

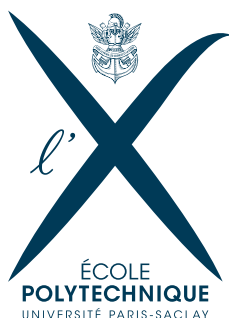


LES JEUDIS DE LA RECHERCHE DE L'X

3 DÉCEMBRE 2015

MATIÈRE ET LUMIÈRE EN CONDITIONS EXTRÊMES

Au cœur des planètes et des étoiles



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.

« Matière et lumière en conditions extrêmes » à l'École polytechnique

Qu'il s'agisse de poursuivre la quête de la structure de la matière, de comprendre les phénomènes extrêmes se produisant dans l'univers, de recréer en laboratoire des conditions de pression et de température régnant au cœur

des étoiles ou au centre des planètes, d'étudier les conditions permettant d'initier et de maîtriser les réactions thermo-nucléaires, autant de situations où la lumière et la matière sont portées dans des conditions extrêmes, dont la compréhension défie l'intuition courante.

Plusieurs laboratoires de l'École polytechnique travaillent au cœur de ces questions et les étudient en combinant expérimentation, théorie, modélisation et simulation... En laboratoire, les expérimentations reposent notamment sur 50 années de course incessante à l'augmentation de la puissance des lasers. Des impulsions lasers de plus en plus courtes et de plus en plus énergétiques permettent aujourd'hui d'atteindre des densités de puissance gigantesques. Focalisées sur des cibles de l'ordre du millimètre, elles permettent de recréer des conditions régnant au cœur des étoiles ou des planètes... Alliées à des expérimentations numériques effectuées à l'aide des ordinateurs les plus puissants, elles permettent de comprendre les mécanismes à l'origine des éruptions solaires, pour mieux

les anticiper ou pour en tirer des conséquences pour maîtriser les plasmas de fusion et ainsi domestiquer la production d'énergie par fusion thermo-nucléaire, une quête entrevue il y a près d'un siècle...

Les présentations de Tahar Amari, Alessandra Benuzzi-Mounaix et Cyrille Honoré permettront de préciser des exemples d'enjeux et de défis dans la compréhension de l'univers et les perspectives insoupçonnées offertes par leurs recherches pour la physique et l'énergie de demain.

Patrick Le Quéré,

Directeur adjoint de l'enseignement et de la recherche

Tahar Amari



Tahar Amari est astrophysicien, directeur de recherche au CNRS, au Centre de Physique Théorique de l'École polytechnique (CPhT - Unité Mixte de Recherche de l'École polytechnique en cotutelle avec le CNRS). Il est spécialiste du magnétisme solaire, comme laboratoire astrophysique.

Ses travaux portent sur la compréhension de structures et phénomènes intervenant dans l'atmosphère solaire. Ses recherches sur les éruptions solaires permettent de comprendre les conditions de leur déclenchement, de manière à pouvoir les anticiper. Il a aussi identifié les mécanismes permettant d'expliquer pourquoi l'atmosphère solaire est plus chaude que sa surface. Il est l'auteur de nombreuses publications scientifiques dans des revues d'Astrophysique, ainsi que d'articles et d'interventions de vulgarisation de cette discipline. Il participe et mène des projets en collaboration avec la NASA, l'ESA, la Direction Générale de l'Armement (DGA) et le Centre National d'Études Spatiales (CNES) pour la constitution d'une Météorologie de l'espace. Il est également expert consultant pour plusieurs organismes scientifiques internationaux.



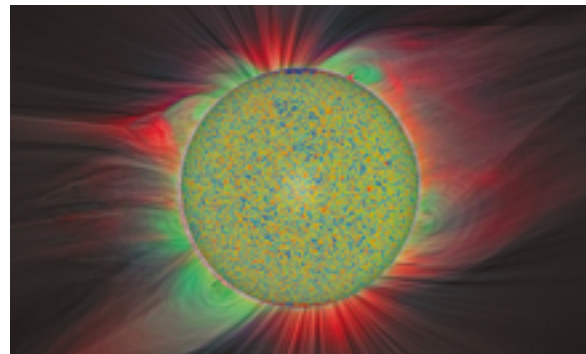
Météorologie de l'Espace : prévoir les éruptions solaires pour limiter leurs impacts sur la société

Tahar Amari

Notre activité humaine dépend de plus en plus de phénomènes qui prennent naissance à 150 millions de kilomètres de notre planète, sur le Soleil, et atteignent notre environnement spatial direct. Décrire ces événements astrophysiques est donc une nécessité pour les comprendre et réussir à les prédire : c'est la Météorologie de l'Espace.

Notre étoile projette en permanence un vent de particules chargées, transportant parfois des nuages magnétiques jusqu'à la Terre lors d'événements éruptifs violents. Ceux-ci perturbent l'environnement de notre planète et touchent des infrastructures spatiales comme les satellites géostationnaires, les systèmes de communications par ondes radios tels GPS ou Galileo, ou la transmission d'informations aux satellites ; mais aussi les hommes : les personnels navigants des vols transatlantiques ou les astronautes lors des sorties extravéhiculaires.

Tahar Amari et son équipe travaillent sur la compréhension des phénomènes liés au magnétisme solaire qui permettra de construire une météo du soleil, nécessaire au développement d'une Météorologie de l'Espace, incluant l'environnement terrestre. À l'aide de données satellites et de modèles numériques, ils ont notamment suivi la formation d'une éruption solaire et ont réussi à identifier un phénomène clé dans leur déclenchement. Durant quelques jours avant l'éruption, une structure magnétique en forme de corde géante se forme. Son énergie augmente pendant qu'elle émerge de l'intérieur du Soleil,



avant d'être éjectée à travers le système solaire. L'observation de ces cordes magnétiques pourrait ainsi ouvrir la voie à une prévision quantitative de ces éruptions. Il serait ainsi possible de prendre des mesures de prévention pour éviter des avaries sur nos infrastructures technologiques en cas d'activité solaire intense.

Tahar Amari et son équipe ont également identifié les mécanismes d'un problème ancien en astrophysique : l'atmosphère du Soleil est bien plus chaude, jusqu'à 1 million de degrés, que sa surface, qui n'est qu'à environ 6000 degrés. Ils ont mis en évidence toute une « végétation » magnétique solaire (racines, mangrove, troncs d'arbre...) capables d'apporter l'énergie pour chauffer l'atmosphère et expliquer cette différence de température. Ces résultats ont été obtenus en simulant l'évolution d'une partie de l'intérieur et de l'extérieur du Soleil. Ces recherches participent à une meilleure connaissance de notre étoile, en révélant des autres composantes de sa météo (jets, tornades, micro-éruptions, ondes ...) impliquées dans la naissance du vent solaire qui parvient jusqu'à nous.

Alessandra Benuzzi-Mounaix



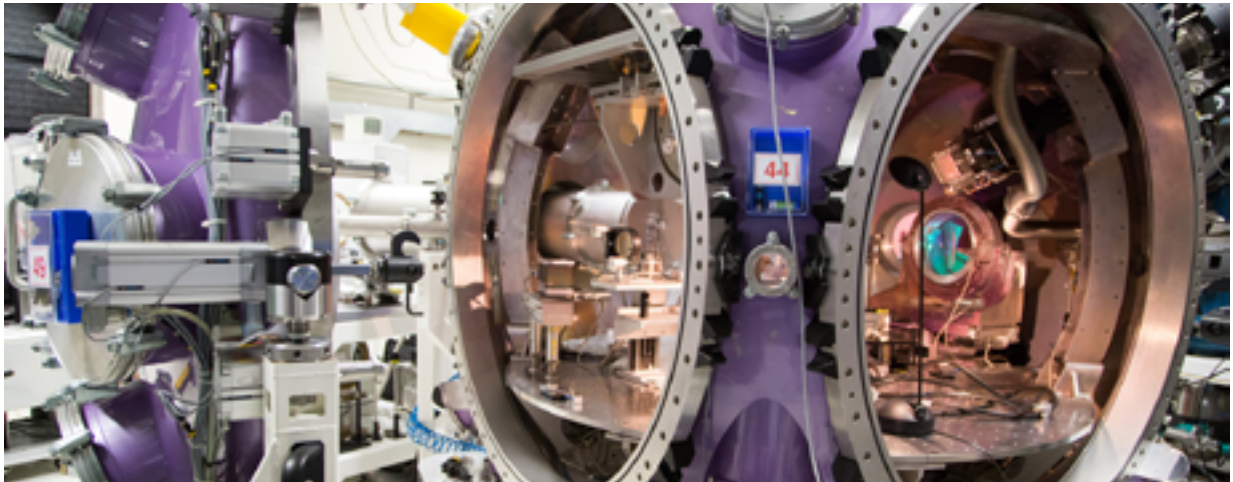
Alessandra Benuzzi-Mounaix est chargée de recherche au Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses (LULI - Unité Mixte de Recherche de l'École polytechnique en co-tutelle avec le CNRS, le CEA et l'UPMC). Elle a mis au point des techniques originales pour étudier les propriétés de la matière soumise à des conditions extrêmes de pression, de températures et de densité grâce aux lasers de puissance. Ses recherches couvrent des domaines aussi importants que la planétologie, la géophysique et la fusion par confinement inertiel.

Ses travaux ont été récompensés par la médaille de bronze du CNRS en 2003. Elle a contribué au projet « SECHEL » et elle est responsable des expériences lasers du projet « PLANETLAB », projets financés par l'Agence Nationale de la Recherche.



Planétologie de laboratoire : utiliser les lasers pour créer des cœurs de planètes

Alessandra Benuzzi-Mounaix



À chaque découverte d'une nouvelle exoplanète, la question du développement de la vie est posée. De nombreux paramètres doivent être réunis parmi lesquels un champ magnétique qui la protège des particules venant de son étoile. C'est au cœur de la planète, là où sa matière est soumise à des températures, des pressions et des densités considérables, que tout se joue.

Les connaissances dans ce domaine sont encore peu précises, c'est pourquoi Alessandra Benuzzi-Mounaix et son équipe ont mis au point des techniques lasers inédites pour reproduire ces conditions extrêmes en laboratoire. Ces techniques sont les seules capables de reproduire expérimentalement des pressions considérables (jusqu'à quelques dizaines de millions d'atmosphères) et des températures comparables à celles qui prévalent au centre des planètes (quelques milliers de Kelvin). L'objectif est de valider les théories et les simulations actuelles. En particulier, il s'agit d'améliorer la connaissance de

la relation entre la pression, la densité et la température, appelée « équation d'état », qui constitue un point clef pour caractériser la physique à l'intérieur d'une planète.

Les expériences menées avec les lasers de puissance ont permis de réaliser de nouvelles découvertes notamment sur le quartz, pôle important des silicates, constituants principaux des planètes telluriques qu'on trouve également dans les noyaux des planètes joviennes. Pour la première fois, le quartz a été soumis à des pressions et températures rencontrées à l'intérieur d'Uranus ou de Neptune. Nos mesures confirment les calculs qui prédisent une faible conductivité du quartz à l'intérieur des super-Terres et la présence du quartz à l'état liquide à l'intérieur des planètes géantes.

Ces recherches ouvrent ainsi de nouvelles perspectives sur la compréhension des planètes de notre système solaire et des exoplanètes.

Cyrille Honoré



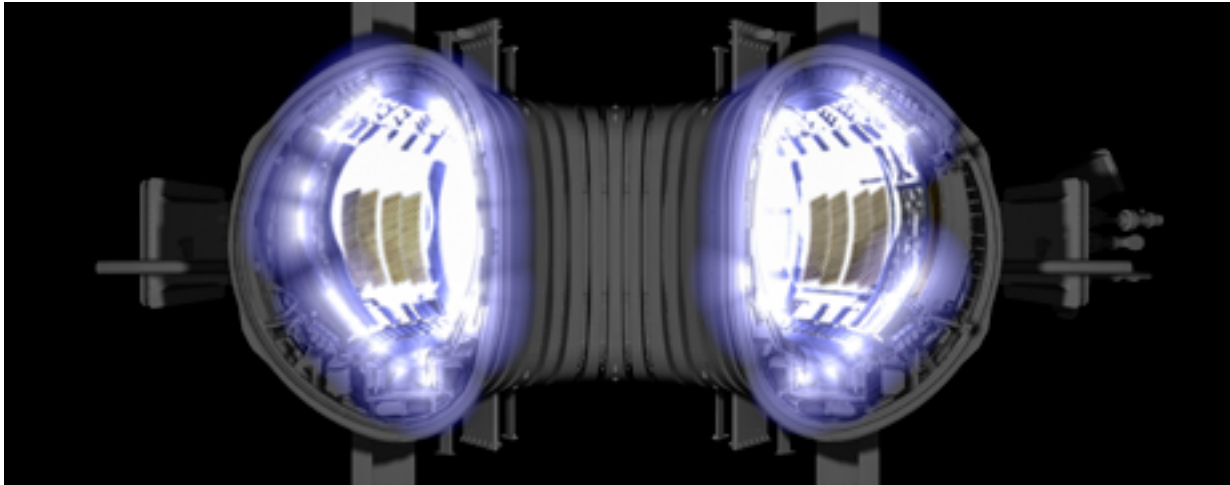
Suite à sa thèse et un post-doctorat dans le domaine des plasmas, Cyrille Honoré est entré à l'École polytechnique dans l'équipe « Plasmas de fusion magnétique », dirigée par Pascale Hennequin, au Laboratoire de Physique des Plasma (LPP - Unité Mixte de Recherche de l'École polytechnique en co-tutelle avec le CNRS, l'UPMC, l'UPSud et l'Observatoire de Paris).

Le travail de Cyrille Honoré se concentre sur les plasmas et leurs turbulences. Il a notamment participé aux expériences sur la propulsion par plasma et sur les réacteurs Tokamaks européens Tore Supra et Asdex-U. En 2006, son équipe reçoit le prix « La Recherche » dans le domaine de l'énergie pour leur recherches concernant le contrôle et le diagnostic des plasmas thermonucléaires dans les réacteurs Tokamak. Il contribue également à l'enseignement de l'École polytechnique au sein du master « Physique des plasmas et de la fusion » et comme tuteur pour les projets scientifiques collectifs des élèves polytechniciens.



Énergie du futur : reproduire un soleil dans un réacteur nucléaire (ITER)

Cyrille Honoré



Au cœur du soleil, dans des conditions de température et de pression extrêmes, des réactions de « fusion thermonucléaire » produisent des quantités d'énergie colossales. La communauté scientifique s'associe dans le projet ITER pour reproduire ce type de réaction sur Terre et produire à terme de l'électricité plus efficacement. Contrairement à l'énergie nucléaire « par fission » actuelle, l'énergie produite sera durable, car les ressources sont colossales ; sûre, car il n'y a pas de risque d'explosion nucléaire ; et plus propre, car les déchets radioactifs auront une durée de vie beaucoup plus courte. Néanmoins, il reste de nombreux verrous scientifiques à lever, notamment le maintien d'une température de l'ordre de 150 millions de degrés nécessaire pour assurer les réactions de fusion.

Au sein d'un réacteur comme ITER (Tokamak), des champs magnétiques puissants concentrent les noyaux d'isotopes de l'hydrogène qui entrent ainsi en collision et produisent de l'énergie en fusionnant. Dans ces conditions extrêmes de

pression et de température, les atomes se trouvent sous forme de plasma, le quatrième état de la matière, constitué de particules chargées. Mais la présence de turbulences dans le plasma conduit à une perte de l'énergie plus importante que prévue initialement, ce qui diminue la température et réduit le phénomène de fusion.

L'équipe « Plasmas de fusion magnétique » du Laboratoire de Physique des Plasmas de l'École polytechnique étudie ce phénomène. Grâce à des techniques d'observation dans des réacteurs expérimentaux, les chercheurs détectent les structures turbulentes et leur mouvement. Ces études expérimentales, associées à des simulations numériques du plasma dans le Tokamak, permettent de mieux caractériser le comportement de cette turbulence. Leur but est de diminuer cette turbulence, en développant des nouveaux procédés de contrôle du plasma, afin d'améliorer le confinement de l'énergie dans le Tokamak et ainsi de faciliter le maintien de la fusion et la production d'électricité.

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