

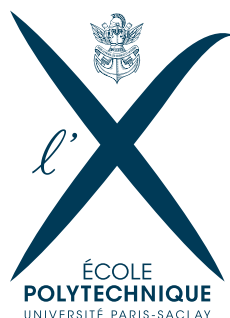


LES JEUDIS DE LA RECHERCHE DE L'X

20 OCTOBRE 2016

DÉFI CLIMATIQUE

*Observation et modélisation du changement climatique :
des chercheurs à l'écoute de la planète*



LA RECHERCHE À L'X

Frank Pacard, directeur 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 :

- Bio-ingénierie, biologie et santé
- Concepts et méthodes pour la société numérique

- Énergies, transports et environnement
- Modélisation et optimisation des systèmes complexes
- Marchés, innovation et relations science et société
- Matière et lumière en conditions extrêmes
- Nanosciences, matériaux innovants et procédés efficaces
- Structures et lois universelles

Les défis pour la société de demain : cette année, les « Jeudis de la Recherche » explorent quatre grands défis sociétaux : les défis climatiques, sécuritaires, économiques et sanitaires.

Pour démarrer la saison, le défi climatique sera abordé sous l'angle du diagnostic, suivant la thématique :

« **Observation et modélisation du changement climatique : des chercheurs à l'écoute de la planète** »

Un an après la COP 21 qui a réuni des dizaines de chefs d'État à Paris, la question du changement climatique reste un enjeu fondamental pour l'avenir de la planète avec des impacts

sociétaux et économiques particulièrement importants. Le 5^e rapport du GIEC a permis de mettre en évidence l'impact de l'activité de l'homme sur le climat en s'appuyant sur les travaux de chercheurs pour étayer leur diagnostic. Pour les chercheurs impliqués dans ces études, les défis scientifiques sont à la hauteur des enjeux, étant donnée l'extrême complexité des mécanismes qui entrent en jeu dans l'évolution du climat.

Le Laboratoire de Météorologie Dynamique est un laboratoire en co-tutelle entre l'École polytechnique, le CNRS, l'ENS-Paris et l'Université Pierre et Marie Curie. Les chercheurs de ce laboratoire sont tout particulièrement impliqués dans ces analyses et la modélisation de l'évolution du climat. Ils mettent à profit leurs compétences pour récolter et analyser des données terrestres, aériennes et spatiales afin de créer des modèles du comportement de l'atmosphère qui leur permettent ensuite d'améliorer les prévisions de l'évolution du climat à différentes échelles.

Les chercheurs du Laboratoire de Météorologie Dynamique s'intéressent en particulier

aux processus physiques et dynamiques qui permettent l'étude de l'évolution et de la prévision des phénomènes météorologiques et climatiques. Pour ce faire, ils associent des approches théoriques, des simulations numériques et des développements instrumentaux pour les observations, dans une démarche pluridisciplinaire.

Les exposés de Cyril Crevoisier, Riwal Plougonven et Philippe Drobinski vous permettront de découvrir différents outils et méthodes qui sont actuellement développés par les chercheurs pour une meilleure compréhension du climat afin d'en anticiper ses mutations.

Nous espérons que ce nouveau « Jeudi de la recherche de l'X » vous permettra de découvrir et d'approfondir vos connaissances sur « l'observation et la modélisation du changement climatique » grâce aux scientifiques de notre Centre de recherche, véritable moteur de l'École polytechnique.

Frank Pacard,
Directeur de l'enseignement et de la recherche

Cyril Crevoisier



Cyril Crevoisier est chargé de recherche au CNRS au sein du Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) dans lequel il dirige l'équipe d'étude de l'Atmosphère, de la Biosphère et du Climat par télédétection. Ses activités de recherche portent sur l'étude de la variabilité et de l'évolution des gaz à effet de serre influencés par les activités humaines en s'appuyant sur l'observation spatiale et in-situ. Ancien élève de l'École normale supérieure Paris-Saclay, il obtient son diplôme de doctorat à l'Université Paris Diderot sur des travaux visant à explorer le potentiel des observations satellites pour étudier le dioxyde de carbone. Durant 3 ans, il poursuit ses recherches à l'Université de Princeton aux États-Unis et est recruté au CNRS en 2007.

Il a coordonné ou participé à différents projets nationaux et européens visant notamment à la mise en place du Service Atmosphère de Copernicus. Il est impliqué dans le développement de 3 missions spatiales du CNES : IASI-NG (spectromètre infrarouge visant à améliorer la prévision numérique du temps, mieux caractériser la composition atmosphérique et étudier le climat) dont il coordonne les activités de développement, Merlin (mesure du méthane par lidar) et MicroCarb (mesure du dioxyde de carbone par spectrométrie dans le proche-infrarouge).

Depuis 2014, il est président du groupe scientifique pour les sciences atmosphériques du CNES (TOSCA). Il enseigne également en master, le transfert radiatif dans l'atmosphère et sur le cycle du carbone.



Satellites pour la surveillance des gaz à effet de serre

Cyril Crevoisier



Les engagements des pays signataires de l'accord de Paris portent essentiellement sur une limitation de l'émission des gaz à effet de serre dont le rôle majeur dans le réchauffement climatique est désormais admis. Ces gaz, le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) ou encore le protoxyde d'azote (N_2O), absorbent le rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre et le renvoient vers elle, contribuant ainsi à une augmentation globale de la température. Le suivi des émissions est essentiel afin de pouvoir non seulement prédire l'évolution du climat, mais aussi contrôler le respect des engagements des pays.

Différentes techniques d'observation existent : observation au sol, à bord d'avion, ou encore à l'aide de satellites d'observation. Si les deux premières méthodes offrent une couverture spatio-temporelle très hétérogène, l'utilisation de satellites présente l'intérêt de donner une vision globale et régulière de la planète.

Le principe de mesure de la concentration des gaz à effet de serre par les instruments embarqués à bord des satellites repose sur l'étude du transfert radiatif, c'est-à-dire de l'interaction entre un rayonnement qui traverse l'atmosphère

et les molécules. En fonction de leurs températures, les molécules absorbent ou émettent des rayonnements en des proportions et à des fréquences très spécifiques, liées à leur structure. Le rayonnement utilisé pour analyser ces molécules peut être d'origine naturelle (la Terre, le soleil) ou artificielle (laser). En se basant sur la modification du rayonnement reçu, on peut déterminer la présence et la quantité de gaz à effet de serre entre la surface et le satellite.

Depuis une dizaine d'années, les agences spatiales ont reconnu l'importance d'un suivi des gaz à effet de serre par satellite. Les premières estimations de la concentration de CO_2 atmosphérique depuis l'espace ont été réalisées au LMD. En s'appuyant sur ces résultats et sur son expertise reconnue en transfert radiatif, le LMD a proposé différentes missions spatiales qui ont été retenues et officialisées par le CNES durant l'année 2015 : IASI-NG, Merlin et MicroCarb. Le LMD joue un rôle central dans la bonne mise en œuvre de ces opérations puisqu'il a la responsabilité de la mission IASI-NG, coordonne toutes les activités préparatoires de IASI-NG, et assure la compétence sur le transfert radiatif pour MicroCarb.

Riwal Plougonven



Riwal Plougonven est professeur chargé de cours à l'École polytechnique depuis 2012, et effectue ses recherches au Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD) dont il est aujourd'hui directeur adjoint pour le site de l'École polytechnique. Diplômé de l'X (X 1995), il a obtenu en 2002 son doctorat à l'Université Pierre et Marie Curie à la suite de travaux théoriques sur la dynamique de l'atmosphère et l'émission d'ondes internes de gravité. Ces ondes jouent un rôle dans le forçage de la circulation de la stratosphère (entre 15 et 50 km d'altitude) et de la mésosphère (entre 50 et 100 km environ).

De 2002 à 2005, il aborde ces thématiques par d'autres approches (analyses d'observations, simulations numériques) durant un post-doctorat au *National Center for Atmospheric Research* (Boulder, Colorado, États-Unis) puis en tant que Lecturer à l'Université de St Andrews en Écosse. De 2005 à 2012, il est maître de conférences à l'École normale supérieure, et s'implique progressivement dans l'exploitation d'observations obtenues par des ballons de longue durée, dérivant dans la stratosphère entre 17 et 19 km d'altitude (campagnes coordonnées par Albert Hertzog).

Outre ces activités portant sur la dynamique et la stratosphère, Riwal Plougonven s'est impliqué depuis 2013 dans des recherches et des enseignements sur l'énergie éolienne, en montant notamment un cours sur le sujet. Il est responsable du parcours d'approfondissement « Sciences pour les Défis de l'Environnement » en 3^e année de l'École polytechnique. Il est auteur ou co-auteur d'une quarantaine d'articles et de deux chapitres d'ouvrages.



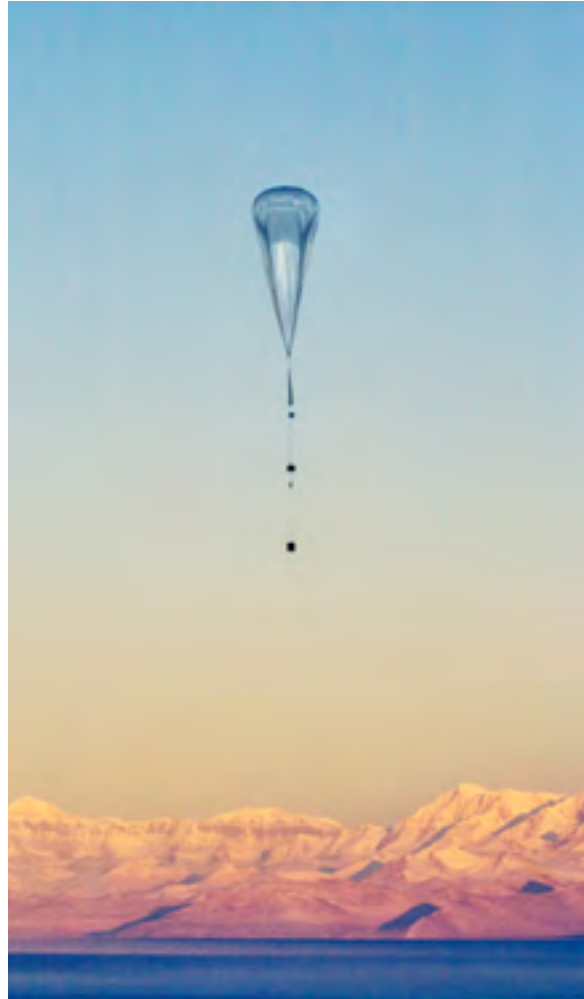
Des ballons au service de la modélisation de l'atmosphère

Rival Plougonven

Chaque année, le trou dans la couche d'ozone se forme au-dessus de l'Antarctique au printemps pour se résorber à l'automne. Ce phénomène dépend de réactions photochimiques très sensibles à la température, et résulte de la dynamique particulière de la basse stratosphère de l'hémisphère sud. Chaque hiver, un puissant tourbillon s'y forme et isole des masses d'air dans la nuit polaire. Cet air atteint des températures particulièrement froides qui sont favorables à la destruction de l'ozone au printemps.

Or, tous les modèles de l'atmosphère présentent un biais dans la région polaire, avec des températures simulées trop froides et un tourbillon trop persistant. Ces biais pourraient avoir de nombreuses explications - des erreurs dans les paramétrisations chimiques ou physiques par exemple. Les travaux du Laboratoire de Météorologie Dynamique semblent avoir résolu ce mystère. En effet, l'équipe de Rival Plougonven étudie les ondes internes de gravité : des mouvements obliques de l'air équivalents, à l'intérieur de l'atmosphère, aux vagues à la surface d'un lac ou de la mer. Ces ondes sont connues des vautours et des planeurs car ils les utilisent lorsqu'elles se forment à proximité des montagnes engendrant ainsi des courants ascendants.

Pour les étudier, les chercheurs du LMD ont coordonné des campagnes en 2005 et en 2010 à l'aide d'une quarantaine de ballons pressurisés volant en basse stratosphère. Ces ballons apportent des observations uniques car ils dérivent avec l'air, pendant des durées de 1 à 3 mois. Ils suivent ainsi l'évolution des masses d'air et permettent notamment de mesurer des processus physiques à petite échelle. En combinant l'analyse de ces observations et des simulations numériques validées par ces observations,



il a été possible de mieux comprendre et décrire les ondes internes de gravité, notamment au-dessus de l'océan Austral. Ces résultats ont guidé une refonte de la paramétrisation des ondes de gravité dans le modèle de l'atmosphère du LMD. Ces changements ont entraîné une amélioration frappante des simulations de l'atmosphère polaire, résolvant le biais lié à la disparition tardive du tourbillon polaire.

Philippe Drobinski



Philippe Drobinski est directeur de recherche au CNRS et professeur chargé de cours à l'X. Ingénieur diplômé de l'École centrale de Lille, il obtient son doctorat à l'École polytechnique en 1998. Ses recherches portent sur la météorologie et le climat méditerranéen. Il a été le responsable du pôle « Climats et environnements régionaux » de l'Institut Pierre Simon Laplace et a coordonné de nombreux projets nationaux et internationaux sur l'évolution du climat méditerranéen et son impact sur les ressources en eau et ressources énergétiques.

Il est actuellement directeur du Laboratoire de Météorologie Dynamique de l'École polytechnique en co-tutelle avec le CNRS, et coordonne au niveau de l'École le programme de recherche interdisciplinaire TREND-X sur la transition énergétique et le programme MISTIGRID sur les micro-réseaux à l'Université Paris-Saclay. Il est notamment soutenu, depuis 2015, par le Siebel Energy Institute dans le cadre de son projet proposant d'adopter une approche transdisciplinaire pour favoriser le développement et l'optimisation de la gestion des réseaux électriques.

Philippe Drobinski est auteur ou co-auteur de plus de 120 chapitres d'ouvrage et d'articles scientifiques. Il enseigne à l'École polytechnique, dans le cycle polytechnicien et au niveau master, la météorologie locale et les ressources énergétiques renouvelables.



Sécheresse, inondation : le paradoxe du changement climatique en Méditerranée

Philippe Drobinski



L'étude des phénomènes météorologiques permettent d'étudier la variabilité et l'évolution du climat global, ainsi que d'étudier des régions particulièrement sensibles aux variations climatiques. C'est le cas de la région située aux abords de la mer Méditerranée qui fait figure de « hot spot » du changement climatique puisque celui-ci est déjà observable et présente des projections significatives pour l'avenir.

En effet, cette région subit des records de fréquence d'épisodes hydrométéorologiques extrêmes : des inondations spectaculaires et des sécheresses intenses y sont observées en quantité grandissante ces dernières décennies. Ainsi, depuis les années 1950, on mesure une augmentation de quelques pourcents des quantités d'eau qui tombent lors des « épisodes méditerranéens » de précipitations extrêmes. Dans le même temps, alors que le nord de l'Europe subit une augmentation de la quantité d'eau des précipitations moyennes annuelles, celle-ci a diminué jusqu'à 50 mm dans la région bordant la Méditerranée.

La résolution mathématique des équations de la physique permet de construire des modèles pour prévoir l'évolution du changement climatique à partir de calculs réalisés sur une couche numérique qui représente l'atmosphère. Ces modèles permettent ainsi de prévoir ce que

seront les vents, les précipitations, la température en fonction de différents scénarios, considérant par exemple une trajectoire d'émission des gaz à effet de serre toujours croissante ou au contraire des émissions stabilisées. En se basant sur les modèles dans cette région, bien que l'impact du changement climatique sur les précipitations extrêmes ne soit pas encore certain, tout montre que les sécheresses vont augmenter en nombre et en sévérité. Et si ces phénomènes sont les plus visibles, le changement climatique, et notamment la montée des eaux qu'il engendre, auront des impacts plus pernicieux, en redessinant par exemple les côtes (Camargue, Delta du Nil).

Cependant, le changement climatique n'est pas responsable de tous les bouleversements, qu'il s'agisse de la dégradation des sols, de la qualité de l'eau et de l'air, de l'insuffisance alimentaire : de nombreux phénomènes sont imbriqués, comme par exemple la croissance démographique qui crée une augmentation de la consommation d'eau, l'urbanisation galopante de certaines régions ou encore la vision « particulière » de l'usage renouvelable de l'eau par des pays en forte croissance économique. Les projections climatiques permettent néanmoins de rester vigilant et d'agir pour l'élaboration de solutions innovantes pour minimiser l'impact du climat dans la dégradation générale des conditions de vie dans la région Méditerranée.

Contacts

Cécile Mathey

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

Chloé Aubisse-Daniault

01 69 33 33 40 - 06 76 43 99 97
chloe.aubisse@polytechnique.edu





ÉCOLE POLYTECHNIQUE
91128 PALAISEAU CEDEX
www.polytechnique.edu