

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

Grandes Questions Environnementales MU4EU002

Année Universitaire 2020-2021



Table des matières

Organisation de l'unité d'enseignement	3
Planning des cours et inscriptions	4
Carnet de bord : les coulisses de 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	8
C. Océan et cycle du carbone	9
D. Le cycle de l'eau : enjeux globaux	12
E. Le climat et ses variations.....	13
F. Planétologie : atmosphère, surface, habitabilité.....	14
G. Plantes OGM et pesticides : quels avenir ?	15
Les projets.....	16
Projet. Océan et environnements marins.....	16
Projet. Paléoclimatologie - archéologie	17
Projet. Sciences de l'océan, de l'atmosphère et du climat	18
Projet. Planétologie	20
Projet. Systématique, Evolution et Paléontologie/Écologie, Biodiversité, Evolution.....	21
Projet. Écologie Marine et Terrestre	23
Projet. Ecophysiologie et Ecotoxicologie	24
Projet. Géosciences (GEO) « La machine Terre ».....	26
Annexe : exemple corrigé de carnet de bord	27

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 matins (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 durables des Nations Unies (cours ouvert à tous)	P. Koubbi
B - Les ressources géologiques : des connaissances aux enjeux (cours fermé aux GEO-P/G ²)	Loic 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. Tuzet
E - Le climat et ses variations (cours fermé aux MOCIS, BA)	S. Turquety
F - Planétologie : atmosphère, surface, habitabilité (cours ouvert à tous)	A. Spiga
G - Plantes OGM et pesticides : quels avenir ? (cours fermé aux EPET)	A. Savouré/M.Dacher

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	SdM	celine.ridame@locean-ipsl.upmc.fr
P. Koubbi	Ecologie marine et terrestre	philippe.koubbi@upmc.fr
S. Huon	HHGE /ARCHEO	sylvain.huon@upmc.fr
H. Balcone-Boissard	GEO-P/G ²	helene.balcone_boissard@upmc.fr
S. Turquety	MOCIS	solene.turquety@sorbonne-universite.fr
A. Spiga	Planétologie	aymeric.spiga@sorbonne-universite.fr
A. Savouré	EPET	arnoult.savoure@sorbonne-universite.fr

Formation à la recherche documentaire : Deux séances d'1h sont proposées par les bibliothécaires (bibliothèque de géosciences) pour vous former et vous aider dans votre recherche bibliographique pour votre projet. Les séances ont lieu en visio (via zoom) et proposent des exercices appliqués à votre projet. Elles sont obligatoires (même pour le projet numérique). Un carnet de bord décrivant votre recherche documentaire est à rendre le 20/10/2020.

Notation : la **note finale** est la somme des deux notes de cours (/25*2) et de la note de projet (/50).

Responsable de l'enseignement :

Solène Turquety

solene.turquety@sorbonne-universite.fr

Planning des cours « Grandes questions environnementales » 2020-2021

DATE	8h30-10h30	10h45-12h45	Salle
Vendredi 04/09/20	14h00-16h30 Réunion projets pour tous les groupes via ZOOM		Visio
Mardi 08/09/20	Cours B (L.Labrousse)	Cours E (S.Turquety)	AMPHI.B2
Mardi 15/09/20	Formation biblio 1 (visio 8h15-9h30)	Cours B (L.Labrousse)	AMPHI.B2
Mardi 22/09/20	Cours E (S.Turquety)	Cours C (C.Ridame)	AMPHI.B2
Mardi 29/09/20 (stage terrain STEPE)	Formation biblio 2 (visio 8h15-9h30)	Cours B (L.Labrousse)	AMPHI.B2
Mardi 06/10/20	Cours E (S.Turquety)	Cours C (C.Ridame)	AMPHI.B2
Mardi 13/10/20	Cours D (A.Tuzet)	Cours C (C.Ridame)	AMPHI.B2
Mardi 20/10/20	Cours D (A.Tuzet)	Cours G (A.Savouré/M.Dacher)	AMPHI.B2
Mardi 20/10/20	Date de rendu du carnet de bord biblio		
Mardi 27/10/20	Contrôle cours E+B+C AMPHI.56B	Cours G (A.Savouré/M.Dacher)	AMPHI.B2
Mardi 03/11/20	Cours D (A.Tuzet)	Cours G (A.Savouré/M.Dacher)	AMPHI.B2
Mardi 10/11/20	Interruption des enseignements. Vacances de la Toussaint		
Mardi 17/11/20	Cours A (P. Koubbi)	Cours F (A. Spiga)	AMPHI.HERPIN
Mardi 24/11/20	Cours A (P. Koubbi)	Cours F (A. Spiga)	AMPHI.HERPIN
Mardi 01/12/20	Cours A (P. Koubbi)	Cours F (A. Spiga)	AMPHI.HERPIN
Mardi 08/12/20 toute la journée	Soutenances projets GQE		En attente
Mardi 15/12/20	Contrôle cours A,D,F,G 9h-12h		En attente
Du 19/12/20 au 03/01/21	Arrêt des enseignements. Vacances de Noël		
Lundi 04 janvier 2021 MATIN	Remise des notes cours + projet pour les enseignants		
Jeudi 07 janvier MATIN	Délibération du jury		
Mardi 02 février 2021	Examen de la Session 2 9h00-11h00		En attente

Inscriptions:

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

Le choix de cours doit être effectué sur Doodle entre le jeudi 03/09 17h et le lundi 07/09 15h. L'adresse sera sur le site internet du Master SDUEE <http://www.master.sduee.upmc.fr/>.

Quota indicatif (sera ajusté en septembre en fonction du nombre d'étudiants inscrits): 55 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 Doodle du vendredi 04/09 17h00 au mercredi 09/09. L'adresse sera sur le site internet du Master SDUEE <http://www.master.sduee.upmc.fr/>.

Quota indicatif: maximum 18 étudiants (9 binômes) par projet.

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

Carnet de bord: les coulisses de la recherche documentaire

Les éléments que vous indiquez dans ce carnet donneront lieu à une notation

Télécharger la version doc sur MOODLE pour le remplir.
Votre carnet de bord doit être déposé sur la plateforme Moodle avant **le 20 octobre 2020.**

Noms, prénoms et parcours :

Sujet :

--

Consignes :

1. **Introduction (5-12 lignes max) :** Décrivez rapidement votre sujet de recherche, ses différents aspects et enjeux, ainsi que l'angle sous lequel vous avez décidé de le traiter.
2. **Les mots clés retenus :** Listez les mots clés que vous avez utilisés pour votre recherche bibliographique et organisez-les sous forme de carte heuristique (*cf.* exemple corrigé), en utilisant par exemple l'outil Framindmap : <https://framindmap.org/mindmaps/index.html>.
3. **Descriptif de votre recherche documentaire (10-15 lignes) :** Décrivez votre utilisation des différents outils de recherche (moteurs de recherche, base de donnée, catalogues, recherche par rebond etc.) et comparez les outils entre eux. A quelles sources vous ont-ils permis d'accéder ? Quelles sont leurs spécificités ? Leur niveau de spécialisation ?
4. **Bibliographie produite dans le cadre du projet :** Utilisez la norme ISO690 (author-date, no abstract, French). Vous pouvez vous aider en consultant le Guide des références bibliographiques : <https://tinyurl.com/UEGQE2018>.
5. **Evaluation des sources (5 lignes minimum par sources) :** Choisissez 3 sources parmi votre bibliographie, décrivez la manière dont vous les avez trouvées et faites-en une évaluation critique.

Un exemple est fourni en annexe à la fin de la brochure.

Ce cours est proposé à tous les étudiants du master 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. 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. Pour changer d'attitude, il faut savoir et comprendre que ces changements existent et éduquer pour avoir une vision spatiale et temporelle couvrant autant l'échelle globale que celle de son propre environnement quotidien. A grande échelle, l'observation satellitaire, couplée aux campagnes scientifiques à long terme, permet d'étudier les tendances spatiales et temporelles des écosystèmes et de leur usage par les populations humaines.

Pour changer notre relation à l'environnement, il faut comprendre et prévoir. Un phénomène ou un événement, ne peuvent être expliqués et surtout prévus si on ne connaît ni leur cause, ni les mécanismes qui les sous-tendent. 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, des marées noires, 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.

Observer la planète n'est pas suffisant, 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 nécessaire de cohabitation entre les activités humaines et la nature.

Le cours consistera à montrer des exemples de grands programmes internationaux qui peuvent tous se regrouper dans le cadre du programme de développement durable des nations unies.

Le site des nations unies nous donne détaille les 17 objectifs de ce projet « pour sauver le monde » : « *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.* »

Le site internet suivant détaille les 17 objectifs et leurs cibles <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/objectifs-de-developpement-durable/>. Nous verrons dans le cours que ces objectifs sont interconnectés et que si des actions sont spécifiques, ils ne peuvent pas être regardés indépendamment. Un exemple : 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 pêcheurs 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).

Deux exemples plus récents concernent l'épidémie du coronavirus et le lien avec les atteintes sur la biodiversité (objectifs 3, 12 15, 16).



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 coûteux 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 focalisera 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 de 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.

Il s'agit ici de surtout montrer comment des modifications régionales de la circulation océanique puis de la biogéochimie marine peuvent impacter la biologie marine d'autres bassins et, in fine, modifier significativement le cycle du carbone et le climat à l'échelle globale. Une attention particulière sera portée pour exposer les différents concepts à l'origine de la complexité des interactions en jeu qui mélangent différentes échelles spatio-temporelles (des processus biochimiques cellulaires à la circulation atmosphérique et océanique mondiale ; des variations saisonnières aux échelles de temps géologiques). Les incertitudes et les questions scientifiques actuellement débattues pourront alors être exposées: stratification de l'océan polaire, dominance des diatomées et/ou des coccolithophores, effet ballast...

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 (2088) 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 (CO₂) dans l'atmosphère passant de 280 ppm en 1860 à environ 400 ppm de nos jours. Une partie des rejets de CO₂ 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 CO₂. Ainsi, les océans de par le puits de CO₂ qu'ils représentent, ont une grande influence sur le climat. Cette absorption massive de CO₂ dans l'océan entraîne un bouleversement de la chimie de l'eau de mer, notamment du système des carbonates. La dissolution du CO₂ 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 CO₂, 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 CO₃²⁻ 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 (zooplanctoncalcifiant), les coccolithophores (phytoplancton calcifiant). De tels organismes pourraient être potentiellement vulnérables à une élévation de CO₂ atmosphérique dans les années à venir au travers notamment de la diminution de leur calcification. L'augmentation de la concentration en CO₂ dans l'eau de mer pourrait aussi affecter la fixation du CO₂ par la photosynthèse. Par exemple, les premières données obtenues sur la cyanobactérie *Trichodesmium* sp., montrent que l'activité photosynthétique augmente

fortement lorsque la $p\text{CO}_2$ passe de 380 à 700 ppm. 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 n'ont commencé à être étudiées qu'à partir de la fin des années 2090 et 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 : Enjeux globaux

Andrée Tuzet : andree.tuzet@inra.fr

La vie sur les continents est fortement dépendante de l'eau et de l'environnement. L'eau est un élément majeur qui intervient à la fois comme régulateur du climat, comme élément vital des écosystèmes et par conséquent de l'homme à travers l'alimentation.

Cet enseignement cherchera à donner les processus de base gérant le cycle de l'eau et ses conséquences climatiques, hydrologiques, écologiques et humaines. Après un rappel du rôle de l'eau comme élément vital pour la biosphère, une description de l'eau au niveau de la planète sera faite montrant à la fois son abondance planétaire et sa rareté, parfois extrême pour les systèmes biologiques continentaux. Dans un deuxième temps, les caractéristiques physiques des états de l'eau seront décrites pour pouvoir aborder et comprendre les processus majeurs de l'évaporation si cruciale pour les systèmes biologiques (hommes, animaux, plantes). Ensuite, des rappels sur le cycle de l'eau seront donnés à travers les processus moteurs des mouvements de l'eau dans l'atmosphère et des pluies qui peuvent en découler.

Cet ensemble de processus permet d'analyser les grandes variations continentales de la répartition des pluies tant en valeurs moyennes pluri annuelles qu'en répartitions inter annuelles. Quelques conséquences environnementales majeures seront analysées en particulier en ce qui concerne le problème environnemental du changement climatique et de ses conséquences. En dernière partie, les problèmes environnementaux et d'alimentation humaine seront analysés. On abordera à la fois les problèmes de pollution, de santé et d'utilisation humaine, en fonction des disponibilités sur les continents. On insistera sur le rôle actuel de l'irrigation, au niveau de la production mondiale, pour en saisir toute l'acuité dans le domaine de l'alimentation et de l'environnement.

Cours E. Le Climat et ses Variations

d'après le cours de K. Laval et H. Chepfer
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 retracerons rapidement l'histoire de la découverte de l'effet de serre.

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 écrivons 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).

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

Bibliographie

- Is the temperature rising?* (2000) S. G. Philander. Princeton Univ Press
Comprendre le changement climatique (2007) Editeurs J.L. Fellous et C. Gautier. O. Jacob
Panorama de la Physique (2007) Edition Belin
Sur les origines de l'effet de serre et du changement climatique (2010), S. Arrhenius, T. C. Chamberlin, J. Croll, J. Fourier, C. Pouillet, J. Tyn, Edition La Ville Brûle
Incertitudes sur le climat (2013), K. Laval et G. Laval. Edition Belin

Cours F. Planétologie : atmosphère, surface, habitabilité

Aymeric Spiga

aymeric.spiga@sorbonne-universite.fr

<http://www.lmd.jussieu.fr/~aslmd>

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 atmosphère et des variations de son climat ; de 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.

Le premier cours consiste en une exploration du système solaire, une 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. Nous commencerons à percevoir en quoi l'étude des planètes est passée du pur domaine de l'astrophysique au domaine de la géophysique.

Le second cours entend donner quelques mécanismes clé du fonctionnement des atmosphères planétaires. Quelles sont les grandes différences observées dans la météorologie et la climatologie de ces planètes ? Comment peut-on les expliquer par quelques grands principes ? La caractérisation des propriétés des objets possédant une atmosphère (notamment les corps telluriques) permet d'améliorer nos connaissances sur les processus physiques et chimiques régissant le fonctionnement actuel de notre atmosphère.

Le troisième cours opère une synthèse en proposant de faire apparaître la dimension temporelle et de nous intéresser à l'évolution des environnements planétaires, notamment leur composition, leur climat et les interactions surface-atmosphère. L'étude des planètes nous renseigne sur la formation et l'évolution de l'atmosphère de la Terre. Nous aborderons alors les questions d'habitabilité (y compris celle de la Terre par le passé) et donnerons quelques éléments sur les problématiques examinées par l'exobiologie, notamment la question de l'apparition de la vie dans un environnement planétaire donné.

Ce cours n'a aucune prétention à l'exhaustivité, mais entend donner quelques idées maîtresses pour penser l'environnement et la planétologie avec quelques exemples édifiants. L'évaluation consiste en un contrôle des connaissances par écrit.

Cours G.Plantes OGM et pesticides : quels avenir ?

**Arnould Savouré arnould.savoure@sorbonne-universite.fr
et Matthieu Dacher matthieu.dacher@sorbonne-universite.fr**

L'utilisation de plantes génétiquement modifiées a suscité de nombreux et virulents débats et profondément divisé notre société. Actuellement, ces plantes sont utilisées dans plus de 28 pays sur plus de 180 millions d'hectares, à l'exception notoire de l'Europe où un moratoire en interdit leur utilisation agronomique. Ce cours a pour objectif de donner des bases scientifiques solides afin de mieux comprendre les débats et les enjeux liés à l'utilisation de ces plantes et d'être un acteur éclairé dans ces débats. A cette fin, nous prendrons notamment comme exemple l'utilisation des pesticides de synthèse en agriculture dans le contexte d'une réduction de 50% de leur emploi à l'horizon 2018 et de leur impact dans le déclin des pollinisateurs. Il sera notamment abordé une réflexion sur l'utilisation de plantes OGM synthétisant elles-mêmes ces molécules qui pourrait peut-être permettre de limiter voire de supprimer totalement l'usage de pesticides.

L'impact des insecticides sur les pollinisateurs et les principes généraux de pharmacologie du comportement et d'écotoxicologie seront présentés, ainsi que le mode d'action de quelques insecticides et toxines de plantes et la façon dont les insectes peuvent s'y adapter. Le déclin des populations de pollinisateurs sera ensuite étudié en prenant l'abeille, comme exemple : on abordera notamment le rôle des insecticides dans ce phénomène. L'infection des insectes par la bactérie *Bacillus thuringiensis* (qui produit la toxine Bt) sera également traitée.

Après un rappel sur les principales méthodes permettant l'obtention et l'utilisation de plantes génétiquement modifiées, les différents types d'OGM pouvant être produits seront présentés, ainsi que leur emploi en agronomie. Une plus grande attention sera portée à la synthèse de toxines par ces plantes afin de limiter l'utilisation et la diffusion de pesticides dans l'environnement et donc limiter les pollutions associées à ces molécules toxiques.

Projet Océan et Environnements marins

Responsable : Céline Ridame (celine.ridame@locean-ipsl.upmc.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 (2-3 articles/étudiant). Une synthèse écrite illustrée par un résumé de 2 pages incluant une figure significative et la liste des références bibliographiques sera à rendre mi-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 la circulation océanique
2. Réponses des organismes calcifiants à l'acidification des océans
3. Quel est l'impact de l'acidification des océans sur le phytoplancton non calcifiant ?
4. Vers une désoxygénation de l'océan ?
5. Evolution temporelle des zones de minimum d'oxygène
6. L'océan est-il une source de gaz à effet de serre (CH₄, N₂O)?
7. Impact des changements climatiques sur les coraux

Pollution des océans

8. Pollution chimique des récifs coralliens et conséquences
9. Invasion des étoiles de mer épineuses : conséquences sur les récifs coralliens
10. Eutrophisation des zones côtières
11. Prolifération de micro-algues toxiques
12. Les micro-plastiques

L'océan : un puits de CO₂

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

Les écosystèmes profonds

18. Les sources hydrothermales : une source de micro-nutriments ?
19. Les suintements froids : une source de méthane ?

Projet Paléoclimatologie et archéologie (ARCHEO)

Responsable : Sylvain Huon (sylvain.huon@sorbonne-universite.fr)

L'objectif du projet est d'essayer de relier "l'homme et ses activités" avec les changements climatiques passés en réunissant à la fois, les résultats des recherches menées sur le climat ces dernières années et les informations fournies par les études historiques et/ou archéologiques. Le travail s'effectuera en binômes à partir d'une recherche bibliographique personnelle et d'articles fondamentaux proposés au départ. Les binômes devront synthétiser (approche critique) l'information donnée, présenter oralement les principaux faits et leurs interprétations oralement sous forme de présentation Powerpoint (15 mn par binôme, références bibliographiques placées à la fin du diaporama) et fournir un résumé de 2 pages incluant une figure significative soit réalisée pour le sujet choisi soit extraite de la bibliographie.

Les sujets proposés concernent essentiellement des environnements quaternaires récents et cherchent à intégrer les connaissances sur le fonctionnement de la "machine climatique" (couplages océan, glace, végétation, atmosphère, sol) et son impact sur les sociétés humaines du passé (sédentarisation, migration, adaptation, disparition). Ils sont compatibles avec plusieurs cours proposés dans l'UE (Le Climat et ses variations, Cycle de l'eau : enjeux globaux, Océan et cycle du carbone). En retour, on cherchera à utiliser l'information que peut nous apporter l'étude des sociétés humaines sur la connaissance des climats du passé et l'on prendra en considération « la possible » influence de l'homme sur son milieu (voire même sur le climat) avant la révolution industrielle.

Exemples de sujets proposés :

1. Les chasseurs-cueilleurs du paléolithique Supérieur (70000-10000 ans BP) ont-ils dû s'adapter à des changements climatiques rapides ?
2. Peut-on connecter les changements culturels en Chine à l'Holocène avec l'intensité de la mousson à partir de l'analyse de concrétions calcaires de grottes ?
3. Le déclin de la civilisation maya avant la colonisation espagnole est-il dû à une aridification du climat ou une mauvaise gestion des sols ?
4. Les événements de type El Niño existaient-ils au Néolithique ou sont-ils une conséquence du réchauffement climatique actuel ?
5. Les pratiques agricoles liées à la néolithisation ont-elles modifié le climat il y a 8000-5000 ans BP ?
6. Les grandes pandémies sont-elles liées aux changements climatiques ou au développement des activités humaines ?
7. A quand faire débiter l'Anthropocène, une nouvelle ère « géologique » définie à partir des activités humaines et de leur impact sur l'environnement ?
8. Les événements qui ont conduit à la révolution française sont-ils dus à de mauvaises récoltes induites par un épisode climatique particulier ?
9. Pourquoi les populations ont-elles pu coloniser le Sahara il y a 8000-6000 ans BP pendant l'optimum climatique Holocène ?
10. Comment la colonisation du Groenland par les Viking a-t-elle pu s'effectuer au X^{ème} siècle de notre ère ?
11. Les concrétions calcaires d'aqueducs romains enregistrent-elles les variations climatiques et/ou la gestion des ressources en eau ?

Cette liste n'est pas exhaustive et peut être étendue si les propositions faites sont conformes à l'esprit du projet. Les différents sujets proposés ne demandent pas de prérequis particuliers.

Projet Sciences de l’Océan, de l’Atmosphère et du Climat (MOCIS-BA)

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.

Contact : Myrto Valari (myrto.valari@lmd.polytechnique.fr)

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),
Hélène Chepfer (helene.chepfer@sorbonne-universite.fr)

Projet Planétologie

Responsable : Aymeric Spiga (aymeric.spiga@sorbonne-universite.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*, 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 des fluides (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 un peu 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.

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* 23, 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 Ecologie Marine et Terrestre

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

Des contacts par email et des jours de rendez-vous directement ou par Skype seront proposés, chaque mois, jusqu'à la remise du rapport et la soutenance. Parmi les semaines à cibler la première dizaine d'octobre et le mois de novembre.

Les modalités d'évaluation des projets sont communes à tous les projets GQE. Ci-dessous des propositions de projets :

1. Biodiversité globale : Quelles sont les raisons de la sixième extinction ?
2. Biodiversité globale : Les zoonoses (exemple du COVID 19) sont-elles une conséquence de l'atteinte sur la biodiversité ?
3. Biodiversité globale : La fragmentation des habitats terrestres.
4. Océan Mondial : Comment définir des Aires Marines Protégées de haute mer en intégrant les changements climatiques ?
5. Océan Mondial : Quelles sont les conséquences de l'exploitation et du braconnage des requins dans l'océan Mondial ?
6. Océan Mondial : Comment la biogéographie marine pélagique de l'océan Mondial va se modifier en fonction des changements climatiques ?
7. Océan Mondial : Espèces invasives liées aux transports maritimes. Quel est le rôle des changements climatiques, quelles solutions à apporter ?
8. Océan Mondial : statut et avenir des écosystèmes profonds ?
9. Océan Mondial : l'océan devient-il « gélatineux » ?
10. Antarctique : Quelles sont les conséquences pour les prédateurs supérieurs de l'exploitation du krill antarctique face aux changements climatiques ?
11. Antarctique : Quelles sont les conséquences des changements climatiques sur les écosystèmes marins et les oiseaux de la Péninsule Antarctique ?
12. Antarctique : Quelles sont les conséquences de l'élévation des radiations d'UVB sur l'écosystème marin ?
13. Océanie : Comment expliquer l'extinction au cours des siècles de certaines espèces d'oiseaux de Nouvelle Zélande ?
14. Arctique : la fonte du pergélisol, conséquences écologiques et sociétales.
15. Arctique : Statut et avenir de l'ours blanc ?
16. Arctique : quelles sont les conséquences des changements climatiques sur les populations d'herbivores terrestres et des populations humaines qui en dépendent ?
17. Arctique : le passage du Nord-Ouest.

Projet Ecophysiologie et Ecotoxicologie

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

Arnould Savoure (Responsable projets)

Laboratoire iEES, APCE bât. 44-34, Case 237, 75252 Paris cedex 05.

Tél. : 01 44 27 26 72

Email : arnould.savoure@sorbonne-universite.fr

Fabien Joux

Laboratoire d'Océanographie Microbienne, LOMIC UMR 7621 CNRS-UPMC

Observatoire Océanologique de Banyuls

F-66650 Banyuls-sur-Mer, France

Tél. : 04 6888 7342 / mobile: 06 46 27 51 22

Email: joux@obs-banyuls.fr

Projets bi-disciplinaires :

1. Réchauffement climatique, oligotrophisation des océans et adaptations des microorganismes (FJ)

Physique-biologie : comment le réchauffement climatique renforce la stratification thermique de la colonne d'eau, limite les échanges verticaux, contribue à l'oligotrophisation des eaux de surface ? Quelles sont les adaptations/sélections des microorganismes (bactéries phytoplancton) à ces environnements oligotrophes ?

Behrenfeld, M., O'Malley, R., Siegel, D., McClain, C., Sarmiento, J., Feldman, G., Milligan, A., Falkowski, P., Letelier, R., and Boss, E. (2006). Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, 444, 752-755.

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

Physique-biologie : 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.

Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities (2016). *Nature Comm.* DOI: 10.1038/ncomms12485

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

Physique-biologie : Actions du changement climatique sur le niveau des océans et ses conséquences sur les mangroves.

The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. *Nature*. 2015 Oct. 22;526(7574):559-63. doi: 10.1038/nature15538.

4. Quelles perspectives pour les biodiesel de 3^{ème} génération ? (FJ)

Chimie-Biologie : Quelles sont les différents composés d'intérêts et les différentes stratégies de production ?

Behera et al. (2014) Scope of algae as third generation biofuels. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 2:90.

5. Bactéries biominéralisantes : processus chimique et biologique, applications biotechnologiques (FJ)

Chimie-Biologie : quelles sont les différentes formes de minéraux qui sont formées par les bactéries en fonction de la composition chimique du milieu, mais aussi en fonction du pH, et de la température ?

Dhami et al. (2013) Biomineralization of calcium carbonates and their engineered applications: a review. *Front. Microbiol.* 4:314

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

Chimie-Biologie : 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.

Franks et al. (2013). Sensitivity of plants to changing atmospheric CO₂ concentration: from the geological past to the next century. *New Phytol.* 207(4):1077-94.

Projets mono-disciplinaires :

7. Les bactéries fixées aux microplastiques : sont-elles là seulement pour faire joli ?

Oberbeckmann S., Kreikemeyer B., Labrenz M. (2018) Environmental Factors Support the Formation of Specific Bacterial Assemblages on Microplastics. *Front. Microbiol.* 8:2709. doi: 10.3389/fmicb.2017.02709

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

Jansson JK, Tas N (2015) The microbial ecology of permafrost. *Nature Rev.* 12:414-425.

7. La fertilisation de l'océan comme technique de géo-ingénierie (FJ)

Lampitt et al. (2016) Ocean fertilization: a potential means of geoengineering? *Philosophical transactions of the Royal Society A* 366 :3920-3945.

8. Les bactéries des nuages : peuvent-elles faire la pluie et le beau temps ? (FJ)

Morry C. E. et al. (2014) Bioprecipitation: a feedback cycle linking Earth history, ecosystem dynamics and land use through biological ice nucleators in the atmosphere 20:341–351, doi: 10.1111/gcb.12447.

9. Les cyanobactéries seront-elles les gagnantes du changement climatique ? (FJ)

Ullah H, Nagelkerken I, Goldenberg SU, Fordham DA (2018) Climate change could drive marine food web collapse through altered trophic flows and cyanobacterial proliferation. *PLoS Biol*16(1):e2003446.

10. Les plantes sont-elles adaptées à une augmentation des températures ? (AS)

Nievola et al. (2017) Rapid responses of plants to temperature changes, *Temperature*, 4:4, 371-405, DOI: 10.1080/23328940.2017.1377812.

11. Les biostimulants sont-ils la solution pour limiter les intrants en agriculture (AS)

Xu L and Geelen D (2018) Developing Biostimulants From Agro-Food and Industrial By-Products. *Front. Plant Sci.* 9:1567. doi: 10.3389/fpls.2018.01567

12. Gestion des cultures de plantes transgéniques Bt et résistance des insectes à ces toxines (AS)

Carrière, Y., Fabrick, J. A., & Tabashnik, B. E. (2016). Can pyramids and seed mixtures delay resistance to Bt crops? *Trends in biotechnology*, 34(4), 291-302.

13. Impacts des températures sur les interactions plantes-champignons (AS)

Yang, R., Cai, X., Li, X., Christie, P., Zhang, J. and Gai, J. (2017), Temperature-mediated local adaptation alters the symbiotic function in arbuscular mycorrhiza. *Environmental Microbiology*. doi:10.1111/1462-2920.13737

14. Conséquences du changement climatique sur les forêts (AS)

Fei, S., Desprez, J. M., Potter, K. M., Jo, I., Knott, J. A., & Oswalt, C. M. (2017). Divergence of species responses to climate change. *Science Advances*, 3(5), e1603055

15. Les mangroves jouent-elles un rôle important dans le cycle du carbone ? (AS)

Alongi, DM. (2014) Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Ann Rev Mar Sci.* 6:205-220. doi: 10.1146/annurev-marine-010213-135020.

16. Microalgues en milieu polaire et réchauffement climatique. A quelles modifications peut-on s'attendre ? (FJ)

Hoppe CJM, Flintrop CM, Rost B. (2018) The Arctic picoeukaryote *Micromonas pusilla* benefits synergistically from warming and ocean acidification. *Biogeosciences* 15:4353–65.

Projet Géosciences (GEO) « La machine Terre »

Responsable : Hélène Balcone Boissard (helene.balcone_boissard@sorbonne-universite.fr)

Les projets « *La machine Terre* » permettront d'appréhender la dynamique, les interactions et les couplages entre les différents compartiments de notre planète.

Ces projets sont basés sur des articles parus récemment (*Elements*, *Nature* et tous ses dérivés, *Geochroniques*, *Geosciences*...) : Lors du premier entretien, vous affinerez avec votre tuteur/tutrice l'article phare de votre projet GQE ainsi que la bibliographie en vous aidant du document à rendre aux bibliothécaires.

Les étudiants devront présenter une analyse critique de l'article en le replaçant dans le cadre des avancées scientifiques actuelles sur le sujet. Les étudiants travaillent en binôme et doivent effectuer une recherche bibliographique (1 à 3 articles/étudiant). Une synthèse écrite illustrée par un résumé de 3 pages incluant maximum deux figures significatives et la liste des références bibliographiques sera à rendre mi-novembre. Puis, les étudiants présenteront à l'oral devant un jury scientifique, la synthèse réalisée sur le thème choisi (15 mn par binôme, sous PowerPoint). L'exposé sera suivi de questions. Les oraux auront lieu début décembre.

Les projets encadrés par E. D'Acremont, H. Balcone-Boissard, E. Martin et M. Chassé

Quelques thèmes abordés:

- Tectonique et aléas/risques
- Géodynamique et climat
- Tectonique et échanges faunistiques

- Volcans et climat
- Les "chambres magmatiques"
- Durée et vitesse des processus magmatiques
- Les gaz volcaniques (soufre, halogènes)

- Volcanisme et système solaire

- Oxygénation de l'atmosphère
- Carbone des sols et climat
- Altération et climat
- Anthropocène, l'homme une force géologique ?

Annexe : exemple corrigé de carnet de bord

Les organismes génétiques modifiés : perception, applications et limites

Carnet de bord

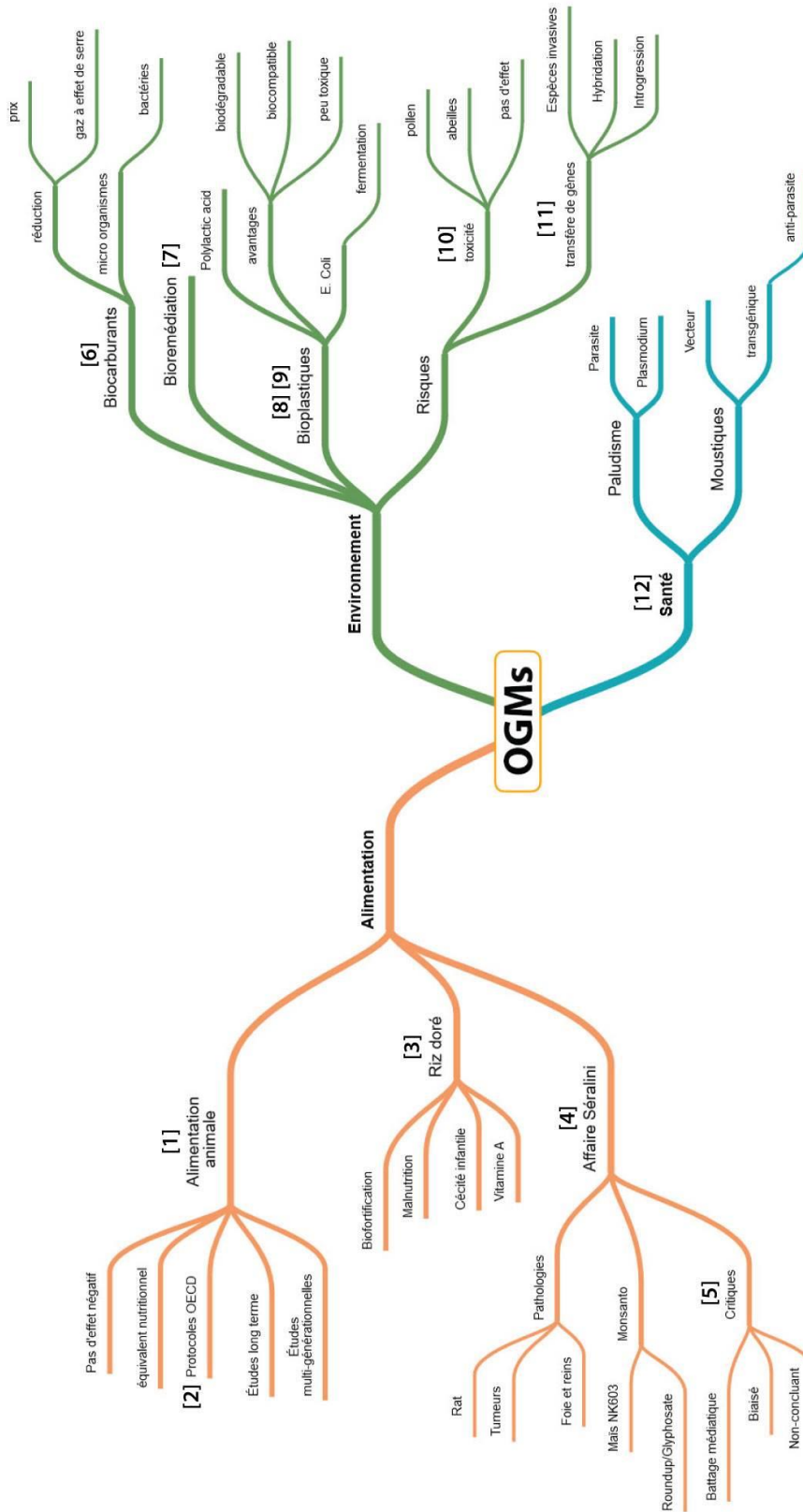
Adrien DEMILLY
Julien PROST

Introduction

Les organismes génétiquement modifiés (OGMs) sont la plupart du temps des espèces animales, végétales, fongiques ou bactériennes dont le génome a été modifié par l'humain pour leur apporter des propriétés absentes de leurs variétés sauvages. Ils sont utilisés dans de nombreux domaines d'application, de la recherche scientifique fondamentale à l'industrie agroalimentaire et font l'objet de nombreux débats, qui opposent régulièrement lobbyistes et associations écologistes.

Notre projet de recherche documentaire vise à répertorier les grands domaines d'utilisation des OGMs et à en détailler quelques exemples précis, mais également à discuter les questions et les craintes qui leurs sont associées, notamment dans les secteurs de l'écologie, de l'alimentation et de la santé humaine. Nous comparerons ainsi des documents grands publics et des textes réglementaires reflétant la perception des OGMs dans la société, ainsi que des articles académiques décrivant l'état des connaissances scientifiques dans le domaine.

Mots clés retenus



Descriptif de la recherche documentaire

Nous avons commencé par une recherche web très générale en utilisant le mot clé « OGM ». En parcourant une partie des résultats obtenus nous nous avons obtenus de nouveaux mots clés et distingué trois grandes thématiques : « Environnement », « Santé » et « Alimentation », que nous avons développées à l'aide des outils documentaires de Sorbonne Université. Le sujet des OGMs s'étendant au-delà de la sphère scientifique et prenant une dimension sociétale, nous avons cherché des articles de presse généraliste ou de vulgarisation scientifique en utilisant le méta moteur SUPER et al base de données Europresse. En suivant cette approche, nous avons notamment été interpellés par l'affaire Séralini, dont le traitement médiatique a provoqué une grande controverse et la rétraction de l'article, et avons récoltés plusieurs exemples précis dans nos trois thématiques : lutte contre le paludisme (santé), bioplastiques et biocarburants (environnement) ou encore riz doré (alimentation). Enfin, afin d'approfondir les aspects les plus scientifiques de notre sujet, nous avons utilisé la base de donnée Pubmed, qui nous a permis d'accéder d'une part à des review sur les sujets les plus larges (évaluation de la toxicité des OGM dans l'alimentation et pour l'environnement), et d'autre part à des articles expérimentaux pour certains exemples précis (riz doré et paludisme notamment).

Bibliographie Intermédiaire

- ANON., [sans date]. Test No. 408: Repeated Dose 90-Day Oral Toxicity Study in Rodents. In : [en ligne]. [Consulté le 11 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-408-repeated-dose-90-day-oral-toxicity-study-in-rodents_9789264070707-en.
- FOUCART, Stéphane, 2018. OGM : six ans après l'« affaire Séralini », une étude conclut à l'absence de toxicité sur les rats. In : Le monde [en ligne]. 13 décembre 2018. [Consulté le 6 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/planete/article/2018/12/13/toxicite-des-mais-transgeniques-une-etude-d-ampleur-conclut-a-l-absence-d-effets-sur-les-rats_5396681_3244.html.
- ITO, Junitsu, GHOSH, Anil, MOREIRA, Luciano A., WIMMER, Ernst A. et JACOBS-LORENA, Marcelo, 2002. Transgenic anopheline mosquitoes impaired in transmission of a malaria parasite. In : Nature. mai 2002. Vol. 417, n° 6887, p. 452-455. DOI 10.1038/417452a.
- JUNG, Yu Kyung, KIM, Tae Yong, PARK, Si Jae et LEE, Sang Yup, 2010. Metabolic engineering of Escherichia coli for the production of polylactic acid and its copolymers. In : Biotechnology and Bioengineering. 1 janvier 2010. Vol. 105, n° 1, p. 161-171. DOI 10.1002/bit.22548.
- LE HIR, Pierre, 2010. Des bactéries transgéniques pour les biocarburants. In : Le monde [en ligne]. 3 décembre 2010. [Consulté le 11 juin 2020]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/planete/article/2010/12/03/des-bacteries-transgeniques-pour-les-biocarburants_1448486_3244.html.
- LU, Bao-Rong et YANG, Chao, 2009. Gene flow from genetically modified rice to its wild relatives: Assessing potential ecological consequences. In : Biotechnology Advances. novembre 2009. Vol. 27, n° 6, p. 1083-1091. DOI 10.1016/j.biotechadv.2009.05.018.
- ROSE, Robyn, DIVELY, Galen P. et PETTIS, Jeff, 2007. Effects of Bt corn pollen on honey bees: emphasis on protocol development. In : Apidologie. juillet 2007. Vol. 38, n° 4, p. 368-377. DOI 10.1051/apido:2007022.
- SACCO, Laurent, 2009. Du bioplastique moins cher grâce à Escherichia coli ? In : Futura Sciences [en ligne]. 26 novembre 2009. [Consulté le 11 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/chimie-bioplastique-moins-cher-grace-escherichia-coli-21579/>.
- SÉRALINI, Gilles-Eric, CLAIR, Emilie, MESNAGE, Robin, GRESS, Steeve, DEFARGE, Nicolas, MALATESTA, Manuela, HENNEQUIN, Didier et DE VENDÔMOIS, Joël Spiroux, 2012. RETRACTED: Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. In : Food and Chemical Toxicology. 1 novembre 2012. Vol. 50, n° 11, p. 4221-4231. DOI 10.1016/j.fct.2012.08.005.

SNELL, Chelsea, BERNHEIM, Aude, BERGÉ, Jean-Baptiste, KUNTZ, Marcel, PASCAL, Gérard, PARIS, Alain et RICROCH, Agnès E., 2012. Assessment of the health impact of GM plant diets in long-term and multigenerational animal feeding trials: A literature review. In : Food and Chemical Toxicology. mars 2012. Vol. 50, n° 3-4, p. 1134-1148. DOI 10.1016/j.fct.2011.11.048.

YE, X., 2000. Engineering the Provitamin A (Carotene) Biosynthetic Pathway into (Carotenoid-Free) Rice Endosperm. In : Science. 14 janvier 2000. Vol. 287, n° 5451, p. 303-305. DOI 10.1126/science.287.5451.303.

Évaluation des sources

SNELL, Chelsea, BERNHEIM, Aude, BERGÉ, Jean-Baptiste, KUNTZ, Marcel, PASCAL, Gérard, PARIS, Alain et RICROCH, Agnès E., 2012. Assessment of the health impact of GM plant diets in long-term and multigenerational animal feeding trials: A literature review. In : Food and Chemical Toxicology. mars 2012. Vol. 50, n° 3-4, p. 1134-1148. DOI 10.1016/j.fct.2011.11.048.

Il s'agit, comme son titre le stipule, d'une revue de littérature, ou review. C'est un exercice scientifique de synthèse de l'état de la recherche sur un sujet donné, analysant une longue liste de références. Elle est publiée dans la revue Food and Chemical Toxicology, éditée par Elsevier, revue scientifique américaine à comité de lecture qui publie des articles de toxicologie depuis 2063. Les auteurs, travaillent pour des institutions reconnues (University of Nottingham, AgroParisTech, Laboratoire de Physiologie Végétale – CNRS, INRA) et ont publié plusieurs articles dans le domaine de la biochimie, de la génétique ou de la biologie moléculaire). C'est une source académique de référence.

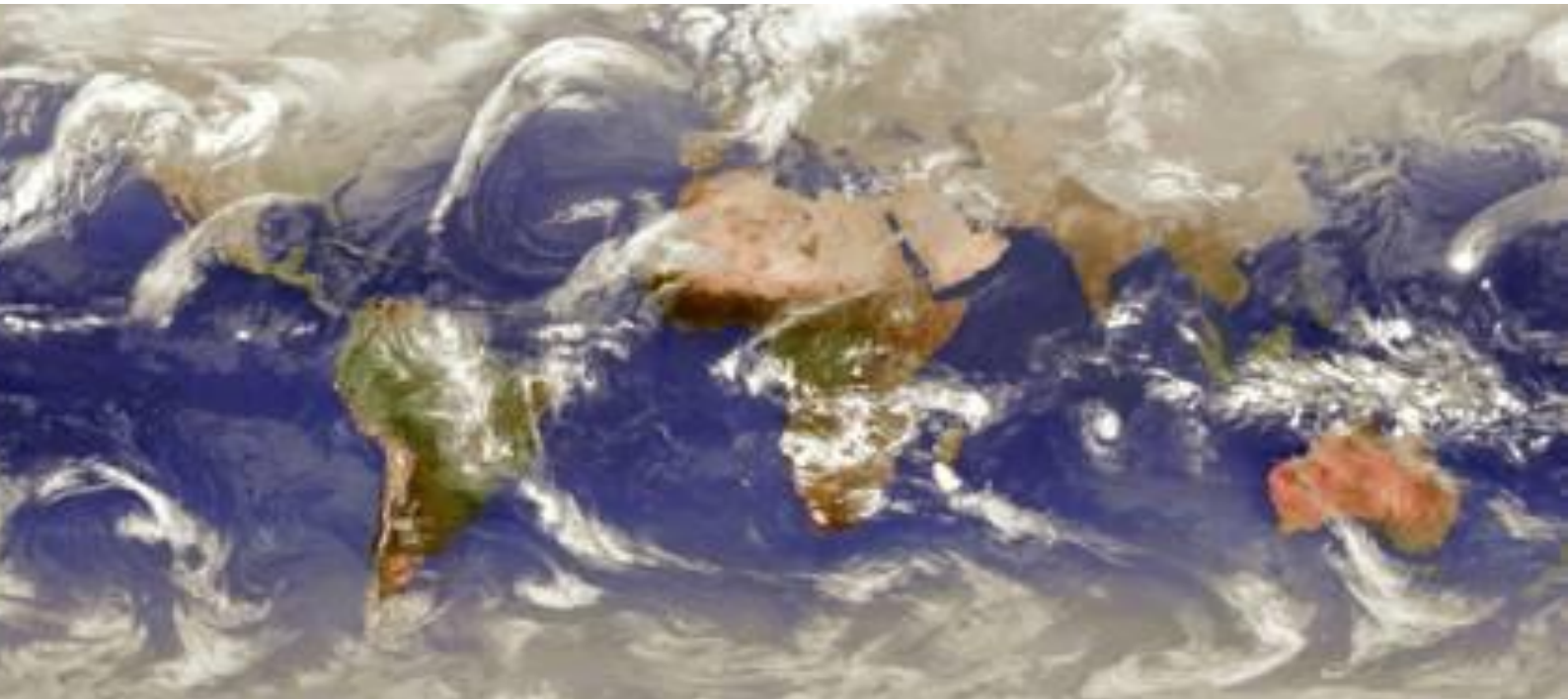
SACCO, Laurent, 2009. Du bioplastique moins cher grâce à Escherichia coli ? In : Futura Sciences [en ligne]. 26 novembre 2009. [Consulté le 11 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/chimie-bioplastique-moins-cher-grace-escherichia-coli-21579/>.

Article de presse spécialisée, hébergé sur le portail Futura, qui fait état d'une découverte de chercheurs coréens. L'article cite les sources des références académiques qu'il vulgarise, et se place dans le contexte du débat autour des OGMs comme défenseurs du progrès technique. Laurent Sacco est un journaliste de formation scientifique qui publie régulièrement depuis plus de dix ans dans Futura.

SÉRALINI, Gilles-Eric, CLAIR, Emilie, MESNAGE, Robin, GRESS, Steeve, DEFARGE, Nicolas, MALATESTA, Manuela, HENNEQUIN, Didier et DE VENDÔMOIS, Joël Spiroux, 2012. RETRACTED: Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. In : Food and Chemical Toxicology. 1 novembre 2012. Vol. 50, n° 11, p. 4221-4231. DOI 10.1016/j.fct.2012.08.005.

L'article à l'origine de « L'affaire Séralini » a été publié dans la revue Food and Chemical Toxicology, revue scientifique à comité de lecture en 2012. Il porte la mention « Retracted » suite à la notice de rétraction publiée par l'éditeur en janvier 2014. Cette rétraction vient à la suite d'échanges avec la communauté scientifique à propos de la nature peu concluante (inconclusiveness en anglais) des résultats publiés, mais il n'est pas question de fraude (« no evidence of fraud or intentional misrepresentation of the data »). L'article original est donc surmonté de cette notice et des références aux différentes lettres adressées à la rédaction de la revue par de nombreux chercheurs. Si nous n'utilisons pas cette source pour son contenu scientifique, elle présente néanmoins une valeur intéressante pour son importance dans le débat scientifique et sociétal qui entoure les OGM.

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