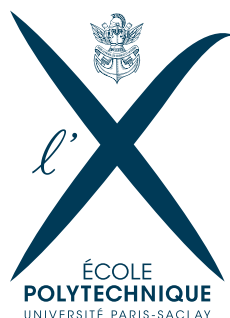




# LES JEUDIS DE LA RECHERCHE DE L'X

3 MARS 2016

**NANOSCIENCES, MATERIAUX INNOVANTS  
ET PROCÉDÉS EFFICACES**



# 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<sup>e</sup> 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.

## « Nanosciences, matériaux innovants et procédés efficaces » à l'École polytechnique

« *There is plenty of room at the bottom* », tel était le titre de l'intervention de Richard Feynman en 1959 devant le congrès de l'American Physical Society. 50 ans plus tard, cette vision

est devenue réalité, en grande partie grâce aux progrès accomplis dans la structuration de la matière aux échelles nanométriques, dans la métrologie associée qui fait appel aux technologies les plus sophistiquées, ainsi que dans la compréhension des phénomènes dominants à ces petites échelles temporelles et spatiales, et leurs couplages multi-physiques.

Les laboratoires de l'École polytechnique explorent des voies de recherche aussi variées que la synthèse de nanotubes de carbone, de feuillets de graphène, de nanoparticules fonctionnalisées, la nanostructuration de surfaces ou de couches minces aux propriétés extraordinaires, les couplages multi-physiques... Ils conçoivent ainsi de nouveaux matériaux intelligents ou des surfaces actives, des dispositifs et capteurs multifonctionnels, des biocapteurs miniatures autonomes, de nouveaux catalyseurs...

Les présentations de Laurence Bodelot, Kees van der Beek et Yvan Bonnassieux permettront

de découvrir quelques-unes des perspectives offertes par les matériaux intelligents, la supraconductivité et l'électronique organique.

**Patrick Le Quéré,**

*Directeur adjoint de l'enseignement et de la recherche*

## Laurence Bodelot



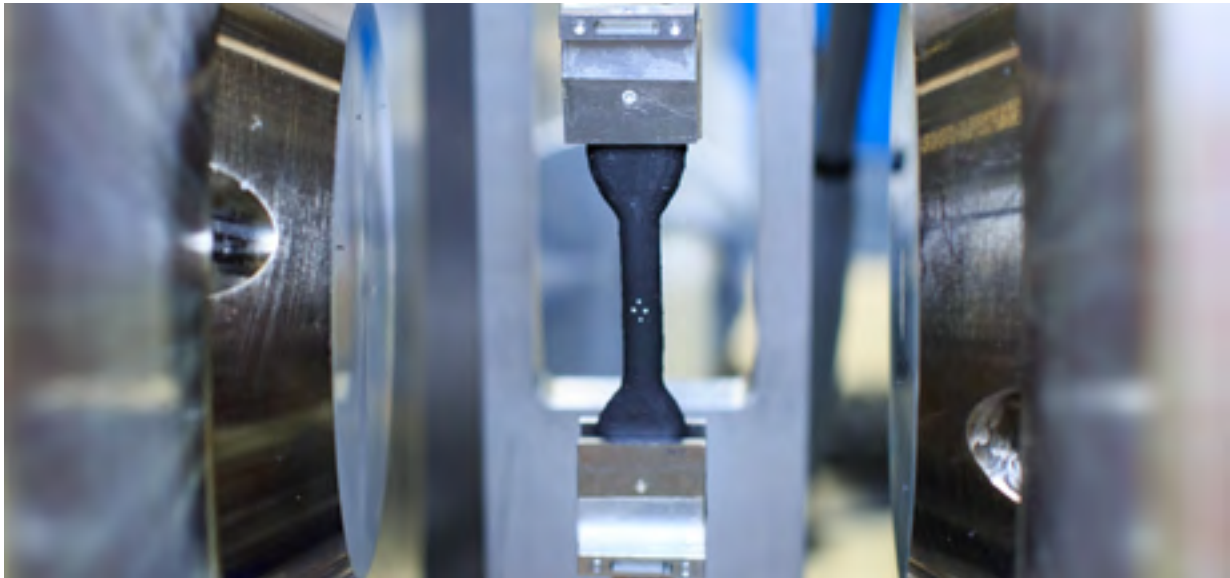
Après une thèse de mécanique des solides au Laboratoire de Mécanique de Lille, Laurence Bodelot réalise un post-doctorat au GALCIT (Graduate Aerospace Laboratories de Caltech), en Californie. En 2012, elle rejoint l'École polytechnique en tant que maître de conférences au Laboratoire de Mécanique des Solides (LMS, École polytechnique / CNRS / MINES ParisTech).

Laurence Bodelot s'intéresse aux matériaux et structures comme les alliages métalliques, les élastomères intelligents et les capteurs nano-architecturés. Elle étudie en particulier les mécanismes multi-échelles de déformation et les couplages multi-physiques au sein de ces structures. Ses travaux trouvent des applications dans des domaines aussi variés que le transport, les interfaces homme-machine, l'environnement et le contrôle non destructif des matériaux. En 2015, elle obtient le Prix Werner Köster de la Société Allemande de Science des Matériaux pour son article intitulé « *Experimental determination of a representative texture and insight into the range of significant neighbouring grain interactions via orientation and misorientation statistics* », publié en 2014 avec le Professeur G. Ravichandran dans *International Journal of Materials Research*.



# Composer et architecturer les matériaux pour les rendre intelligents

Laurence Bodelot



Les ingénieurs ont aujourd'hui à leur disposition une grande diversité de matériaux naturels et synthétiques, c'est-à-dire élaborés par l'homme. Le travail des chercheurs en laboratoire vise à améliorer la résistance de ces matériaux tout en diminuant leur poids. Cet enjeu est de taille dans la majorité des secteurs industriels.

Néanmoins, certaines applications modernes requièrent des matériaux aux propriétés plus complexes, dites « multi-physiques ». Dans le domaine du biomédical et de l'aérospatial par exemple, les matériaux doivent pouvoir se déformer, non plus seulement sous l'action d'une force, mais aussi sous l'action d'autres stimuli, comme un champ magnétique. Les matériaux présentant de telles propriétés sont généralement qualifiés de « matériaux intelligents ».

En plus de ceux découverts à l'état naturel, de nombreux matériaux intelligents ont été conçus en laboratoire. Cependant, rares sont ceux qui

ont passé le cap de la preuve de concept et atteint le transfert technologique. C'est notamment le cas des élastomères « magnétorhéologiques », qui présentent pourtant un grand intérêt dans le domaine des interfaces actives et du biomédical, en raison de leur capacité à se déformer ou se rigidifier sous l'action d'un champ magnétique.

Les matériaux intelligents ont la particularité d'être complexes : ils mettent en jeu de nombreux phénomènes physiques, qui interagissent à différentes échelles. Pour tirer des applications concrètes de ces matériaux, il est indispensable de comprendre et de modéliser précisément ces interactions. Cette étape, qui nécessite de coupler des analyses expérimentales et théoriques, est cruciale, car elle permet d'établir les lois décrivant le comportement de tels matériaux. Ces lois constituent aujourd'hui le chaînon manquant des simulations numériques impliquées dans la conception de structures efficaces à partir de matériaux intelligents.

## Kees van der Beek



Kees van der Beek est titulaire d'un doctorat de physique et sciences naturelles de l'Université de Leyde aux Pays-Bas. En 1992, il soutient sa thèse sur une famille de matériaux supraconducteurs à haute température critique, les cuprates. Il effectue ensuite des séjours postdoctoraux au Laboratoire National d'Argonne aux États-Unis et à l'École polytechnique fédérale de Lausanne en Suisse. Il s'intéresse alors à la thermodynamique de l'état « mixte » établi dans les cuprates lorsqu'ils sont soumis à un champ magnétique.

Kees van der Beek intègre le CNRS en 1997. Affecté au Laboratoire des Solides Irradiés (LSI, École polytechnique / CNRS / CEA), il oriente ses travaux sur les propriétés de matériaux supraconducteurs exposés à une irradiation ou un rayonnement électromagnétique haute fréquence. Il étudie également des matériaux magnétiques et semi-conducteurs.

De 2009 à 2013, Kees van der Beek préside la division « Physique de la Matière Condensée » de la Société Française de Physique. En 2014, il prend la direction du LSI et en 2015, il devient président de la division « Matière Condensée » de la Société Européenne de Physique. Depuis 2016, il assure également la direction par intérim du département « Physique des Ondes et de la Matière » de l'Université Paris-Saclay.



# Médecine, transport, communications : les enjeux de la supraconductivité

Kees van der Beek



La supraconductivité est un état particulier de la matière, dans lequel un matériau perd sa résistance électrique. Un matériau supraconducteur peut ainsi conduire de l'électricité sans perte d'énergie.

Depuis sa découverte, la supraconductivité a fait son chemin. Elle intervient aujourd'hui dans un très large spectre d'applications. Dans le domaine du médical, l'emploi d'électroaimants supraconducteurs de grande taille a permis de révolutionner l'imagerie par résonance magnétique (IRM). Les matériaux supraconducteurs ont également trouvé des applications dans le secteur de l'énergie, du transport et des télécommunications. Ils permettent notamment de fabriquer des câbles et limiteurs de courant, de faire léviter de la matière par sustentation magnétique, de développer des dispositifs ultraperformants pour la détection et l'amplification de signaux ou encore, de poser les bases pour la conception de l'ordinateur quantique.

Les chercheurs du Laboratoire des Solides Irradiés (LSI, École polytechnique / CNRS / CEA)

œuvrent pour étendre le périmètre de ces applications et les perfectionner. Ils tentent en particulier de contrôler la dissipation électrique dans les matériaux supraconducteurs soumis à des champs magnétiques. Ils étudient également, grâce à l'irradiation, l'effet du désordre cristallin des matériaux sur la supraconductivité.

Les résultats déjà obtenus par le LSI sont exploités pour élaborer de nouveaux dispositifs d'intérêt. En collaboration avec le laboratoire Imagerie par IRM Médicale Multi-Modalités (CNRS / Université Paris-Sud), le LSI conçoit par exemple des antennes supraconductrices pour l'IRM. Celles-ci ont la particularité de pouvoir commuter de manière ultrarapide entre l'état résistif et non-résistif caractérisant les supraconducteurs. Dans la même veine, le LSI étudie avec Thales Research & Technology la possibilité d'utiliser des éléments supraconducteurs comme protections pour les circuits électroniques. Les deux partenaires cherchent également à identifier la limite ultime de résolution de filtres supraconducteurs pour les télécommunications.

## Yvan Bonnassieux



Ancien élève de l'École normale supérieure de Cachan et agrégé en génie électrique, Yvan Bonnassieux soutient sa thèse en 1998. D'abord maître de conférences au Conservatoire National des Arts et Métiers, il rejoint l'École polytechnique en 2001 et devient, en 2004, directeur adjoint du Laboratoire de Physique des Interface et des Couches Minces (LPICM, École polytechnique / CNRS). En 2007, il fonde l'équipe de recherche « Électronique organique sur grands substrats » (OLAE) et de 2006 à 2011, il est porteur de la chaire NANODIX « Électronique grand substrat pour les écrans OLED », associée à l'École polytechnique et Samsung.

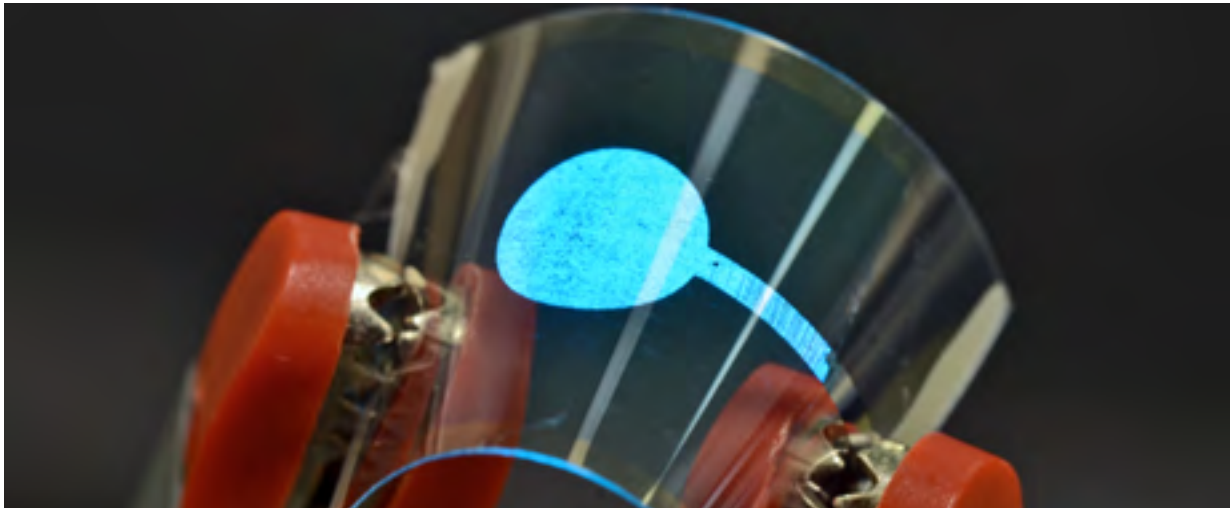
Yvan Bonnassieux obtient son habilitation à diriger des recherches en 2011 et devient professeur chargé de cours à l'École polytechnique en 2012. Ses travaux portent sur la modélisation, la conception et la caractérisation de composants et circuits de l'électronique flexible sur grands substrats (écrans plats, cellules photovoltaïques, capteurs...). Il est auteur de plus de 70 publications et Chevalier des Palmes académiques. Aussi, il entretient de nombreuses collaborations internationales, notamment aux États-Unis, au Japon et en Corée.





# Électronique organique, la flexibilité en marche

Yvan Bonnassieux



La micro-électronique est l'une des plus belles aventures scientifiques et technologiques de ces cinquante dernières années. C'est grâce aux évolutions de ses composants que nous avons décuplé la puissance de nos ordinateurs, développé les télécommunications et généralisé les écrans plats. Et l'électronique continue sa marche pour aller encore plus loin. Bientôt, elle pourra être intégrée à tous les objets les plus usuels de notre quotidien, nous connectant par là-même toujours un peu plus au réseau.

Flexibilité et réduction des coûts sont les deux ingrédients essentiels qui permettront cette conquête de « l'internet des objets connectés ». Sans ces deux conditions, l'incrustation d'écrans dans nos vêtements resterait par exemple impensable !

D'un point de vue technologique, les matériaux organiques à base de silicium semblent être la brique élémentaire d'une électronique flexible à faible coût. Les nanotubes de carbone, le graphène ou encore les plastiques intelligents présentent en effet une structure

en couches minces, d'une dizaine de nanomètres à quelques micromètres d'épaisseur, qui leur confère des propriétés intrinsèques remarquables. Ils sont ainsi naturellement flexibles, enroulables, voire pliables.

La mise en solution de ces matériaux sous la forme d'encres imprimables est même envisageable ! Les scientifiques y travaillent ardemment, dans l'optique de rivaliser avec le concept de « FabLab ». Ils tentent ainsi de mettre à disposition du public des « ElectroLab », pour que chacun puisse un jour imprimer son électronique chez soi.

L'électronique organique flexible fait l'objet de recherches intenses depuis la fin des années 80. Elle arrive petit à petit sur le marché, en particulier avec les écrans OLED. Les diodes électroluminescentes organiques qui les composent brisent pour la première fois le dogme des écrans uniquement plats. On peut désormais acquérir des smartphones et des télévisions aux écrans convexes et concaves. La course à l'électronique flexible est lancée !

# Contact

---

**Cécile Mathey**

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







**ÉCOLE POLYTECHNIQUE**  
91128 PALAISEAU CEDEX  
[www.polytechnique.edu](http://www.polytechnique.edu)