

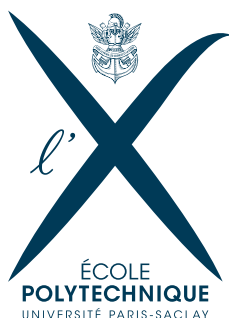


LES JEUDIS DE LA RECHERCHE DE L'X

5 NOVEMBRE 2015

CLIMAT ET ENVIRONNEMENT

Comprendre et lutter contre le réchauffement climatique



LA RECHERCHE À L'X

Patrick Le Quéré, directeur adjoint de l'enseignement et de la recherche

L'École polytechnique s'appuie sur un centre de recherche de pointe qui rassemble 22 laboratoires, dont 21 unités mixtes de recherche avec le CNRS.

Un centre de recherche dynamique et reconnu

Regroupant 1600 personnels de recherche, le centre de recherche de l'X allie l'approfondissement des aspects les plus fondamentaux de la recherche pour le progrès des connaissances au développement de grands domaines plus appliqués qui répondront aux enjeux scientifiques, technologiques et sociétaux du 21^e siècle.

Une stratégie de recherche organisée autour de 8 thématiques

L'École polytechnique a défini 8 thématiques dans sa stratégie de recherche. Ces thématiques

de recherche répondent à des enjeux sociétaux et technologiques par le biais de projets transverses et multidisciplinaires, auxquels sont associés les laboratoires de l'École :

- Nanosciences, matériaux innovants et procédés efficaces
- Énergies, transports et environnement
- Bio-ingénierie, biologie et santé
- Matière et lumière en conditions extrêmes
- Structures et lois universelles
- Concepts et méthodes pour la société numérique
- Modélisation et optimisation des systèmes complexes
- Marchés, innovation et relations science et société

Chaque Jeudi de la Recherche de l'X explore une de ces thématiques.

« Climat et environnement » à l'École polytechnique

En cette année de COP21, les recherches menées par les scientifiques seront utilisées pour prendre des décisions au plus haut niveau politique. En effet, l'amélioration de la connaissance du Climat et de l'Environnement est un enjeu majeur pour comprendre et lutter contre le réchauffement climatique.

Les laboratoires de l'École mettent à profit leurs compétences pour répondre aux enjeux décisifs du 21^e siècle dans ces domaines. L'expérimentation et la modélisation sont au cœur de cette thématique résolument interdisciplinaire : mesures et modélisation de l'atmosphère, de la biodiversité ou encore simulation des effets économiques des décisions politiques.

L'École est fortement impliquée dans cette thématique, en témoignant par exemple des chaires d'enseignement et de recherche, ou encore, son engagement dans de nombreux projets européens et internationaux. Les exposés d'Anna Creti, Laurent Menut et Gaël Raoul vous permettront de découvrir les défis de recherche pour appréhender et améliorer la lutte contre le changement climatique.

Nous espérons que ce nouveau « Jeudi de la recherche de l'X » vous permettra de découvrir ou d'approfondir vos connaissances dans le domaine « du Climat et de l'Environnement » grâce aux scientifiques de notre centre de recherche, véritable moteur de l'École polytechnique.

Patrick Le Quéré,

Directeur adjoint de l'enseignement et de la recherche

Anna Creti



Anna Creti débute sa carrière à la London School of Economics puis devient chercheur au Département d'Économie de l'École polytechnique et professeur d'économie à l'université Paris Dauphine au Laboratoire d'économie de Dauphine-Centre de Géopolitique de l'Énergie et des Matières Premières (LeDA-CGEMP). Elle est chercheur associée à l'université de Californie (UC3), Berkeley et Santa Barbara. Elle est également membre de la chaire Développement Durable de l'X en partenariat avec EDF et de la chaire des marchés européens de l'électricité de l'université Paris Dauphine.

Anna Creti s'intéresse à l'économie liée au domaine de l'énergie et du développement durable dont les marchés du carbone. Elle étudie le fonctionnement du prix carbone pour mieux comprendre son évolution. L'objectif est d'aider les politiques dans leur démarche contre le changement climatique.

Anna Creti a reçu de nombreux prix dont celui de l'université de Bocconi pour l'excellence de sa recherche (2008, 2009 et 2010). Elle travaille en collaboration avec des entreprises dont EDF et fait partie du Conseil Français de l'Énergie « Macroeconomic Effects of Energy Prices ».



Limiter les émissions de CO₂ : quel juste prix du carbone ?

Les marchés carbone, un outil économique pour changer les comportements

Anna Creti

La réduction des émissions de CO₂ est un des enjeux majeurs de la lutte contre le réchauffement climatique. Afin d'encourager les entreprises à polluer moins, l'Europe a mis en place un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre. Depuis 2005, la tonne de CO₂ européen est passée de 30€ à 5€ en 2015 ! Les objectifs européens à l'horizon 2030 et les décisions de la COP21 seront des facteurs cruciaux pour le futur système communautaire d'échange de quotas d'émissions et le prix carbone mondial.

L'intérêt d'un marché du carbone est de faire émerger un prix de façon efficace, qui réponde aux besoins des entreprises. Comprendre l'évolution de ce prix est un enjeu majeur pour améliorer son efficacité contre le réchauffement climatique. Les recherches en économie menées par l'Institut Interdisciplinaire de l'Innovation de l'École polytechnique étudient le fonctionnement de ce prix carbone et analysent sa possible extension à l'international. Les conclusions indiquent que cet outil économique est puissant à condition qu'il soit contrôlé par les autorités publiques pour le corriger et imposer des normes d'usage sur le long terme.

Au lancement du système d'échange de quotas européen, un nombre de quotas de production de carbone ont été alloués aux entreprises en fonction de leurs émissions initiales de CO₂. L'objectif de cet outil économique est



d'encourager les entreprises à investir pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et de récupérer cet investissement à long terme en revendant leurs quotas carbone à d'autres entreprises. Parallèlement, la taxe carbone européenne n'a jamais fait l'objet d'accords. Il existe ainsi une disparité énorme entre les pays européens, le prix de la tonne de carbone allant de moins d'1€ en France à 130€ au Danemark.

Ce sont la crise financière de 2008 et surtout la sur-allocation de quotas qui sont à l'origine de la baisse générale du prix de la tonne de carbone. Pour contrer ce dernier effet, la Commission européenne a ainsi décidé fin 2013 la création d'un fonds de stabilité : à partir d'un certain seuil de quotas en circulation, une partie sera retirée du marché et à l'inverse, en cas de trop fortes tensions, des quotas seront prélevés dans le fonds et remis en circulation.

Laurent Menut



Laurent Menut est chercheur CNRS au Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD, une UMR de l'École polytechnique en co-tutelle avec le CNRS, l'ENS et l'UPMC). Il s'intéresse aux processus physico-chimiques conduisant à la pollution atmosphérique à l'échelle régionale. Après avoir travaillé sur la mesure de la dynamique de la basse atmosphère par lidar, il travaille actuellement sur la modélisation de la composition atmosphérique régionale. Il a travaillé sur différents aspects de cette modélisation, avec la modélisation de la météorologie, le développement de méthodes inverses pour optimiser les émissions anthropiques et, plus récemment, la modélisation des émissions et du transport d'aérosols minéraux.

Il est responsable du développement du modèle de chimie-transport CHIMERE, utilisé en recherche et en prévision, notamment dans le cadre de la plate-forme de prévision opérationnelle PREVAIR. Pour améliorer les connaissances sur la pollution, Laurent Menut travaille également en collaboration avec les chercheurs réalisant des mesures, permettant de comparer directement les résultats de simulation aux concentrations réelles. Il contribue au programme CHARMEX, qui étudie la pollution particulaire sur le bassin méditerranéen, ainsi qu'au programme CORDEX soutenu par le programme de recherche mondial sur le climat (*World Climate Research Programme*) pour produire des scénarios de changement climatique à l'échelle régionale.



Améliorer les prévisions de pollution

Mieux comprendre les processus pour mieux prévoir la pollution atmosphérique

Laurent Menut



Les pics de pollution récurrents se caractérisent par une quantité trop élevée d'un ou de plusieurs polluants dans l'air qui peuvent présenter un risque pour la santé et l'environnement. Savoir prédire ces épisodes et leur origine est un véritable défi scientifique : la qualité de l'air est un bilan très complexe de contributions différentes et parfois imprévisibles qui nécessite des outils de modélisation.

La modélisation développée au LMD a pour but d'améliorer la compréhension des processus conduisant à de la pollution atmosphérique. Pour cela, Laurent Menut développe avec ses collègues le modèle de chimie-transport CHIMERE, un outil numérique permettant de simuler les concentrations chimiques des gaz et aérosols de pollution, qu'ils soient d'origine anthropique (les sources industrielles, le trafic automobile) ou naturelle (les produits de feux de végétation, les aérosols minéraux). CHIMERE permet de réaliser des prévisions à court terme,

mais aussi des scénarios de réduction d'émissions plus fiables, de mieux estimer l'impact sur la santé de cette pollution.

Outils d'analyse et scénario, les études de modélisation ont pour but d'identifier les sources de pollution, leur transport et mélange dans l'atmosphère afin d'apporter des éléments de contrainte pour la définition des normes européennes sur la qualité de l'air. Les simulations portent donc sur l'ensemble des polluants surveillés comme l'ozone, les oxydes d'azote, les particules, le monoxyde de carbone ou le dioxyde de soufre, par le biais de l'estimation de dizaines d'espèces chimiques via des centaines de réactions chimiques. Ces études ont aussi pour but de mieux comprendre l'impact de la pollution sur la santé en développant des modèles d'exposition de la population.

En tant qu'outil de prévision, le modèle CHIMERE est utilisé par de nombreuses agences de surveillance de la qualité de l'air à l'échelle régionale, fait partie du système PREVAIR à l'échelle nationale et du système de prévision MACC à l'échelle européenne.

En tant qu'outil de recherche, la modélisation permet de considérer des polluants encore peu étudiés comme les pollens, à forts potentiels allergisants mais dont les émissions et le transport sont encore mal compris.

Gaël Raoul



Gaël Raoul débute sa carrière comme post-doctorant à l'Université de Cambridge, puis comme chercheur au Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive de Montpellier (CEFE). Aujourd'hui, il est chercheur CNRS au Centre de Mathématiques Appliquées (CMAP, une UMR de l'École polytechnique en co-tutelle avec le CNRS) et membre associé au CEFE.

Les recherches de Gaël Raoul portent sur les modèles mathématiques utilisés en écologie. Il s'intéresse notamment à l'effet du changement climatique sur des populations naturelles, à l'impact de l'évolution sur la propagation des épidémies (résistance aux antibiotiques, « gene surfing », etc.), et à la dynamique de nuages de particules en interaction. Il est membre de la chaire Modélisation Mathématique et Biodiversité de l'X, dont un des objectifs est de développer de nouveaux modèles, qui prennent mieux en compte les interactions et la diversité des échelles des différents écosystèmes et qui pourront permettre d'en prévoir la dynamique.

Gaël Raoul est coordinateur du projet de l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR) jeune chercheur MODEVOL - Modèles mathématiques pour la biologie évolutive et le coordinateur français du projet CODYN (Mathematical analysis and simulation of collective dynamics models), réalisé avec l'Imperial College de Londres, retenu par le CNRS et la Royal Society.



Estimer l'impact du changement climatique sur les populations naturelles

Gaël Raoul



Le changement climatique aura des conséquences sur la biodiversité, et aura notamment pour effet de modifier les aires de répartition géographique des espèces. Contrairement aux modèles de l'évolution du climat, l'étude des modèles d'évolution de la biodiversité n'en est qu'à ses débuts.

Mathématiciens de l'École polytechnique et biologistes allient leurs compétences pour construire de nouveaux modèles capables de décrire la complexité de l'adaptation des espèces aux changements environnementaux. Ces modèles décrivent la dispersion des individus et leur diversité génétique en simplifiant à l'extrême l'impact du climat et de l'environnement.

Ces modèles sont essentiellement qualitatifs et ne permettent pas d'étudier l'effet quantitatif du changement climatique sur un territoire précis. Mais ils pourraient permettre de simuler les effets de politiques de préservation d'espèces et ainsi d'optimiser les décisions. Par exemple, des résultats préliminaires semblent indiquer que créer un espace naturel protégé à l'extrémité méridionale

de l'aire de répartition d'une espèce pourrait favoriser l'adaptation de l'ensemble de l'espèce à l'augmentation des températures. Ce modèle montre également que si le climat change suffisamment lentement, la population a le temps de s'adapter, tandis que s'il change trop vite, elle ne peut pas survivre.

Pour créer ces modèles, les mathématiciens utilisent plusieurs approches afin de modéliser différents types de populations : les espèces asexuées peuvent être modélisées par des équations de réaction-diffusion, abondamment utilisées pour décrire des réactions chimiques, tandis que les modèles servant à décrire les populations sexuées sont proches des équations de Boltzmann ou de Navier-Stokes, utilisées pour décrire les fluides. Cependant, les modèles biologiques ont des spécificités propres par rapport aux modèles physiques. Ceci implique de développer de nouvelles approches mathématiques mêlant processus aléatoires et équations déterministes. Les scientifiques espèrent que ces nouveaux modèles apporteront un point de vue intéressant et complémentaire aux approches existantes.

Contacts

Cécile Mathey

01 69 33 38 70 - 06 30 12 42 41
cecile.mathey@polytechnique.edu

Alice Tschudy

01 69 33 33 40 - 06 66 81 76 35
alice.tschudy@polytechnique.edu





ÉCOLE POLYTECHNIQUE
91128 PALAISEAU CEDEX
www.polytechnique.edu