



LES JEUDIS DE LA RECHERCHE DE L'X

12 MAI 2016

STRUCTURES ET LOIS UNIVERSELLES

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.

« Structures et lois universelles » à l'École polytechnique

Depuis toujours, l'Homme cherche à comprendre la structure de l'Univers qui l'entoure et de la matière qu'il manipule. Longtemps séparées, ces deux quêtes se sont rapprochées ces dernières années pour donner lieu à une

approche globalisante : la physique des deux infinis. Reposant sur le triptyque théorie-modélisation-expérimentation, ces recherches font appel aux instruments les plus sophistiqués jamais imaginés, comme le LHC au CERN, ou aux concepts abstraits de la physique mathématique. Celle-ci a pour objet de comprendre la structure mathématique des équations de la physique, pour en déduire de nouvelles classes de solutions, en faire jaillir de nouvelles particules, en révéler les structures enfouies... Ces dernières sont intimement liées à l'existence de symétries, structures mathématiques abstraites à l'interface entre algèbre et géométrie, dont les propriétés intrinsèques sont porteuses de nouveaux concepts unificateurs.

Les présentations de Cédric Lorcé, Yves Sirois et David Renard témoignent de l'apport des mathématiques et de la physique dans notre compréhension du monde.

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

Cédric Lorcé



Cédric Lorcé est titulaire d'un doctorat de physique des particules de l'Université de Liège en Belgique. Après sa soutenance de thèse en 2007, il réalise divers stages postdoctoraux en Belgique, en Allemagne et en France, avant de rejoindre le laboratoire national SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) de Californie. Il intègre l'École polytechnique en 2015, en tant que maître de conférences au Centre de Physique Théorique (CPhT, École polytechnique / CNRS).

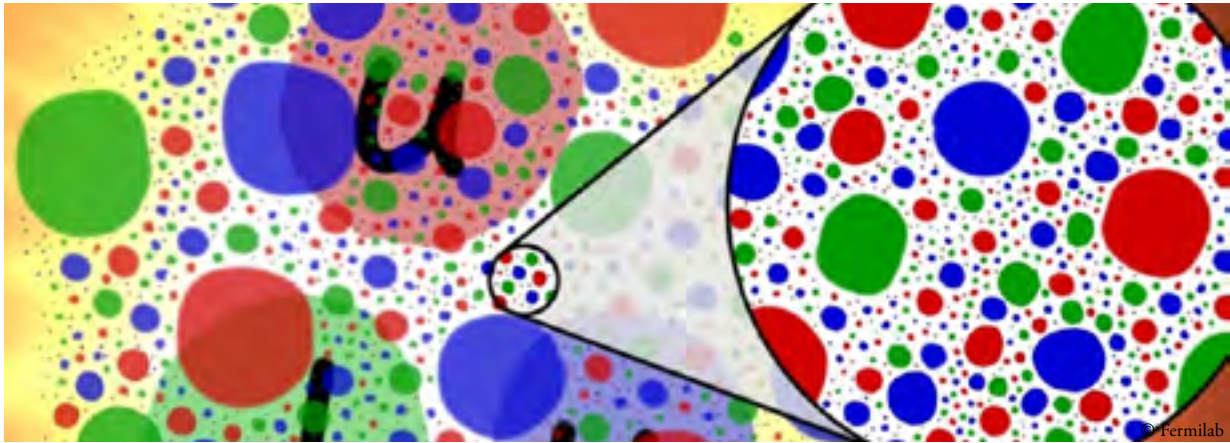
Cédric Lorcé s'intéresse à la chromodynamique quantique (QCD), théorie qui décrit l'interaction forte entre quarks et gluons, deux particules fondamentales constituant les protons et les neutrons. Il étudie la distribution et le mouvement de ces particules dans le but de comprendre, entre autres, l'origine du spin des protons et des neutrons. Il analyse aussi leur comportement au cours d'expériences de collisions réalisées à haute énergie ou forte intensité.

Les travaux de Cédric Lorcé ont des répercussions qui dépassent largement le cadre de la QCD. Ils s'appliquent également à l'optique et l'électrodynamique quantique, à la relativité générale et à la mécanique des fluides. Cédric Lorcé a publié près de 30 articles sur ces thèmes.



L'imagerie du proton : une plongée au cœur de la matière

Cédric Lorcé



La physique hadronique étudie la façon dont les briques élémentaires de la matière se combinent pour former les protons et neutrons, particules constituant les noyaux atomiques. La cohésion entre ces briques élémentaires, connues sous le nom de quarks, est assurée par des échanges de gluons. Ces derniers sont responsables de l'interaction forte, qui se trouve à l'origine de 98 % des masses qui nous entourent.

Le but de la physique hadronique est de comprendre plus en détail l'édification de la matière, pour élucider sa structure et son fonctionnement au niveau le plus intime. Le défi est de taille, d'autant que les protons et neutrons ne ressemblent à aucun autre type de système lié. Ils sont dominés par des effets à la fois quantiques et relativistes difficiles à cerner, car complexes et surtout éloignés de nos conceptions habituelles.

La compréhension fine de la structure du proton est aussi un enjeu majeur pour la physique des particules. Car ce sont des expériences de collisions entre protons qui ont dévoilé l'existence de nouvelles particules fondamentales,

comme le boson de Higgs, et permettront peut-être un jour de percer les mystères de la matière noire de l'Univers.

Aujourd'hui, des techniques d'imagerie similaires à la tomographie offrent la possibilité d'explorer très précisément la structure interne du proton. Elles génèrent des images en une, deux ou trois dimensions qui, une fois assemblées sur la base de modèles théoriques, permettent de reconstruire une vue globale du proton. Ces images renferment des informations précieuses sur la distribution spatiale et le mouvement des quarks et gluons au sein de la particule. Elles permettent également de déduire ses propriétés et caractéristiques fondamentales, comme sa taille, son moment magnétique ou son couplage aux particules exotiques.

Dans une perspective plus large, les techniques d'imagerie appliquées au proton apportent aux physiciens de nouvelles clés pour comprendre le phénomène de confinement (impossibilité d'observer un quark isolé à basse énergie) et l'origine des 98 % de la masse visible de l'Univers.

Yves Sirois



Yves Sirois est diplômé d'un doctorat de physique de l'Université McGill au Canada. Il est directeur de recherche CNRS au Laboratoire Leprince Ringuet (LLR, École polytechnique / CNRS), responsable France de la collaboration internationale CMS (Compact Muon Solenoid) et président de la section « Physique des hautes énergies » de la Société Européenne de Physique.

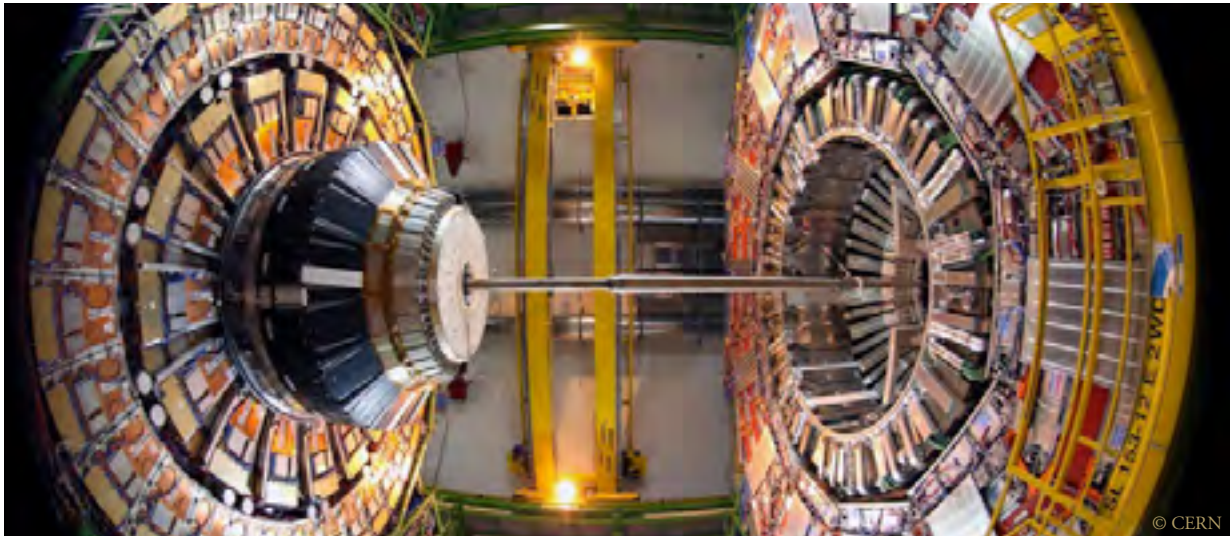
Depuis le début de sa carrière, Yves Sirois s'intéresse aux interactions fondamentales entre particules élémentaires. Il développe d'abord ses recherches au Canada sur les leptons, particules insensibles à l'interaction forte, puis auprès de grands accélérateurs de particules comme HERA en Allemagne, ou le LHC du CERN en Suisse. En 2012, Yves Sirois et son équipe au LLR et au CERN découvrent le « boson de Higgs », qui explique la masse des particules quantiques. Depuis, il s'attache à mesurer les propriétés de ce boson et à mettre en évidence son couplage aux leptons.

Yves Sirois a reçu, avec le CMS, le Prix « Physique des hautes énergies et des particules » de la Société Européenne de Physique en 2013, et à titre individuel, la Médaille d'argent du CNRS en 2014 et l'Insigne du mérite de la Faculté des arts et sciences de l'Université de Montréal en 2015.



Du boson de Higgs au Big Bang

Yves Sirois



La physique des particules est l'appellation moderne d'une aventure entamée il y a plusieurs siècles pour comprendre les lois fondamentales de la Nature. Elle s'intéresse aux principes de symétrie et de conservation à l'origine de la matière et des interactions.

Les lois fondamentales ont été écrites dans les premiers instants de la vie de notre Univers, au moment du Big Bang. Dans leur forme la plus simple, elles s'expriment au travers des interactions entre particules élémentaires. Ces interactions fondamentales sont étudiées dans de grands collisionneurs de particules comme le LHC (Large Hadron Collider) à la frontière franco-suisse.

En concentrant des quantités colossales d'énergie dans un volume de la taille d'un proton, les expériences ATLAS et CMS réalisées au LHC ont notamment permis de reproduire les conditions de la matière aux origines de l'Univers. C'est précisément dans ce cadre qu'a été découvert en 2012 le fameux « boson de Higgs », aussi appelé « boson H » ou « boson BEH », en mémoire des

théoriciens Brout, Englert et Higgs qui ont prédit son existence en 1964.

La découverte du boson de Higgs a été récompensée par un Prix Nobel en 2013. Elle a profondément bouleversé notre connaissance de la matière dans l'Univers. Car le boson H est associé à un champ d'un genre nouveau, responsable de la masse des particules.

En fait, c'est en se propageant dans le vide quantique, baigné par le champ de Higgs, que les particules deviennent massives. Et la masse des particules, c'est ce qui permet à la matière de s'organiser, aux atomes d'apparaître dans l'Univers, puis à la matière ordinaire d'enclencher le cycle des étoiles et les explosions d'étoiles conduisant à la naissance de notre monde.

Depuis 2015, l'aventure scientifique se poursuit à plus haute énergie au LHC. De nouvelles voies sont explorées pour comprendre la nature de la matière sombre et l'origine de l'asymétrie entre matière et antimatière dans l'Univers.

David Renard



David Renard soutient sa thèse de mathématiques à l'Université de Poitiers en 1996. Il réalise ensuite un séjour postdoctoral au MIT (Massachusetts Institute of Technology) de Cambridge, puis à l'IAS (Institute for Advanced Study) de Princeton aux Etats-Unis. David Renard obtient son habilitation à diriger des recherches en 2000 et rejoint l'École polytechnique en 2003. Il devient professeur associé au Centre de Mathématiques Laurent Schwartz (CMLS, École polytechnique / CNRS) en 2011.

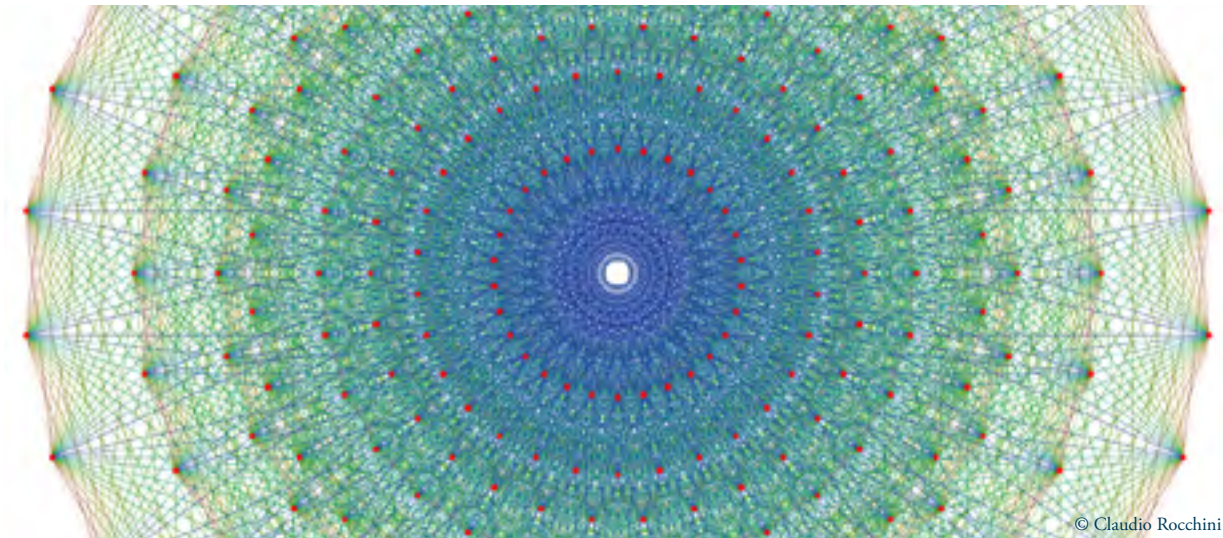
David Renard s'intéresse à la théorie des groupes, à leurs représentations et à l'analyse harmonique invariante sur ceux-ci. La théorie des représentations cherche à rendre plus concrets et plus accessibles au calcul des objets algébriques abstraits, en les représentant sous la forme de matrices. Cette théorie trouve des applications en analyse, en géométrie et en algèbre. Elle est omniprésente en mathématiques comme en physique théorique.

Les travaux de David Renard s'insèrent dans le cadre d'un vaste programme de recherche associant arithmétique et théorie des représentations, le « programme Langlands », du nom du mathématicien qui en a eu la vision à la fin des années 1960.



Les symétries, un concept unificateur

David Renard



© Claudio Rocchini

Dans le langage courant, une symétrie est une transformation qui conserve une certaine forme géométrique. Par extension, en mathématiques, elle désigne la transformation d'un « espace » abstrait, qui préserve un objet ou certaines caractéristiques d'un objet de cet espace.

Les symétries sont depuis longtemps utilisées pour étudier les objets mathématiques. Un progrès conceptuel fondamental est réalisé en 1829 par Evariste Galois, qui introduit la « structure de groupe » de l'ensemble des symétries d'un objet. En 1872, Felix Klein prolonge cette démarche dans son programme d'Erlangen : toutes les géométries sont définies par des groupes de symétries et réciproquement, certains groupes de symétries peuvent donner lieu à de nouvelles géométries.

La théorie des représentations découle de ce changement de perspective. Elle consiste à prendre en compte tous les systèmes qui admettent un groupe de symétries abstrait donné. L'ensemble

de ces systèmes, appelés « représentations », et leurs interactions forment une « catégorie » qui devient le sujet d'étude.

En physique, les groupes de symétries induisent la conservation de certaines quantités invariantes (Théorème de Noether, 1918). Certaines théories, comme celles de la relativité restreinte et générale d'Albert Einstein, sont d'ailleurs construites en imposant leurs symétries. En mécanique quantique, il existe aussi des symétries dites « internes », qui ne sont pas liées à l'espace-temps, mais aux particules et aux forces auxquelles elles sont soumises.

En mathématiques, des pans entiers de la recherche s'attachent à élucider la structure de certains groupes et de leurs représentations. Le programme de Langlands vise notamment à relier les représentations d'un groupe de nature arithmétique encore très mystérieux, le « groupe de Galois de \mathbb{Q} », à celles d'autres groupes de nature plutôt géométrique.

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