologie marine

Philippe Koubbi (philippe.koubbi@sorbonne-universite.fr), Dominique Lamy (dominique.lamy@sorbonne-universite.fr)

Une **revue systématique** vise à rassembler les connaissances en réponse à une question donnée. Elle implique ensuite une analyse bibliométrique (donc quantitative) et une synthèse des connaissances afin de donner un aperçu de l'état des savoirs. Son objectif est de fournir une évaluation de l'état des connaissances et de contribuer à la prise de décision. En substance, il s'agit d'une méta-analyse qui commence par identifier les lacunes de connaissances ainsi que la disparité des résultats et des méthodes. Dans le domaine des sciences environnementales, la variabilité des résultats peut être attribuée à des biais liés à la collecte des données et à des problèmes d'analyse ou d'interprétation des résultats. Par exemple, comment peut-on synthétiser les informations concernant une espèce en danger lorsque ces informations proviennent de différentes campagnes scientifiques qui n'avaient pas les mêmes objectifs et qui ont été menées à des moments et des lieux différents ?

Une version simplifiée de cette méthodologie, nommée « cartographie systématique », est proposée pour votre projet. Vous serez guidé dans l'identification de la problématique en utilisant le protocole des revues systématiques. Tout d'abord, il sera nécessaire de définir clairement votre projet. Ensuite, la question sera formulée en suivant le protocole PICO ou PECO :

- **Population** : Le sujet ou l'objet de votre synthèse, que ce soit une espèce, un site ou un écosystème.
- **l'intervention/exposition** fait référence aux facteurs environnementaux, aux activités humaines ou aux actions entreprises qui ont un impact sur la population étudiée. Cela peut être lié à des polluants, des mesures de gestion, des politiques nationales ou internationales, des actions de sensibilisation ou d'autres mesures visant à modifier l'état ou à promouvoir la durabilité environnementale.
- **Comparaison** : C'est ce à quoi l'intervention ou l'exposition sera comparée. Il peut s'agir d'une autre intervention similaire, d'une absence d'action ou même de comparaisons dans le temps ou l'espace. Pour vos projets, on étudiera l'évolution des connaissances dans le temps.
- **Conséquences (« outcomes »)** : Les effets mesurables sur la population, c'est-à-dire ce qui peut être évalué (nombre d'articles pour ce projet) pour juger des conséquences de l'intervention ou de l'exposition.

La seconde étape sera de réaliser une analyse bibliométrique. Cette analyse vous permettra d'obtenir une vue d'ensemble de la littérature existante sur le sujet étudié. Vous serez donc amené à effectuer une recherche méthodique dans les bases de données et les sources appropriées grâce aux conseils que vous aurez eu par la bibliothèque. Comme pour toute recherche bibliographique, vous identifierez les mots-clés et les critères de recherche.

La dernière étape est la restitution de votre travail. Un rapport sera écrit sur le sujet avec 2 pages de texte, 2 pages de figures et autant de pages qui seront nécessaires au référencement bibliographique. Le texte comprendra une synthèse des connaissances et sera accompagné d'une interprétation de l'analyse bibliométrique. Vous devrez également communiquer votre base de données selon un format sous excel qui vous sera donné. Une soutenance orale de votre projet permettra d'échanger sur vos résultats.

Déroulé : Deux TD obligatoires seront proposé pour expliquer la méthodologie. Au minimum un rendez-vous obligatoire sera proposé pour le bilan et la préparation à l'oral. Les TD seront suivant vos disponibilités.

- **Choix du sujet la semaine du 10 septembre en remplissant un tableau (pas de choix par mail)**
- **Rdv pour préciser le sujet la semaine du 16 septembre**
- **Pour le premier TD :**
 - 24 sept de 9 à 10h30 ou de 10h45 à 12h15
 - 1^{er} Octobre de 9 à 10h30 ou de 10h45 à 12h15
- **Suivi par mail** en Octobre avec échéances liées aux étapes du projet
- **Pour le deuxième TD**
 - 12 novembre de 9 à 10h30
 - 19 novembre de 9 à 10h30

Les sujets proposés sont les suivants :

1. Océan Mondial : la sixième extinction en milieu marin (il faudra préciser l'espèce ou le groupe d'espèce ou l'écosystème choisi).
 2. Océan Mondial : Comment la biogéographie marine pélagique de l'océan Mondial va se modifier en fonction des changements climatiques ?
 3. Océan Mondial : l'océan devient-il « gélatineux » ?
 4. Océan Mondial : Effets de la pêche intensive des grands pélagiques sur l'équilibre des réseaux trophiques.
 5. Océan Mondial : Comment expliquer les dynamiques des populations de poissons migrateurs face aux changements climatiques ?
 6. Océan Mondial : Impact de la pollution plastique sur l'écosystème marin.
 7. Océan Mondial : Adaptations morphologiques, physiologiques et comportementales des organismes marins vivant dans des environnements extrêmes, tels que les sources hydrothermales. Quelles menaces sur ces espèces ?
 8. Océan Austral : Menaces sur les albatros du subantarctique indien.
 9. Océan Austral : Les manchots royaux du subantarctique indien.
 10. Océan Austral : Les éléphants de mer du subantarctique indien ?
 11. Océan Austral : Les otaries du subantarctique indien ?
 12. Océan Austral : Le zooplancton du subantarctique indien ?
 13. Océan Austral : Importance des poissons mésopélagiques comme proies des oiseaux et mammifères marins dans les réseaux trophiques du subantarctique indien.
 14. Océan Austral : Comment suivre les oiseaux de mer dans l'océan Austral ?
 15. Océan Austral : Le suivi des colonies des manchots adéliques dans l'Est Antarctique.
 16. Océan Austral : Les manchots empereurs dans l'Est Antarctique.
 17. Océan Austral : Les phoques de l'Est Antarctique.
 18. Océan Arctique : Conséquences de la diminution de la banquise sur les mammifères marins.
 19. Océan Arctique : Les ours polaires.
- Océan Arctique : Conséquences de la pollution aux métaux ou pesticides dans le réseau trophique.

Projet Ecophysiologie et Ecotoxicologie

Responsable : Arnould Savouré (arnould.savoure@sorbonne-universite.fr)

Les projets « Ecophysiologie-Ecotoxicologie » (EPET) ont pour objectif de réaliser une analyse synthétique sur une problématique environnementale actuelle liée aux organismes vivants et à leurs interactions avec leur environnement. Ces projets, menés en binôme, impliquent l'étude d'un article scientifique de référence, qui servira de point de départ à une recherche bibliographique exhaustive et personnelle. Cette démarche vise non seulement à approfondir ses connaissances sur le sujet, mais également à développer une capacité à exercer un esprit critique rigoureux.

Les modalités d'évaluation de ces projets portent sur la réalisation d'un rapport synthétique (2 pages soit environ 800 mots) comprenant une figure de synthèse (extraite d'un article ou bien réalisée par le binôme) et une liste des références correspondantes en annexe. Ce travail fera l'objet d'une présentation orale de 15 min par binôme suivie d'une discussion avec le jury.

En fonction de la nature des projets, ceux-ci seront tutorés soit par :

Arnould Savouré (Responsable projets) Laboratoire iEES, APCE, bât. 44-34, 5E, Campus UPMC Paris.
Email : arnould.savoure@sorbonne-universite.fr)

Ou par Fabien Joux (Laboratoire d'Océanographie Microbienne, LOMIC UMR 7621 CNRS-UPMC
Observatoire Océanologique de Banyuls, 66650 Banyuls-sur-Mer, Email: joux@obs-banyuls.fr).

Vous trouverez ci-dessous la liste des projets proposés. Si vous ne trouvez pas un thème d'intérêt, vous pouvez nous soumettre un thème avec au moins un article de référence.

Liste des Projets

1. Observations satellitaires et émergence de vibrio pathogènes (FJ)

Comment la télédétection par satellites peut-elle aider à surveiller la qualité des eaux littorales et devenir un outil prédictif à l'émergence de vibrio pathogènes ?

2. Conséquences du changement climatique sur les espèces invasives végétales ? (AS)

Comment le réchauffement climatique favorise le développement de certaines espèces au détriment des espèces endémiques/locales ? L'accent sera mis sur les espèces invasives végétales.

3. Les mangroves vont-elles disparaître suite au changement climatique (AS)

Actions du changement climatique sur le niveau des océans et ses conséquences sur les mangroves.

4. Risque sanitaire associé aux ouragans en zone littorale (FJ)

5. Comment les vagues de chaleur marines affectent-elles les microorganismes ? (FJ)

6. Augmentation du CO₂ atmosphérique : effets bénéfiques ou délétères sur les plantes ? (AS)

Quelle sera la conséquence de l'augmentation du CO₂ atmosphérique sur les plantes ? Est-ce que toutes les espèces végétales seront favorisées ? Cela se traduira-t-il par une augmentation des rendements agricoles.

7. Impact des polluants sur le microbiote d'organismes aquatiques (FJ)

8. Potentiels biotechnologiques des microorganismes dans la production et la dégradation de plastiques (FJ)

9. Impact du réchauffement climatique sur les pergélisols et les microorganismes associés (FJ)

10. Antibiorésistance et changement climatique (FJ)
11. Les bactéries des nuages : peuvent-elles faire la pluie et le beau temps ? (FJ)
12. Les cyanobactéries seront-elles les gagnantes du changement climatique ? (FJ)
13. Les microplastiques ont-ils un impact sur les plantes? (AS)
14. Les biostimulants sont-ils la solution pour limiter les intrants en agriculture ? (AS)
15. Gestion des cultures de plantes transgéniques Bt et résistance des insectes à ces toxines (AS)
16. Impacts des températures sur les interactions plantes-champignons (AS)
17. Conséquences du changement climatique sur les forêts (AS)
18. Les mangroves jouent-elles un rôle important dans le cycle du carbone ? (AS)
19. Microalgues en milieu polaire et réchauffement climatique. A quelles modifications peut-on s'attendre ? (FJ)
20. Modifier le microbiome des plantes peut-il améliorer leur tolérance aux facteurs de l'environnement ? (AS)

Projet Géosciences (GEO) « La machine Terre »

Responsable : Nadaya CUBAS (nadaya.cubas@sorbonne-universite.fr)

Les projets « *La machine Terre* » sont principalement centrés sur deux thématiques :

- les interactions entre enveloppes externe et interne, de façon à appréhender les conséquences du changement climatique sur la géologie à court, ou long-terme.
- les ressources naturelles et l'impact de leur exploitation sur la géologie.

Le travail s'effectuera en binôme à partir d'une recherche bibliographique personnelle (en vous aidant du document à rendre aux bibliothécaires) et d'articles fondamentaux proposés au départ. Les binômes devront synthétiser ces articles de façon critique en fournissant un résumé de 2-3 pages incluant deux figures significatives soit réalisées pour le sujet choisi soit extraites de la bibliographie.

Les binômes devront ensuite présenter oralement leur sujet et leurs interprétations sous forme d'une présentation Powerpoint (15 mn par binôme, références bibliographiques placées à la fin du diaporama).

L'exposé sera suivi de questions. Les oraux auront lieu début décembre.

Thèmes proposés :

Risques géologiques associés au changement climatique :

- Sismicité liée aux cyclones / à la décharge glaciaire
- Impact de l'intensification des cyclones sur l'érosion
- Glissements de terrain - déstabilisation des pentes liés à la fonte du permafrost
- Glissement de terrain de la vallée de l'Ubaye
- Invasion de dunes de sable liée aux sécheresses
- Géoarchéologie appliquée à l'étude de la gestion du risque

Risques géologiques associés à l'exploitation du sous-sol :

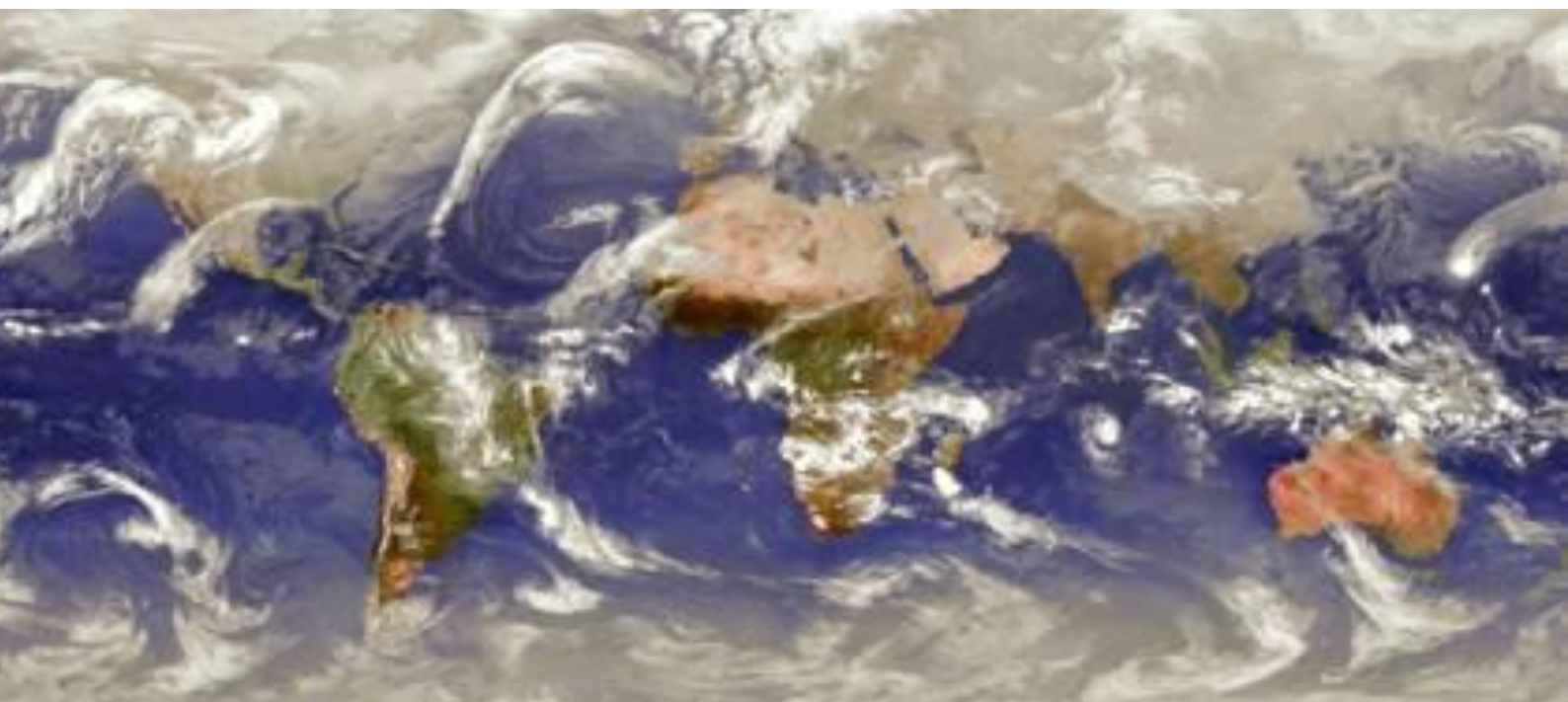
- Impact de l'exploitation des gaz de schistes sur la sismicité
- Le séisme de Teil (Drôme, Fr), séisme déclenché par l'exploitation d'une mine ?
- Géothermie et sismicité induite.
- La relocalisation de la ville de Kiruna, Suède
- L'après-mine : l'autocombustion des terrils : risque ou ressource ?
- Géomorphologie fond de mer sur les plateformes : applications aux risques pour les infrastructures

Ressources naturelles :

- Le paradoxe environnemental des Terres Rares : essentielles pour la transition énergétique, mais exploitation polluante et recyclage quasi-inexistant.
- La géologie de l'hydrogène / Hydrogène naturel : ressource du futur ?
- La mine urbaine : le cas de l'or
- L'après-mine : la chaleur des mines souterraines, une ressource ?
- Exploitation durable des sédiments marins

NOTES

NOTES



Sorbonne Université
Faculté des Sciences et Ingénierie
Département de MASTER SDUEE
Tour 46
Couloir 46/00
1er étage - Bureaux 105 à 107
boîte courrier 210
4, Place Jussieu
75252 PARIS Cedex 05