



LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE  
ENSEIGNÉE AUX ÉTUDIANTES ET  
ÉTUDIANTS DE LICENCE DE  
L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

---



# SOMMAIRE

**4** QUI SOMMES-NOUS ?

**5** LE MOT DE LA PRÉSIDENTE

**6** SPOC SUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

---

**7 > 11** PARTIE I : CAUSES ANTHROPIQUES DES CHANGEMENTS GLOBAUX

**12 > 15** PARTIE II : ÉROSION DE LA BIODIVERSITÉ

**16 > 20** PARTIE III : LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

**21 > 25** PARTIE IV : S'ADAPTER ET AGIR FACE AUX CHANGEMENTS GLOBAUX

---

**26** CONCLUSION ET PERSPECTIVES

**27** LISTE DES ENSEIGNANTES ET DES ENSEIGNANTS QUI ONT CONTRIBUÉ AU SPOC



# QUI SOMMES-NOUS ?

---

L'École Universitaire de Premier Cycle est l'école de l'Université Paris-Saclay qui porte tous les types de diplômes de 1er cycle et s'inscrit pleinement dans l'environnement académique, scientifique et économique de Paris-Saclay. Elle constitue une structure totalement innovante qui permet de faire le lien entre l'ambition d'excellence qui prévaut à l'Université Paris-Saclay et la formation de plus grand nombre, les étudiants pouvant décider de se former au niveau licence ou de continuer en master, voire doctorat.

➤ <https://ecole-universitaire-paris-saclay.fr/>



©Christophe Peus/Université Paris-Saclay

## L'Université Paris-Saclay en quelques mots

Créée par décret le 5 novembre 2019 (paru le 6 novembre 2019), l'Université Paris-Saclay, rassemble dans un environnement proche de Paris, et au cœur d'un tissu économique dynamique, **48 000 étudiantes et étudiants**, 5 « facultés » en Sciences, Médecine, Pharmacie, Droit-Economie-Gestion, Sciences du Sport, 3 IUT en tertiaire et secondaire, 1 école interne polytech, 4 grandes écoles, CentraleSupélec, AgroParisTech, l'École normale supérieure Paris-Saclay et l'Institut d'optique graduate school ainsi que l'Institut des Hautes Études Scientifiques. Le périmètre global de l'université regroupe 275 laboratoires partagés avec le CEA, le CNRS, l'Inrae, l'Inria, l'Inserm, et l'Onéra, lesquels représentent 13% du potentiel de recherche français. Sa palette de formations, de recherche et d'innovation s'élargit encore avec la participation de 2 universités membres associés, l'Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines et l'Université d'Evry Val d'Essonne.

➤ <https://www.universite-paris-saclay.fr/>

université  
PARIS-SACLAY

ÉCOLE UNIVERSITAIRE  
DE PREMIER CYCLE  
PARIS-SACLAY

# LE MOT DE LA PRÉSIDENTE

---

En matière de formation, l'Université Paris-Saclay inscrit dans son programme 2020-2025 une série d'actions qui permettent de favoriser la réussite de toutes les étudiantes et de tous les étudiants, quel que soit le niveau de formation. Au cœur de ce programme :

- **L'expérience étudiante**, chaque étudiante et chaque étudiant de l'université recevant une formation pour être une citoyenne ou un citoyen critique et responsable avec une ouverture sur le monde et le souci de collégialité,
- **L'innovation pédagogique** pour que les connaissances soient transmises à partir de modèles adaptés aux aspirations des divers publics étudiants tout en tenant compte des compétences attendues dans le monde socio-économique, en formant par la recherche et en renforçant l'internationalisation des formations,
- **La personnalisation du parcours** étudiant grâce à une grande variété d'enseignements d'ouverture et de spécialisation, grâce à des passerelles entre formations et grâce à l'accompagnement des étudiantes et des étudiants selon leurs besoins méthodologiques et pédagogiques de manière à ce que leurs projets personnels d'études se construisent dans les meilleures conditions d'insertion.

C'est dans une dynamique collective des facultés, IUT, universités membres associées et grandes écoles que se construit un premier cycle innovant liant l'ambition d'excellence et de formation du plus grand nombre.

## L'engagement de l'Université sur la transition écologique et le développement soutenable

Dès sa création, l'Université Paris-Saclay a choisi d'investir ses forces sur des défis sociétaux majeurs tels que la transition écologique et le développement soutenable, ainsi que dans des missions de lutte contre les inégalités et les discriminations. Mettre en œuvre le développement soutenable, c'est considérer que le développement de nos sociétés et leurs économies doivent s'appuyer sur le principe des limites planétaires et de la non substituabilité des ressources issues de la biosphère, tout en garantissant l'équité sociale. Les actions entreprises par l'Université sur ce thème visent à la fois à la formation des étudiants, au développement d'activités de recherche et d'innovation, à la sensibilisation de tous les acteurs de l'établissement et à la mise en place de pratiques respectueuses de l'environnement.



**Le SPOC (Small Private Online Course) « Enjeux de la transition écologique »**, qui est décrit de façon synthétique dans ce livret, s'inscrit donc complètement dans cette volonté forte de notre établissement d'offrir à tous ses étudiantes et étudiants un socle de connaissances qui leur permettra d'agir pour un développement soutenable. Grâce au soutien de l'IDEX Paris-Saclay et à la constitution de l'École Universitaire de Premier Cycle, qui porte tous les types de diplômes de premier cycle, c'est ainsi la première fois en cette année universitaire 2020-2021 que cette thématique voit le jour à grande échelle dans les enseignements de notre Université. Je vous souhaite donc une excellente découverte des contenus de cette formation innovante !

**Sylvie Retailleau**  
**Présidente de l'Université Paris-Saclay**

# LE SPOC ENJEUX DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE : UNE UNITÉ D'ENSEIGNEMENT TRANSDISCIPLINAIRE

## A qui s'adresse cette formation ?

Porté par l'École Universitaire de Premier Cycle Paris-Saclay, cet enseignement obligatoire s'adresse à toutes les étudiantes et tous les étudiants de 2ème année de licence à l'université et peut être suivi par toutes les personnes de ce niveau ou d'un niveau équivalent.

Son principal objectif est de faire comprendre les mécanismes du réchauffement climatique et d'érosion de la biodiversité ainsi que leurs relations avec nos modes de vie et de consommation. Il propose aussi les actions possibles pour répondre à ces enjeux.

En cette première année 2020/2021, grâce à l'appui et au concours volontaire des responsables de licence, il a pu être suivi avec succès par plus de **2 000 étudiantes et étudiants** inscrits dans treize formations de licence différentes. L'extension progressive à toutes les licences de l'université est prévue dans les prochaines années.

L'enseignement se présente principalement sous forme numérique avec 60 vidéos, des questionnaires interactifs et des documents à lire. Il comporte aussi une part de travaux dirigés (TD) et de débats en amphithéâtre. L'ensemble représente un volume horaire de 18h dont 12h de vidéos et 6h de TD et débats en amphithéâtre.

Le contenu s'articule en quatre grandes parties, qui sont décrites dans la suite de ce livret et qui sont elles-mêmes divisées en sous-parties ou séances, chacune correspondant à une semaine d'apprentissage pour les étudiantes et les étudiants. Sanctionné par un examen final, cet enseignement permet à celles et ceux, qui l'ont suivi, d'obtenir 2 ou 3 ECTS selon les disciplines.

## Des animateurs experts

Initié grâce à l'impulsion de la vice-présidente Formation, Isabelle Demachy, le SPOC est coordonné par Jean-Michel Lourtioz, Directeur de recherche émérite au CNRS, en lien avec la Direction de l'Innovation Pédagogique de l'Université et plus particulièrement Aurélie Rousseau et Hugues Cazin. Y participent plus de 40 chercheurs et enseignants-chercheurs d'horizons différents allant des sciences exactes aux sciences humaines et sociales en passant par le droit, l'économie, la gestion et la médecine.

Les quatre grandes parties du SPOC impliquent plus particulièrement Jane Lecomte, écologue et vice-présidente Développement Soutenable de l'Université, Jeanne Gherardi, climatologue, et Guillaume Roux, physicien. Les travaux dirigés sont animés respectivement par Catherine Even, physicienne, Guillaume Roux, physicien, et Sophie Szopa, climatologue. Les débats sont menés par Valérie Masson-Delmotte, paléoclimatologue et co-responsable du groupe n°1 du GIEC, Améline Vallet, économiste, Jacques Treiner physicien et membre du Shift Project ainsi que Guillaume Roux, physicien. Citons aussi la participation de Jean-Christophe Bureau, économiste et professeur à AgroParisTech, l'agriculture, fil « rouge » du SPOC, étant de fait l'une des principales activités humaines qui a fait émerger nos sociétés modernes et est à l'origine de nouvelles interactions avec l'environnement.

Plus généralement, toutes les enseignantes et tous les enseignants, qui ont contribué au SPOC, sont cités au fil des paragraphes qui suivent. Leur liste complète est indiquée à la fin du livret. Un « e-book », aujourd'hui en préparation, rassemblera prochainement la totalité de leurs interventions.



©Christian Dao / Université Paris-Saclay



©iStock

# PARTIE I : CAUSES ANTHROPIQUES DES CHANGEMENTS GLOBAUX

Dans cette partie, qui couvre trois séances, les étudiantes et les étudiants découvrent les évolutions du climat et de la biodiversité sur notre planète depuis les premiers âges jusqu'aux changements accélérés des derniers siècles en mettant en parallèle le développement de notre société, sa gouvernance, son économie et sa régulation par le Droit. Sont ensuite illustrées les principales perturbations de notre environnement en relation avec notre consommation énergétique et nos modes de production. Des travaux dirigés permettent de quantifier ce qu'on appelle l'empreinte écologique des humains et un amphithéâtre débat porte sur l'évolution démographique à l'échelle mondiale. Ces parties interactives permettent de mettre en lumière la nature interdisciplinaire des questions soulevées par la notion d'Anthropocène.

## Systeme Terre, sociétés humaines et environnement (séance 1)

À la différence des autres planètes du système solaire, l'atmosphère terrestre est la condition qui a permis d'avoir une température moyenne relativement stable et modérée à la surface de notre planète et ce, depuis son origine. Gilles Ramstein montre qu'à l'échelle de la dizaine de millions d'années, les changements climatiques résultent du déplacement des continents, de l'équateur vers les pôles et vice versa. Les refroidissements ou les réchauffements sont cependant atténués par les variations de teneur en gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) de l'atmosphère.

Il montre ensuite qu'à l'échelle de la dizaine à la centaine de milliers d'années, les variations climatiques sont rythmées par les mouvements de la Terre sur son orbite autour du soleil. La Terre n'est pas toujours à la même distance du soleil et l'axe des pôles n'est pas toujours orienté de la même façon par rapport au plan de l'orbite. Ces variations conduisent à des alternances de périodes glaciaires avec de hautes calottes de glace aux pôles, et de périodes interglaciaires, plus chaudes, avec des calottes fortement réduites. En analysant la glace polaire dans sa profondeur, on a pu corréliser les variations de teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère avec les alternances glaciaire/interglaciaire.

C'est à la fin de la période glaciaire précédente, il y a environ 20 000 ans, que les humains ont pu se disperser sur toute la planète. Les sociétés se sont alors créées par sédentarisation en développant l'agriculture et l'élevage, mais ce n'est que depuis l'ère industrielle qu'un réchauffement climatique inédit s'est manifesté avec une accélération brutale en lien avec l'augmentation de la consommation de combustibles fossiles et des émissions de CO<sub>2</sub>. Les humains ont ainsi la capacité d'agir sur le climat et l'environnement, comme ils ont aussi su assujettir les non humains à leur intérêt, souligne Jane Lecomte.



De tout temps, les humains ont appliqué leur savoir pratique pour assurer leur existence, mais le fait de produire des biens et de les administrer collectivement s'est peu à peu décorrélé de la nécessité même de ces biens pour les individus, comme l'explique Jean-Paul Vanderlinden. Pendant les trente glorieuses, le modèle « fordiste » a reposé sur une organisation scientifique du travail avec redistribution des gains de productivité et régulation étatique. L'accumulation de biens, qui en a découlé au détriment de la nature, s'est alors traduite par de sérieuses alertes environnementales.

Les lois du marché et de l'économie tendent, en effet, à favoriser la dégradation de l'environnement. Le libre accès aux biens communs permet notamment une surexploitation des ressources, comme l'explique Jean-Christophe Bureau. Un marché non régulé contribue à ne pas valoriser ces biens (patrimoine, espaces naturels, qualité de l'eau et de l'air, etc.) alors même qu'ils participent aux projets économiques. Privilégier un bénéfice immédiat au lieu d'un bénéfice à long terme tend à dégrader l'environnement en laissant aux générations futures le soin d'y remédier.

De fait, l'exploitation des ressources naturelles dans nos sociétés consuméristes a été encadrée par le système juridique, comme l'indique Aude Farinetti. Les États disposent souverainement de leurs ressources tant qu'ils n'entravent pas d'autres États à disposer des leurs. Le droit inviolable et sacré de propriété, la liberté contractuelle et la liberté d'entreprendre permettent d'exploiter les ressources naturelles au niveau privé. Les causes juridiques aux changements globaux sont donc nombreuses. Des outils se mettent heureusement en place afin de les tempérer comme la Charte de l'environnement adossée à notre Constitution. Des institutions efficaces apparaissent comme un rempart nécessaire aux influences des groupes d'intérêt quels qu'ils soient.





## Énergies fossiles et pollutions (séance 2)

Comment lier de façon quantitative notre consommation d'énergie aux changements de notre environnement, aux pollutions de l'air, des eaux et des sols ? Catherine Even et Guillaume Roux nous rappellent que toutes les activités humaines mettent en jeu de l'énergie, qu'on peut exprimer, par exemple, en kilowatt-heure (kWh). Dans une voiture à essence, le pétrole est la source d'énergie primaire, l'essence obtenue par raffinage du pétrole produit l'énergie finale sous forme chimique, cette énergie est elle-même transformée par le moteur en énergie mécanique, l'énergie utile. Pour l'ensemble de ses activités, un français consomme en moyenne 70 kWh par jour dont 80% environ, électricité incluse, viennent de la combustion de sources fossiles (pétrole, charbon, gaz). La combustion des sources fossiles au niveau mondial contribue à près de 95% des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

Le pétrole représente aujourd'hui un tiers de l'approvisionnement mondial en énergie. Utilisé majoritairement dans les transports, il sert aussi au chauffage et dans la chimie. Frédéric Lantz nous apprend qu'aux ressources actuelles s'ajoutent des ressources non conventionnelles, maintenant exploitables par de nouveaux procédés technologiques. Cela étant, les réserves estimées les plus importantes (Arabie Saoudite, Vénézuéla et Canada) ne se limitent qu'à 50 ans de consommation de pétrole au rythme actuel. Cette consommation contribue non seulement aux émissions de gaz à effet de serre, mais est aussi responsable d'une partie de la pollution atmosphérique.

Trois types de composés sont émis dans l'atmosphère par les activités humaines :

- les gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, ...),
- des gaz réactifs, organiques ou inorganiques (ammoniac, ozone, oxydes d'azote ou de soufre ...),
- des particules en suspension ou aérosols.

Jean-Eudes Petit nous apprend que si les gaz à effet de serre restent longtemps dans l'atmosphère, les autres participent d'une chimie complexe. Les aérosols et les gaz réactifs, y compris l'ozone de la basse atmosphère, sont nocifs pour notre santé, alors que l'ozone de la haute atmosphère nous protège des rayons UV du soleil. Les polluants ont donc des influences complexes. À notre niveau, la seule action raisonnable est de contrôler leurs sources d'émission.

La pollution des eaux terrestres, superficielles et souterraines, est une autre menace sérieuse pour l'humanité. Les eaux captent non seulement les polluants de l'air, mais véhiculent aussi des rejets industriels, des polluants agricoles et des déchets urbains. Or, l'eau potable est précieuse, et peu de pays traitent les eaux usées. Yves Levi souligne que la pollution des eaux peut affecter notre patrimoine génétique ou perturber notre système endocrinien. En contaminant la faune et la flore, les eaux polluées détruisent la biodiversité et dégradent notre chaîne alimentaire. Protéger les ressources en eau est donc une nécessité qui passe par le contrôle de nos rejets et le traitement généralisé des eaux usées tout en réduisant l'épandage des boues de décantation dans les champs.



La pollution des sols accompagne souvent celle de l'eau tout en étant plus spécifiquement liée à l'agriculture et aux rejets industriels. L'agriculture intensive amène des pollutions chimiques en raison de l'utilisation massive d'engrais et de produits phytosanitaires, de même qu'elle contribue à l'appauvrissement des sols et à leur érosion. Selon Jean-Christophe Bureau, près de 80% des terres agricoles mondiales sont touchées par une érosion modérée ou sévère. Les sols appauvris, poreux et moins fertiles, perdent en retour leur capacité à recycler les polluants. Une grande partie des terres ainsi contaminées le resteront pour des centaines d'années avec des risques avérés pour la santé des populations.

Des sols fertiles, riches en nutriments, sont à l'inverse, essentiels pour stocker le carbone et capter celui rejeté dans l'atmosphère sous forme de gaz carbonique par les activités humaines. Christine Hatté nous apprend que chaque année, 10 gigatonnes (Gt) de carbone sont ainsi rejetées. Environ 2,5 Gt sont absorbées par les océans, 3 Gt le sont par la biosphère (la photosynthèse des plantes, en particulier), le reste (4,5 Gt) subsiste dans l'atmosphère. Le carbone se stocke dans les sols par la décomposition des feuilles et des écorces des plantes, ainsi que par la sécrétion de leurs racines. Une partie s'en échappe par la respiration des plantes elles-mêmes et celle des micro-organismes présents dans les sols. Il « suffirait » d'augmenter de 4,5 Gt le stockage du carbone dans les sols pour compenser toutes les émissions de CO<sub>2</sub> dues à nos activités.



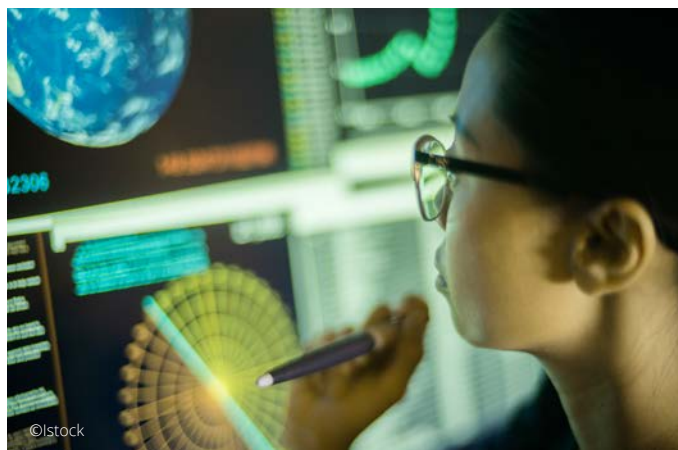
## Empreinte écologique des humains et démographie (séance 3)

Nous avons toutes et tous entendu parler du jour du dépassement de la Terre. Ce jour correspond à la date de l'année, calculée par l'ONG américaine Global Footprint Network, à partir de laquelle l'humanité est supposée avoir consommé l'ensemble des ressources que la planète est capable de régénérer en un an. Cette date tombe chaque année de plus en plus tôt. En 2020, elle est tombée le 22 août.

L'empreinte écologique est une méthode de calcul qui permet d'estimer la quantité de terre et d'eau nécessaire à la fois à la consommation et à l'absorption des déchets produits par un individu, une ville, une population... Calculer l'empreinte écologique sert donc à évaluer le poids que l'activité humaine fait peser sur l'environnement et permet d'estimer la durabilité de notre mode de vie actuel, par rapport aux ressources disponibles sur la planète.

Comme l'expliquent Catherine Even et Guillaume Roux dans le cadre de travaux dirigés, le calcul de l'empreinte écologique nécessite la prise en compte de deux concepts : la biocapacité et l'activité humaine. Les deux sont calculées en hectares puis converties en « hectares globaux ». La biocapacité désigne les capacités de la planète à fournir de l'eau, des terres et donc des matières premières, ainsi qu'à les régénérer et à absorber les déchets ou les rejets. Il s'agit des « surfaces bioproductives ». Par exemple, un champ produit des ressources alimentaires, une rivière de l'eau, une forêt fournit du bois et séquestre le CO<sub>2</sub> rejeté par les activités humaines. Les activités humaines, elles, englobent toutes les ressources consommées et les déchets générés par les humains. Il s'agit donc de l'eau, des terres et de matières premières utilisées pour répondre à un mode de vie, mais aussi des déchets produits et des gaz rejetés. Plus un être humain consomme, plus il utilise de ressources et plus il pollue.

Pour référence, l'empreinte écologique moyenne en France était en 2018 de 5,6 milliards d'hectares (hectares globaux) pour une biocapacité moyenne de 2,8 milliards d'hectares, soit un déficit de 2,8 milliards d'hectares. Catherine Even et Guillaume Roux montrent qu'en fait, l'empreinte carbone due aux émissions de CO<sub>2</sub> par les activités humaines domine l'empreinte écologique.



La croissance démographique n'est évidemment pas sans rapport avec l'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> dues aux activités humaines, et donc le réchauffement climatique et l'empreinte écologique. La population humaine, estimée à 1,13 milliard aux débuts de l'ère industrielle vers 1800, est passée à 7,8 milliards en 2020.

La croissance démographique soulève ainsi des peurs qui se cristallisent souvent autour des questions migratoires et des impacts environnementaux. Or, pour une grande part, l'accroissement de la population ne fait que résulter de l'accroissement de notre espérance de vie, dont nous sommes tous bénéficiaires, même si c'est à des niveaux divers suivant les différentes régions de la planète. Elle résulte de progrès qui ont été accomplis dans les domaines de la santé, de la technologie, des ressources alimentaires et des conditions de vie en général. En fin de compte, la situation est plus complexe qu'il n'y paraît.

C'est l'objet de l'amphi débat animé par Guillaume Roux et Jacques Treiner de montrer les principaux mécanismes de l'évolution démographique et de discuter des projections pour le 21<sup>ème</sup> siècle. En particulier, quelle vision peut-on avoir de l'évolution d'une population à partir d'indicateurs à un instant donné ? Comment se construit la pyramide des âges ? Comment peut-elle se stabiliser avec le développement d'une société ? Comment évolue le rapport entre la population d'hommes et celle de femmes ? Ce sont autant de questions qui sont illustrées et qui mettent bien en évidence la nature interdisciplinaire des études démographiques.

# PARTIE II : ÉROSION DE LA BIODIVERSITÉ

Cette deuxième partie, qui se déroule en deux séances, rentre de façon plus détaillée sur les mécanismes d'érosion de la biodiversité. Elle rappelle d'abord ce qu'est la biodiversité, sa dynamique, ce qu'elle représente comme valeurs, les services qu'elle rend aux humains et les menaces qui pèsent sur elle par nos modes de production et d'exploitation de la nature. Les étudiantes et les étudiants apprennent aussi comment suivre son évolution, celle des espèces qui la composent, rares ou abondantes, et comment placer les enjeux à court et long termes avec les enjeux climatiques.

## Biodiversité : définitions, richesses et menaces (séance 4)

Comme le rappelle Jane Lecomte, le terme de biodiversité est né d'un néologisme issu de "Biological Diversity". La diversité des organismes vivants se décline en trois niveaux : - la diversité génétique, qui est liée à la variation des individus au sein d'une même espèce, - la diversité spécifique, qui est la diversité des espèces elles-mêmes, - la diversité écosystémique que l'on associe aux communautés d'espèces interagissant entre elles. Plus de deux millions d'espèces ont été inventoriées en 2020.

Si l'on suit l'évolution des espèces par lignée, c'est-à-dire par ensembles d'individus issus d'un couple d'ancêtres déterminés, on réalise qu'il se crée constamment de nouvelles lignées et que des lignées existantes disparaissent. Comme le montre Pierre-Henri Gouyon, il n'y aurait pas de diversité si ces phénomènes antagonistes n'existaient pas. La biodiversité n'est donc pas une collection figée d'êtres vivants, mais est, au contraire, en constante évolution et nous en faisons partie.

Nicolas Delpierre illustre par le fonctionnement des forêts l'importance de la diversité des espèces dans la protection même des écosystèmes. La complémentarité d'arbres d'espèces différentes réduit, en effet, la compétition entre arbres d'une même espèce pour capter la lumière nécessaire à la photosynthèse. Elle facilite aussi la redistribution de l'eau entre les différentes plantes lors des périodes de sécheresse.

Les relations, que nous humains entretenons avec la nature, donnent lieu à différentes notions de valeurs ou d'éthiques environnementales. La valeur d'une espèce peut s'appréhender comme une valeur intrinsèque ou comme une valeur utilitaire (les services que nous en tirons). Ces deux notions coexistent et "nous avons quantité de raisons d'attribuer des valeurs à la nature" selon Catherine Larrère.

Le concept de services écosystémiques, à savoir les bénéfiques que les humains tirent d'écosystèmes, reprend ainsi l'aspect utilitaire de la nature en même temps qu'il montre la nécessité de la préserver. Comme le précise Améline Vallet, ces services peuvent être à la fois directs car découlant des fonctions écologiques de l'écosystème (ex : la pollinisation des plantes), ou indirects comme la production de bois par les forêts. Qu'ils soient directs ou indirects, ces services sont souvent multiples et mettent en valeur la multifonctionnalité de territoires.



De fait, si les activités humaines menacent aujourd'hui la biodiversité, la perte de biodiversité est en retour une menace pour les humains. C'est pourquoi des initiatives visent à la préserver en protégeant les espèces, qu'elles soient remarquables (ex : les pandas), domestiques (animaux d'élevage et plantes cultivées) ou simplement ordinaires. Jane Lecomte met notamment l'accent sur « l'écologie de la réconciliation » par le développement d'espaces de coexistence entre humains et non humains.

Parmi les menaces qui pèsent sur la biodiversité et les écosystèmes, les mauvais usages des sols et des mers arrivent en premier. On assiste, par exemple, à une diminution des forêts équatoriales ainsi qu'à une disparition des zones humides au profit d'une agriculture intensive qui fait usage d'engrais et pesticides. Comme le souligne Harold Levrel, une exploitation immodérée des mers s'est également développée avec des bateaux usines pouvant pêcher n'importe où à n'importe quelle profondeur.

La deuxième menace sur la biodiversité résulte de la surexploitation des ressources naturelles. Celle-ci peut se traduire par la disparition d'espèces ou même par la modification de tout un écosystème local. Un exemple emblématique est celui de l'Île de Pâques que les habitants ont fini par quitter suite à la surexploitation de palmiers. Ainsi que l'indique Emmanuelle Baudry, une ressource naturelle ne doit pas être prélevée à une vitesse supérieure à celle de son renouvellement.

Le réchauffement climatique est la troisième menace majeure sur la biodiversité. Comme le montre Paul Leadley, son ampleur force la plupart des espèces à se déplacer de leur aire de répartition pour fuir l'élévation de température. Sont alors menacées de disparition les espèces qui n'ont pas la capacité de suivre suffisamment vite les variations climatiques. Dans les milieux marins, c'est le cas des écosystèmes coralliens. Dans les milieux terrestres sont surtout concernés les arbres et les plantes herbacées.

Les pollutions représentent la quatrième menace sur la biodiversité. Souvent oubliée, la pollution lumineuse la nuit désoriente les oiseaux, piège les insectes et entraîne une surmortalité d'espèces terrestres ou marines. Plus reconnues, les pollutions chimiques peuvent engendrer une toxicité aiguë et conduisant à une mortalité rapide ou chronique et se développant à long terme. Selon Christian Mougin, la biomasse d'insectes volants a chuté de 75 % durant les 30 dernières années, principalement lié à l'utilisation des pesticides.

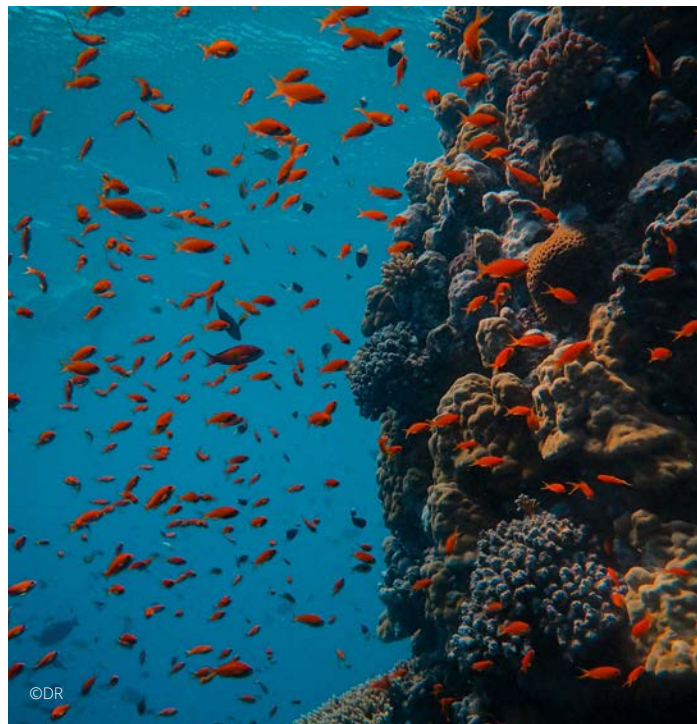


## Suivi et évolution de la biodiversité (séance 5)

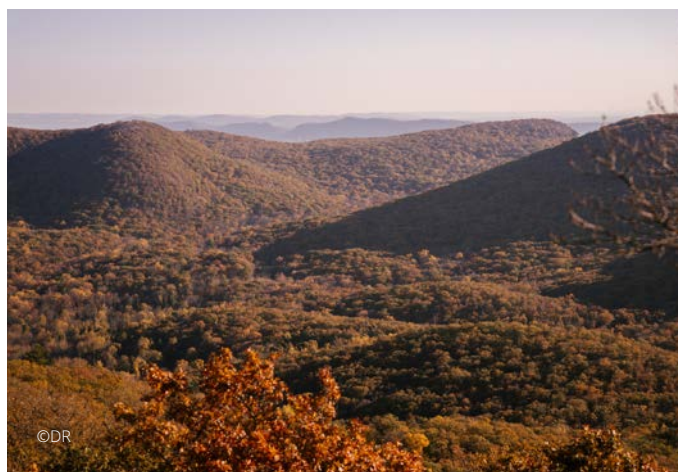
Autre menace sur la biodiversité, les espèces exotiques envahissantes, parfois introduites de façon accidentelle mais surtout amenées par les activités humaines, sont aujourd'hui responsables de l'extinction de près de 20% des espèces natives des écosystèmes de par le monde. Elsa Bonnaud cite en exemple la Perche du Nil qui, depuis son introduction dans le lac Victoria en Afrique de l'est, a simultanément entraîné l'appauvrissement en oxygène du lac et la disparition de 200 autres espèces.

A l'opposé, certaines espèces sont rares et menacées pour leur rareté. Soit elles sont vieillissantes ou, au contraire, jeunes, soit elles présentent une faible diversité génétique ou un manque de compétition avec les autres espèces. Elsa Bonnaud montre que moins une espèce est dense dans un lieu donné, moins elle tend à se reproduire et plus elle devient rare. Plus elle est rare, plus elle devient rentable et exploitée par les humains et donc encore plus rare, s'il n'y a pas de substitut à l'espèce en question.

L'homogénéisation est une autre forme de perte de biodiversité, que décrit François Chiron et qui s'ajoute à la disparition d'espèces rares et à la prolifération d'espèces envahissantes. Ainsi, l'uniformisation des villes et des périphéries urbaines tend à homogénéiser ou détruire les habitats écologiques, favorisant les espèces généralistes au détriment des espèces spécifiques d'un lieu donné. Le réchauffement climatique modifie aussi les habitats de ces espèces spécifiques qui ont du mal à s'adapter.



Observer la progression des espèces envahissantes, la disparition des espèces rares ou le phénomène d'homogénéisation n'est pas réservé qu'aux seuls spécialistes, comme l'indique François Chiron. Ainsi, les sciences dites participatives sont-elles ouvertes au grand public et à tous les acteurs de la biodiversité tels que les ONG pour répondre au besoin de données sur de grandes échelles spatiales et temporelles. Parfois critiquées en raison de l'inexpérience des participants, elles permettent au contraire le développement d'observatoires de la biodiversité, fiables et bien coordonnés, et favorisent les actions pour une meilleure gestion de la nature.



En parallèle, les scientifiques développent des modèles quantitatifs ou qualitatifs pour prédire les scénarios d'évolution possible de la biodiversité. Le modèle très utilisé de niche écologique permet, par exemple, de reproduire précisément l'évolution de l'aire de répartition du chêne sessile avec le changement climatique actuel. On peut alors prédire en confiance son évolution avec les changements futurs. Paul Leadley montre qu'appliqué à 1500 plantes en Europe, ce type de modèle prévoit une diminution de la richesse des espèces dans le sud et une augmentation de cette richesse dans le nord.

La confrontation des modèles de biodiversité aux modèles de réchauffement climatique met en évidence que des actions visant à réduire le réchauffement peuvent ne pas être bénéfiques à la biodiversité ou ne l'être que partiellement. Le développement de la bioénergie fait partie de ces actions contrastées, car les très grandes cultures de palmiers appauvrissent les sols. De même, la reforestation n'a pleinement son intérêt que si le repeuplement se fait au profit d'arbres endogènes, indique Paul Leadley. Heureusement, d'autres actions comme la réduction du gaspillage alimentaire sont à la fois bénéfiques à la biodiversité et à la réduction du réchauffement climatique.

Il est intéressant de voir comment certains écosystèmes peuvent s'adapter au réchauffement climatique. L'exemple pris par Nicolas Delpierre est celui de la feuillaison des arbres. On constate qu'avec un printemps précoce, les feuilles des arbres apparaissent plus tôt et qu'avec un automne tardif, les arbres perdent leurs feuilles plus tard. Les décalages temporels s'atténuent cependant après plusieurs années consécutives d'ensoleillement. Il y a ainsi une perte de sensibilité des arbres aux températures élevées et donc une forme d'adaptation à ces températures. Cela étant, de trop longues périodes d'ensoleillement restent une menace sérieuse pour les arbres.

En absorbant le CO<sub>2</sub>, les écosystèmes, les forêts notamment, atténuent le réchauffement climatique en cours. Sous ensoleillement la photosynthèse contribue effectivement à l'absorption du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère et à la croissance des arbres. Inversement, la nuit ou lorsque les arbres ont perdu leurs feuilles en hiver, les arbres produisent du CO<sub>2</sub>. Malgré cette alternance de situations, que Nicolas Delpierre appelle « le souffle de l'écosystème », le bilan annuel est favorable : les forêts absorbent majoritairement le CO<sub>2</sub> de l'air. Toutefois, la fixation de carbone par les forêts tend à diminuer avec les étés de plus en plus chauds et de plus en plus secs.



# PARTIE III : LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Cette troisième partie, répartie en deux séances, explique tout d'abord aux étudiantes et étudiants les mécanismes d'effet de serre ainsi que les indicateurs et modèles scientifiques qui permettent de prédire les scénarios climatiques pour l'avenir. Dans les travaux dirigés, on leur apprend ensuite comment se détermine le « budget carbone restant » et ce qu'il signifie. Les étudiantes et les étudiants découvrent aussi les rôles que jouent l'agriculture, les forêts, les prairies dans le changement climatique. On leur explique le rôle du gaz carbonique dans l'acidification des océans et les menaces que le réchauffement fait peser sur les écosystèmes marins. Cette partie se termine par une analyse de l'impact du changement climatique sur la santé humaine ainsi que par une présentation du GIEC et de ses missions.

## Le système climatique et les modèles climatiques (séance 6)

Mieux comprendre les causes du changement climatique nécessite d'abord de comprendre comment fonctionne le système climatique de notre planète. Marc Delmotte nous décrit ainsi les composantes du système climatique et leurs rôles respectifs dans la redistribution de l'excédent de chaleur reçu du soleil dans les zones intertropicales. L'atmosphère réagit par la formation de nuages, les vents qui les transportent, et les précipitations. Les océans transportent des courants chauds en surface et des courants froids en profondeur. La biosphère, tout comme les océans, régule la teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. La cryosphère modifie le pouvoir réflecteur (l'albédo) de la surface de la Terre, là où elle est présente.

Outre l'azote et l'oxygène, l'atmosphère est composée de gaz en faible quantité, dont les gaz à effet de serre : la vapeur d'eau, le gaz carbonique CO<sub>2</sub>, le méthane CH<sub>4</sub>, le protoxyde d'azote N<sub>2</sub>O et les chlorofluorocarbures CFC. De loin le plus important après la vapeur d'eau, le CO<sub>2</sub> décrit un cycle naturel d'émission-absorption. Aujourd'hui majoritairement émis par les activités humaines, il est en partie réabsorbé par les océans et la végétation. Sans les gaz à effet de serre, la Terre serait une planète extrêmement froide, car ce sont eux qui retiennent une partie de la chaleur rayonnée par la Terre vers l'espace.

Tous les corps émettent en effet un rayonnement qui dépend de leur température. Le soleil chaud émet un rayonnement principalement dans le visible, qui se trouve en partie absorbé par la Terre et en partie réfléchi par elle.

Celle-ci, plus froide, émet un rayonnement dans l'infrarouge qui est absorbé par l'atmosphère, laquelle réchauffe en retour la surface de la Terre : c'est l'effet de serre.

La température d'équilibre dépend du bilan entre l'énergie reçue du soleil et celle renvoyée vers l'espace par la Terre.

Comme le souligne Marielle Sauniois, toute modification de cet équilibre entraîne un changement de la température et du climat.

On est aujourd'hui capable de mesurer les quantités des gaz présents dans l'atmosphère sur des périodes bien antérieures à l'ère industrielle. Le CO<sub>2</sub> est bien le premier gaz à effet de serre en lien avec les activités humaines, suivi par le méthane, l'ozone, les CFC et le protoxyde d'azote.

L'augmentation des concentrations de ces gaz à effet de serre est responsable de ce qu'on appelle l'effet de serre additionnel et donc du réchauffement climatique.

Le changement climatique ne s'identifie pas simplement aux changements journaliers de la météo, mais il est un état moyen de la météorologie mesuré sur plusieurs décennies.

Comme l'indique Marc Delmotte, pour suivre l'évolution du climat, il faut disposer de réseaux d'observation et de mesure à grande échelle et être capable de reconstituer les variations climatiques passées à partir d'archives naturelles ou humaines, ce qu'on appelle la paléoclimatologie.

Il faut enfin savoir simuler les climats passés et récents à partir de modèles numériques pour prévoir le climat futur avec une fiabilité suffisante.



On sait, par exemple, que les périodes chaudes et moins chaudes marquant les phases glaciaires et interglaciaires du quaternaire se sont succédé au rythme de quelques dizaines à la centaine de milliers d'années. C'est l'analyse combinée d'un grand nombre d'archives climatiques qui a permis la connaissance précise du climat passé.

L'évolution de la température des océans peut notamment être déduite du rapport magnésium sur calcium contenu dans des organismes marins, comme l'explique Jeanne Gherardi. L'évolution de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère comme le CO<sub>2</sub> depuis 800 000 ans peut se reconstituer à partir de l'analyse des glaces de l'Antarctique.

Ces résultats sont utiles pour évaluer la justesse des modèles climatiques, que l'on construit à partir des lois physiques régissant le système climatique et ses composantes. Comme le souligne Jérôme Servonnat, de par la complexité des phénomènes mis en jeu, il n'y a pas un modèle mais des modèles que l'on enrichit régulièrement et que l'on confronte les uns aux autres. Un modèle particulier peut, par exemple, être plus à même de reproduire un phénomène climatique spécifique tel que la fréquence des pluies dans une région d'Afrique. Cela étant, quelle que soit leur spécificité, tous les modèles prédisent un réchauffement de la Terre si l'on augmente la concentration des gaz à effet de serre.

Les modèles permettent aussi de répondre à des questions que l'on se pose sur l'évolution future du climat, en particulier comment les activités humaines vont influencer sur cette évolution. Pour cela, il faut au préalable traduire les activités humaines, envisagées dans tel ou tel scénario socio-économique, en termes d'échanges énergétiques, car ces échanges sont la clef du changement climatique, souligne Pascale Braconnot. Sur chaque portion du globe terrestre, on doit aussi préciser si on a de la végétation, de l'agriculture ou toute autre condition qui peut modifier l'évaporation des sols. En retour, il faut garder en mémoire le choix des hypothèses, car les résultats du modèle et les réponses aux questions, que l'on se pose, en dépendent.



## Le réchauffement climatique et ses impacts (séance 7)

Marielle Saunio nous rappelle qu'hormis les CFC (chlorofluorocarbones) produits presque exclusivement par l'industrie du froid, les autres gaz à effet de serre sont émis par l'ensemble de nos activités. Les émissions de CO<sub>2</sub> sont essentiellement dues à la combustion des énergies fossiles dans les transports, l'industrie et le chauffage.

Parmi les pays développés ou émergents, l'Amérique du Nord (USA) est aujourd'hui le plus gros émetteur de CO<sub>2</sub> par habitant. En revanche, la Chine est le plus gros émetteur pour l'ensemble de sa population.

Les émissions du CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O viennent essentiellement de l'agriculture et de l'élevage.



L'agriculture, l'élevage, l'exploitation du bois, le drainage des marais, etc. contribuent à 23% des émissions mondiales cumulées de CO<sub>2</sub>, de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O.

Fort heureusement, les écosystèmes terrestres captent et piègent pour le moment 29% du CO<sub>2</sub> émis, si bien que leur bilan est globalement positif (retrait de l'atmosphère) pour ce gaz. En revanche, il est négatif (émissions vers l'atmosphère) pour le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O. En fait, les écosystèmes terrestres n'échangent pas que des gaz à effet de serre avec l'atmosphère mais aussi de l'énergie.

Quand on coupe une forêt, on assèche l'atmosphère et on la refroidit en altitude.

Au final, explique Nathalie de Noblet, on modifie surtout le climat des régions voisines en modifiant la température et la teneur en eau des masses d'air en circulation.

Plus encore que l'élévation de température moyenne, l'impact du changement climatique sur les écosystèmes tient surtout à la modification des cycles saisonniers, à l'irrégularité des ressources en eau et à la récurrence d'événements extrêmes. On constate que les cycles de croissance de la végétation naturelle s'allongent alors que ceux des cultures agricoles (blé, maïs, vigne...) raccourcissent. On constate aussi que les extrêmes de température ou de précipitation s'intensifient.

Le climat perturbe la végétation, mais cette dernière affecte en retour le climat.

A l'échelle d'une région, conclut Nathalie de Noblet, le climat dépend à la fois des émissions de gaz à effet de serre et de la réponse de la végétation.



L'augmentation du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère représente une menace pour les organismes marins. Son absorption par les océans conduit, en effet, à l'acidification de l'eau.

Comme l'explique Laurent Bopp, cette acidification se fait au détriment de la production d'ions carbonates nécessaires à la croissance des coraux et des petits organismes marins à la base de la chaîne alimentaire de la faune marine.

Une autre menace pour une partie de la faune vient de la désoxygénation de l'eau de mer, due à l'élévation de température moyenne.

Corriger artificiellement l'acidification ou la perte d'oxygène n'est envisageable que sur de très petites échelles. Réduire nos émissions de CO<sub>2</sub> reste la seule vraie solution.

L'élévation des températures a un impact direct sur la santé humaine. L'élévation de température moyenne de 1°C, qui a été observée au cours des dernières décennies et qui s'est traduite par des extrêmes de température très prononcés, a déjà entraîné une augmentation de la mortalité pour toutes les tranches d'âge avec une accentuation possible dans des cas de co-morbidité. Selon Rémy Slama, les études menées à partir de modèles climatiques prédisent, pour les décennies à venir, une aggravation de cette mortalité aux températures élevées en Europe du sud. On s'attend, par ailleurs, à une réduction, mais de moindre amplitude, de la mortalité aux températures froides.

Les maladies à transmission vectorielle, c'est-à-dire véhiculées par des espèces invasives (moustiques, tiques, puces,...), peuvent être une autre menace sur la santé, car favorisées, comme toutes les épidémies, par les activités humaines et les échanges entre les différentes régions du monde. Ces maladies représentent une part non négligeable des maladies infectieuses. On pourrait s'attendre à ce que le changement climatique accroisse leur importance, mais comme l'indique Cécile Tran Kiem, les études sur le sujet méritent encore d'être intensifiées.

Toutes les études scientifiques en lien avec le changement climatique sont évaluées par le GIEC ou Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Constitué d'un très large panel d'experts internationaux, le GIEC produit régulièrement des rapports qui relatent les avancées des études. Les experts relecteurs et les gouvernements des États membres sont invités à commenter les contenus de chaque version du rapport avant publication ainsi que leur cohérence. Ainsi, ces rapports constituent-ils une base robuste pour la mise en place de politiques pour faire face aux impacts du réchauffement climatique.



## Combien de carbone nous reste-t-il à émettre ? (séance 7bis)

Les conséquences du réchauffement climatique sur la sécurité alimentaire et les systèmes de production alimentaire sont à considérer en priorité. Un rapport spécial du GIEC permet d'évaluer les risques encourus dans différents secteurs de production alimentaire et pour différentes régions du monde selon le niveau d'élévation de la température moyenne. On estime aujourd'hui à 1°C l'élévation de température moyenne depuis le début de l'ère industrielle. La pêche et l'aquaculture sont déjà confrontées à des risques importants, accrus par l'acidification des océans. Ces risques devraient augmenter de façon dramatique à 1,5°C et pire encore à 2°C. Les cultures céréalières deviendront aussi sérieusement menacées à ces niveaux d'élévation de température, en particulier dans certaines régions d'Afrique, d'Asie du sud-est ou d'Amérique du sud. Il est donc important d'estimer la quantité de CO<sub>2</sub> restant à émettre pour ne pas dépasser ces niveaux déjà critiques. Les modèles climatiques, qui prennent en compte les éléments du cycle du carbone, permettent, en effet, de quantifier la relation liant la teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub> à l'augmentation de la température de surface. Il existe, par ailleurs, une relation de proportionnalité entre la quantité de CO<sub>2</sub> émise et la quantité de CO<sub>2</sub> qui s'accumule dans l'atmosphère.

C'est l'objet des travaux dirigés, qu'encadre Sophie Szopa, tout d'abord de faire appréhender les risques que fait peser le réchauffement climatique sur la production alimentaire, puis d'obtenir à partir de courbes publiées une estimation du carbone qu'il reste à émettre pour atteindre des élévations de température moyenne de 1,5°C et de 2°C. Les chiffres trouvés sont alors confrontés aux émissions annuelles mondiales de CO<sub>2</sub> que les pays signataires de la convention des Nations Unies sur le Changement Climatique se sont engagés à ne pas dépasser d'ici 2030. Différentes options sont enfin présentées pour réduire suffisamment les émissions de CO<sub>2</sub> afin de ne pas dépasser les seuils d'élévation de température de 1,5°C, voire de 2°C.



# PARTIE IV : S'ADAPTER ET AGIR FACE AUX CHANGEMENTS GLOBAUX

La dernière partie traite d'abord des transformations de société et de gouvernance que suppose la mise en place d'un processus d'adaptation aux changements globaux. Elle décrit ensuite les actions possibles pour freiner le réchauffement climatique et préserver la biodiversité : comment agir sur l'agriculture et l'alimentation, comment agir sur l'habitat, les transports, les modes de consommation et la production d'énergie, comment agir directement sur les émissions de CO<sub>2</sub>. Les étudiantes et les étudiants peuvent ainsi réaliser que des compromis sont toujours à faire dans nos choix technologiques, économiques et sociétaux. Cette partie se termine par un amphithéâtre débat sur la notion d'une « transition écologique juste » qui est aussi l'occasion de réduire les inégalités.

## S'adapter au changement climatique (séance 8)

Pour s'adapter à un changement d'ampleur, il faut non seulement prendre en compte la situation présente, mais aussi anticiper ses évolutions possibles. L'anticipation est évidemment source d'incertitude comme l'est aussi le choix des mesures prises pour réduire les impacts du changement. Selon Jean-Paul Vanderlinden, la seule certitude est qu'il faut se donner les moyens de financer des mesures et de les intégrer à une planification à la fois publique, privée et multisectorielle. Les mesures dépendront forcément des lieux et des contextes de leur application. Parce que les changements climatiques résultent des activités humaines, ces mesures toucheront forcément à nos modes de vie et de consommation. Elles contribueront donc, comme le souligne Yorghos Remvikos, à une transformation profonde de nos sociétés.

Dans cette transformation, la prise en compte des vulnérabilités devrait contribuer à réduire les inégalités, souligne Jean-Paul Vanderlinden. Des personnes vulnérables se trouvent en situation de risque accru dès lors qu'elles sont exposées à des événements extrêmes (tempêtes, inondations, canicules, ...).

Pour prévenir de telles situations, des études sont à mener afin d'identifier les personnes concernées ainsi que les lieux de vulnérabilité et d'exposition. Des cartes d'exposition, de vulnérabilité et donc de niveaux de risque sont à établir à partir d'indicateurs choisis préalablement.

L'analyse de risque ainsi effectuée permet alors de planifier l'adaptation face au changement climatique. Pour être efficaces, les actions d'adaptation doivent s'articuler avec les politiques publiques existantes, souligne Charlotte Da Cunha. En France, la planification s'inscrit dans les PCEAT (Plans Climat, Air, Energie, Territorial) qui sont aujourd'hui obligatoires pour l'ensemble des intercommunalités de plus de 20 000 habitants. Des défis restent néanmoins posés pour optimiser la concertation d'un secteur à l'autre, d'un territoire à l'autre, des territoires aux instances gouvernementales et des parties prenantes en général.

D'autres défis se trouvent posés en termes de décision politique. S'adapter au changement climatique nécessite une politique de long terme alors que les élus sont plutôt amenés à décider du court terme. Substituer aux élus des groupes d'experts scientifiques n'est pas la solution, même si la décision politique doit s'appuyer sur un haut niveau scientifique. En revanche, il importe d'intégrer les contraintes écologiques identifiées par les scientifiques dans les normes juridiques. Comme l'indique également Raphaël Brett, une plus grande participation de la société civile est aussi à préconiser, ce qu'on appelle la démocratie participative. Toutefois, la bonne formule reste à trouver. Il est clair que pour délibérer rationnellement des enjeux écologiques, les citoyens doivent avoir bénéficié au préalable d'une « éducation écologique ».

Dans le domaine de la santé, les principales mesures d'adaptation au réchauffement climatique ont eu pour objectif, jusqu'à présent, de faire face aux jours de températures élevées et aux canicules. Les études semblent montrer que le risque de mortalité relatif aux températures élevées a régulièrement diminué depuis le début du 20ème siècle. En fait, ces résultats sont « en demi teinte » selon Rémy Slama. D'une part, le risque de mortalité est évalué à une température donnée (par exemple 25°C) alors que le nombre de jours pour lesquels cette température est dépassée, croît régulièrement. D'autre part, on note l'utilisation massive de climatiseurs qui se fait au détriment de l'environnement et aggrave les effets de réchauffement. D'autres solutions sont donc à préconiser. En ville, on peut citer le développement d'espaces verts et d'espaces bleus, l'adaptation des habitats et l'augmentation de l'albédo relatif aux habitats et aux voies urbaines.

Dans le domaine de l'agriculture, le monde agricole doit s'adapter aux sécheresses à répétition alors que l'agriculture est la principale consommatrice des ressources en eau. L'irrigation des cultures n'est pas la solution idéale, pointe Jean-Christophe Bureau, car on vient puiser dans les rivières et les nappes phréatiques en aggravant en retour le phénomène de sécheresse et en créant des problèmes de pollution en amont des bassins d'irrigation. Une meilleure solution à terme consiste à cultiver des plantes peu gourmandes en eau sans pour autant passer par une modification artificielle de leur génome. Une solution complémentaire consiste à utiliser des plantes aux racines profondes pour stocker le carbone dans le sol et favoriser le stockage de l'eau. Cette solution s'apparente à l'agroforesterie, c'est-à-dire l'introduction d'arbres parmi les cultures. En effet, les arbres stockent encore plus de carbone dans le sol et favorisent la propagation des pluies par les mécanismes de respiration.



## Agir face aux changements de la biodiversité et du climat (séance 9)

Restaurer la biodiversité revient à décider des espaces de liberté que nous souhaitons laisser à la nature, et non pas à agir directement sur ces espaces. La nature s'adapte et se renouvelle pour peu qu'on la laisse faire et qu'on la protège. La loi de protection de la nature de 1976 a été un tournant en France avec la réapparition progressive de la faune et de la flore dans des espaces protégés. La biodiversité est une dynamique entre organismes vivants, et les humains ont à expérimenter pour trouver une alliance avec le monde "sauvage".

Comme l'expliquent Jane Lecomte et Nathalie Frascaria, notre intérêt est d'accompagner la libre évolution de la biodiversité en maîtrisant l'urbanisation et en réduisant les pratiques intensives de l'agriculture. En milieu rural, plus de haies et de bosquets favorise la circulation de la faune et limite l'érosion des sols. Plus de cours d'eau connectés aux zones de crue limite les inondations et favorise les zones humides qui piègent le carbone dans le sol. En ville, plus de végétation améliore le cadre de vie et concentre des îlots de fraîcheur l'été en réduisant les pollutions. Trames vertes et trames bleues constituent ainsi des infrastructures essentielles à toutes les formes de vie.

L'agriculture biologique respecte ce type d'infrastructure, car elle respecte les cycles biologiques, les changements de saison et la rotation des cultures en supprimant ou réduisant l'utilisation d'engrais et de pesticides. Cependant, selon Jean-Christophe Bureau, son rendement de production agricole a priori plus faible doit être compensé par un changement des demandes des consommateurs. Autrement, on court le risque d'accroître les surfaces cultivées ou d'augmenter l'importation de produits agricoles.



Dans les pays industrialisés, Thierry Brunelle explique que ce changement passe par une consommation alimentaire où l'on réduit les protéines et calories obtenues à partir des transformations animales. Les émissions associées à la production de viandes rouges sont bien supérieures à celles associées à la production de plantes ou de fruits pour la même teneur en protéines. Dans l'élevage de bovins, ces émissions sont essentiellement dues au processus de digestion des ruminants. Ainsi, sans recourir à des pratiques végétariennes, une consommation modérée de viande réduirait de plusieurs gigatonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> les émissions de gaz à effet de serre. Une autre réduction attendue est de réduire les pertes et gaspillages qui représentent 30% de la production alimentaire.

Dans un autre domaine, le chauffage des habitats et l'usage des transports restent des causes importantes, sinon majoritaires, de nos émissions de gaz à effet de serre. Un chauffage plus économe repose sur l'usage de chaudières à meilleur rendement ainsi que sur un habitat bien isolé thermiquement. Dans les transports, l'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> résulte, selon Franck Richecœur, du transport routier, de l'augmentation de la population et du nombre de kilomètres parcourus par habitant. Les progrès technologiques ont certes permis de réduire les consommations de carburant par véhicule mais sans compenser l'augmentation globale. L'arrivée des véhicules électriques suscite beaucoup d'espoir mais nécessitera, pour être efficace, une refonte complète des infrastructures de la production et du stockage de l'électricité.



Les sources de production d'énergie sont au cœur du développement durable. Les énergies renouvelables (EnR) et l'énergie nucléaire sont les seules à n'émettre que très peu de CO<sub>2</sub>. À ce jour, le bois et la biomasse restent encore les principales sources d'énergie renouvelable mais, selon Jean-Michel Lourtioz, la part croissante de l'éolien et du solaire photovoltaïque permet d'estimer à plus de 20% la contribution des EnR à la production mondiale d'énergie d'ici 2030-2040. Si l'un des principaux inconvénients de l'éolien et du solaire reste leur intermittence, les centrales nucléaires sont pilotables et produisent un flux continu d'énergie. Le nucléaire est en France la principale source de production d'électricité. Cependant, les déchets radioactifs issus de la réaction nucléaire ne sont pas sans risques pour les populations. Ainsi, selon Laurent Audouin, si le nucléaire est un outil de choix pour produire l'électricité sans émission de CO<sub>2</sub>, son acceptabilité est en recul dû à sa complexité et la difficile gestion des déchets.

La transformation de nos modes de vie et de consommation est aussi au cœur du développement soutenable. Déjà évoquée à propos de notre consommation alimentaire et de nos dépenses de chauffage ou de transport, cette transformation passe par la sobriété énergétique et une consommation réduite de produits inutiles ou peu utiles. On peut aussi privilégier des solutions énergétiques encore insuffisamment mises en œuvre comme la pompe à chaleur pour le chauffage et dont le rendement peut approcher 300%. François-Marie Bréon insiste ainsi sur l'intérêt de l'électricité comme source secondaire d'énergie pourvu qu'elle soit produite de façon décarbonée. Applicable à tous les usages, sa seule difficulté notable reste dans les technologies de stockage.

Dans une autre perspective, Catherine Even évoque les notions de géo-ingénierie et d'émission négative de CO<sub>2</sub>, l'idée étant d'agir sur les concentrations de CO<sub>2</sub> et le bilan radiatif de la Terre de façon plus directe en complément des baisses d'émissions de gaz à effet de serre. La géo-énergie consiste, par exemple, à agir sur les couches de la haute atmosphère pour modifier le rayonnement solaire sur terre. L'émission négative consiste à absorber directement le CO<sub>2</sub> émis dans l'atmosphère ou à le capturer avant qu'il ne soit émis. La photosynthèse est un exemple naturel de processus de captation du CO<sub>2</sub>. Planter des arbres grâce à l'afforestation et la reforestation est donc, en soi, une émission négative. Stocker dans le sol le CO<sub>2</sub>, qu'on pourrait capturer lors de la production d'énergie à partir de la biomasse, fait également partie des solutions pour obtenir des émissions négatives.





## Transition écologique juste (séance 10)

Cet amphithéâtre débat est animé par Valérie Masson-Delmotte, chercheuse CEA au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (Institut Pierre Simon Laplace, Université Paris Saclay) et Améline Vallet, chercheuse au laboratoire Ecologie Systématique Evolution et au Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement.

Le débat a pour objectif de sensibiliser les étudiantes et les étudiants aux questions d'éthique, de justice et d'équité dans la transition écologique. En s'appuyant sur des exemples tels que la transition bas carbone, les stratégies d'adaptation au changement climatique, ou la gestion des services écosystémiques et de la biodiversité, les deux intervenantes apportent des éléments d'éclairage sur les questions suivantes : Qu'entend-on par justice climatique ou environnementale ? Par la notion de "transition juste" ? Quelles sont les inégalités que peuvent générer ou renforcer les politiques environnementales ? Quels sont les grands principes d'une transition écologique juste et perçue comme juste ? Quels outils et solutions permettent de mieux prendre en compte les perspectives d'équité et les inégalités dans la mise en œuvre de la transition écologique ?

C'est aussi l'occasion de réfléchir aux mouvements sociaux qui ont récemment émergé en réponse à des politiques publiques visant à mettre en place une taxe carbone (par exemple, le mouvement des gilets jaunes en France et des mouvements analogues en Australie).

Les interventions de Valérie Masson-Delmotte et d'Améline Vallet s'appuient sur les récents rapports du GIEC et de l'IPBES, tout particulièrement le rapport sur 1,5°C de réchauffement planétaire de 2018 ([www.ipcc.ch/report/SR15](http://www.ipcc.ch/report/SR15)) et l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques de 2019 (<https://www.ipbes.net/global-assessment>); ainsi que sur la section "transition juste" du dernier rapport annuel du Haut conseil pour le climat ([hautconseilclimat.fr](http://hautconseilclimat.fr)).



©Istock

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

---

L'expérience réalisée à l'Université Paris-Saclay en 2020-2021 montre que l'on peut enseigner la transition écologique dans le cadre d'un enseignement obligatoire à grande échelle en faisant comprendre au plus grand nombre d'étudiantes et d'étudiants, dès les premières années d'université, les mécanismes du réchauffement climatique et d'érosion de la biodiversité ainsi que leurs relations avec nos modes de vie et de consommation. La bonne moyenne obtenue par l'ensemble des étudiants à l'examen final, sans que cet examen ne soit particulièrement facile, montre que les connaissances du cours ont été bien assimilées.

Cette expérience sera poursuivie et étendue à un nombre croissant d'étudiantes et d'étudiants dans les prochaines années en la faisant bien sûr progresser et en y apportant les améliorations nécessaires. Les nombreux commentaires recueillis auprès du public étudiant tout au long des dix séances (de l'ordre de 300 en moyenne par séance) de même que les commentaires des enseignantes et enseignants du SPOC et ceux des responsables des différentes filières de licence contribueront à cette évolution progressive pour ces prochaines années.



Cet enseignement commun à toutes les licences se veut un socle de base sur lequel les équipes pédagogiques pourront développer et approfondir d'autres enseignements et activités de formation disciplinaires ou pluridisciplinaires en lien avec la transition écologique, au cours des cycles licence. En master, l'Espace Pédagogique Commun sur l'Environnement constitué de conférences, d'enseignements et d'activités de projet, partagé entre 9 mentions de master depuis 2015 sera enrichi et ouvert à toutes les étudiantes et tous les étudiants qui le souhaitent.



# LISTE DES ENSEIGNANTES ET DES ENSEIGNANTS QUI ONT CONTRIBUÉ AU SPOC

Laurent Audouin, Enseignant-chercheur, Université Paris-Saclay  
Emmanuelle Baudry, Enseignante-chercheuse, Professeure, Université Paris-Saclay  
Elsa Bonnaud, Enseignante-chercheuse, Université Paris-Saclay  
Laurent Bopp, Directeur de Recherche CNRS  
Pascale Braconnot, Directrice de Recherche CEA  
François-Marie Bréon, Directeur de Recherche CEA  
Raphaël Brett, Enseignant-chercheur, Université Paris-Saclay  
Thierry Brunelle, Chercheur CIRED  
Jean-Christophe Bureau, Enseignant-chercheur, Professeur, AgroParisTech  
François Chiron, Enseignant-chercheur, AgroParisTech  
Charlotte Da Cunha, Enseignante-chercheuse, Université de Versailles Saint-Quentin  
Marc Delmotte, Ingénieur de Recherche CNRS  
Nicolas Delpierre, Enseignant-chercheur, Université Paris-Saclay  
Nathalie de Noblet-Ducoudré, Directrice de Recherche CEA  
Catherine Even, Enseignante-chercheuse, Université Paris-Saclay  
Aude Farinetti, Enseignante-chercheuse, Université Paris-Saclay  
Nathalie Frascaria, Enseignante-chercheuse, Professeure, AgroParisTech  
Jeanne Gherardi, Enseignante-chercheuse, Université de Versailles Saint-Quentin  
Pierre-Henri Gouyon, Professeur, Muséum National d'Histoire Naturelle  
Christine Hatté, Directrice de Recherche CEA  
Frédéric Lantz, Professeur, IFP-School  
Catherine Larrère, Enseignante-chercheuse, Professeure, Université Panthéon Sorbonne  
Paul Leadley, Enseignant-chercheur, Professeur, Université Paris-Saclay  
Jane Lecomte, Enseignante-chercheuse, Professeure, Université Paris-Saclay  
Yves Levi, Enseignant-chercheur, Professeur, Université Paris-Saclay  
Harold Levrel, Enseignant-chercheur, Professeur, AgroParisTech  
Jean-Michel Lourtioz, Directeur de Recherche émérite CNRS  
Valérie Masson-Delmotte, Directrice de Recherche CEA  
Christian Mougin, Directeur de Recherche INRAE  
Jean-Eudes Petit, Ingénieur de Recherche CEA  
Gilles Ramstein, Directeur de Recherche CEA  
Yorghos Remvikos, Enseignant-chercheur, Professeur, Université de Versailles Saint-Quentin  
Franck Richecœur, Enseignant-chercheur, Professeur, Centrale-Supélec  
Guillaume Roux, Enseignant-chercheur, Université Paris-Saclay  
Marielle Saunois, Enseignante-chercheuse, Université de Versailles Saint-Quentin  
Jérôme Servonnat, Chercheur CEA  
Rémy Slama, Directeur de Recherche Inserm  
Sophie Szopa, Directrice de Recherche CEA  
Cécile Tran Kiem, Chercheuse doctorante, Institut Pasteur  
Jacques Treiner, Professeur honoraire, Shift Project  
Améline Vallet, Chercheuse, AgroParisTech  
Jean-Paul Vanderlinden, Enseignant-chercheur, Professeur, Université de Versailles Saint-Quentin

# LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ENSEIGNÉE AUX ÉTUDIANTES ET ÉTUDIANTS DE LICENCE DE L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

---

Direction de la Publication : [Sylvie Retailleau](#)  
Comité de rédaction : [Jean-Michel Lourtioz](#), [Isabelle Demachy](#) et [Jane Lecomte](#)

Impression : [Imprimerie Champagnac](#) - 5 Rue Félix Daguerre, 15000 Aurillac  
***Document imprimé sur papier en provenance de forêts gérées durablement, 100% PEFC avec des encres végétales.***

## Plus d'informations :

[Jean Michel Lourtioz](#) - [jean-michel.lourtioz@universite-paris-saclay.fr](mailto:jean-michel.lourtioz@universite-paris-saclay.fr)  
[Hugues Cazin](#) - [hugues.cazin@universite-paris-saclay.fr](mailto:hugues.cazin@universite-paris-saclay.fr)

