

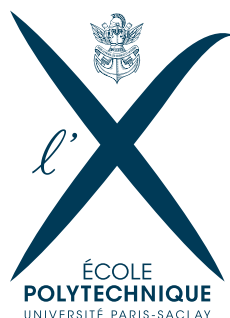


LES JEUDIS DE LA RECHERCHE DE L'X

5 MARS 2015

STRUCTURES ET LOIS UNIVERSELLES

Clefs mathématique et physique pour comprendre le monde



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. Ce partenariat est garant que les recherches menées dans les laboratoires satisfont une exigence de qualité, nécessaire pour fournir le support du niveau d'enseignement exigeant de l'École.

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. Il crée un écosystème propice à l'innovation. Le centre de recherche de l'X est reconnu au plan national et international, en témoignent les prix et distinctions reçus chaque année par les personnels de recherche.

Une stratégie de recherche organisée autour de 8 thématiques interdisciplinaires

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
- Matière et lumière en conditions extrêmes
- Marchés, innovation et relations science et société
- Nanosciences, matériaux innovants et procédés efficaces
- Structures et lois universelles

C'est cette grille que nous utilisons pour présenter nos recherches lors de la série des « Jueidis de la recherche de l'X », que nous poursuivons avec la thématique « Structures et lois universelles ».

Des transferts de technologie pour valoriser la recherche

L'École polytechnique détient aujourd'hui un portefeuille de 500 brevets récents et diversifiés et 18 demandes de brevets sont déposées en moyenne par an. Les chercheurs de l'École ainsi que leurs collaborations fructueuses avec des étudiants sont à l'origine de la création de nombreuses start-ups.

« Structures et lois universelles » à l'École polytechnique

Grâce aux clefs fournies par les Mathématiques et la Physique, il est possible d'explorer les structures abstraites pour en déduire leurs propriétés intrinsèques, de chercher les relations profondes entre géométrie et algèbre, entre l'infiniment petit et l'infiniment loin,

de comprendre la structure mathématique des équations de la physique pour en déduire de nouvelles classes de solutions et en faire jaillir de nouvelles particules...

Motivés par le seul aiguillon de progresser dans la compréhension du monde qui nous entoure, qu'il soit réel ou abstrait, plusieurs laboratoires de l'École polytechnique travaillent au cœur de ces questions et les étudient à travers la théorie, la modélisation, la simulation et l'expérimentation. L'actualité de ces deux dernières années a notamment mis en exergue les chercheurs du Laboratoire Leprince-Ringuet ayant participé à la découverte du Boson de Higgs au sein

de l'expérience CMS. Demain, de nouveaux résultats viendront compléter les théories et les modèles mathématiques et physiques actuels et ouvriront la voie à de nouvelles applications scientifiques ou sociétales inenvisageables aujourd'hui.

Les présentations de Thierry Paul, d'Olivier Drapier et de Marios Petropoulos permettront de lever un peu le voile sur l'apport des mathématiques et de la physique dans notre vision du monde.

Patrick Le Quéré,

Directeur adjoint de l'enseignement et de la recherche

Thierry Paul



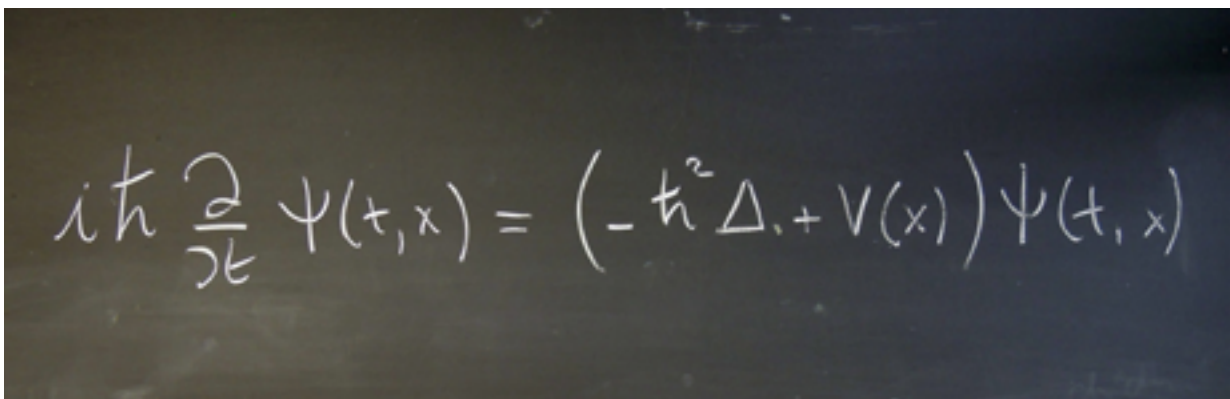
Thierry Paul est chercheur au CNRS et membre du Centre de Mathématiques Laurent Schwartz (CMLS, Unité Mixte de Recherche du CNRS à l'École polytechnique) depuis 2009. Il est responsable de l'équipe « Analyse et Équations aux Dérivées Partielles » de ce laboratoire. Son domaine de recherche contient la théorie des équations aux dérivées partielles et diverses méthodes asymptotiques associées. Il s'intéresse aux aspects de l'analyse utiles principalement à la mécanique quantique, mais aussi à l'océanographie et la topologie.

Thierry Paul anime aussi des échanges entre mathématiciens et philosophes au sein du Réseau Thématique Pluridisciplinaire « phenomath » du CNRS dont il est co-responsable.



La transition quantique - classique : physique-mathématiques-philosophie

Thierry Paul


$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(t, x) = \left(-\hbar^2 \Delta + V(x) \right) \Psi(t, x)$$

La Mécanique Quantique a bouleversé la physique du siècle dernier par l'abandon définitif du paradigme de la Physique Classique hérité de Newton. Mais elle a aussi profondément influencé l'évolution des mathématiques depuis les années 1920, et a créé un revirement ontologique dans notre perception du monde que la philosophie a encore de nos jours du mal à incorporer dans sa dynamique de pensée. Les mathématiques jouent un rôle très important dans la théorie quantique. Non seulement comme aide au calcul, mais aussi comme lieu naturel de la cohérence conceptuelle de ses fondations : l'immense mathématicien Johannes von Neumann a en effet joué un rôle déterminant dans l'élaboration de l'axiomatique de la théorie quantique.

Si l'on explique traditionnellement le fait que les concepts quantiques sont réservés au microsco-

pique, la physique des atomes froids de ces trente dernières années a clairement évoqué la persistance d'effets quantiques dans le cadre familier de notre culture classique macroscopique.

De la même manière, les mathématiques au cœur du quantique permettent de comprendre cette transition quantique-classique, transition subtile et indirecte créée par des phénomènes de grandes oscillations. Mais les mathématiques récentes ont aussi commencé à imaginer les nouveaux paradigmes qui sont le siège de ces effets quantiques persistant à l'échelle macroscopique. Ces nouveaux outils de compréhension nous forcent à abandonner certains piliers de notre culture philosophique classique, tels que l'idée newtonienne d'un espace absolu dans lequel se mouvaient les objets qui nous sont familiers.

Olivier Drapier



Olivier Drapier est chercheur au CNRS au Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR, Unité Mixte de Recherche du CNRS à l'École polytechnique). Entré au CNRS en 1990 à l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon, lauréat en 2000 du prix Thibaud de l'Académie des Sciences, Belles Lettres et Arts de Lyon, il est arrivé à l'École polytechnique en 2001 pour poursuivre ses recherches sur les collisions d'ions lourds de haute énergie, notamment au CERN et au laboratoire de Brookhaven (États-Unis). Il étudie désormais les neutrinos grâce à l'expérience internationale T2K (Tokai to Kamioka) située au Japon. Il a ainsi participé à la première observation directe de la transformation de neutrinos d'un type en un autre. Les équipes françaises de cette expérience ont reçu le prix « La Recherche » en 2012 pour cette découverte. Il est membre de la toute jeune collaboration internationale JUNO (Jiangmen Underground Neutrino Observatory), qui se propose de construire dans le sud de la Chine un détecteur de neutrinos souterrain gigantesque, comprenant vingt mille tonnes de scintillateur liquide. Ce dispositif détectera les antineutrinos provenant de deux centrales nucléaires distantes de cinquante kilomètres dans le but d'étudier la masse des différents types de neutrinos.



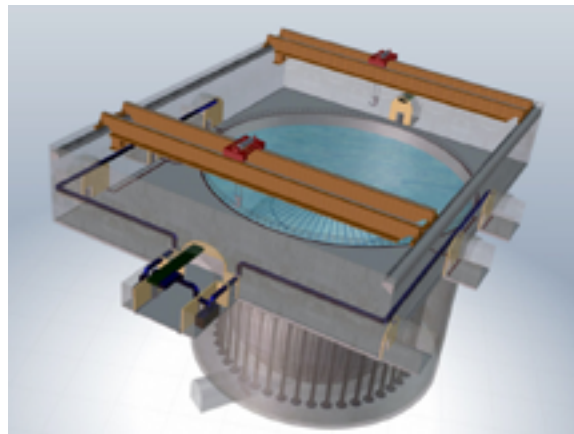
Le neutrino, cet inconnu

Olivier Drapier

Le neutrino est une particule élémentaire de matière qui apparaît dans les réactions nucléaires et les phénomènes de radioactivité. Comme les autres constituants élémentaires de la matière, quarks et électrons, le neutrino possède une antiparticule qui lui correspond.

Postulée par W. Pauli dès 1930 pour concilier le principe de conservation de l'énergie avec les observations, l'existence du neutrino n'a été confirmée expérimentalement qu'en 1956. Dépourvu de charge électrique, il interagit si faiblement avec la matière qu'à chaque seconde, nous sommes traversés, sans nous en rendre compte, par des centaines de milliers de milliards de neutrinos produits naturellement par le Soleil. Nous connaissons trois types de neutrinos, appelés « électron », « muon » et « tau », avec des caractéristiques différentes. Depuis 1998, nous savons qu'ils peuvent osciller d'un type à l'autre, ce qui prouve entre autres qu'ils possèdent une masse non nulle.

De nombreuses expériences étudient les propriétés de ces particules insaisissables, notamment leurs masses et leurs probabilités de transformation. Elles recherchent en particulier une possible différence de comportement entre neutrinos et antineutrinos. C'est le cas de l'expérience « T2K » (Tokai to Kamioka) au Japon, à laquelle participent les chercheurs du Laboratoire Leprince-Ringuet. Dans cette expérience, des neutrinos ou des antineutrinos de type « muon » sont produits par un accélérateur de particules et détectés 300 km en aval, dans les cinquante mille tonnes d'eau ultra-pure



de l'immense détecteur souterrain « SuperKamiokande ». On doit à cette expérience la première observation directe de la transformation des neutrinos de type « muon » en neutrinos de type « électron ». Un dispositif vingt fois plus grand encore, « HyperKamiokande » est actuellement à l'étude. Il devrait permettre d'obtenir une précision inégalée sur les probabilités de transformation des neutrinos et des antineutrinos. Parallèlement, notre laboratoire participe au projet d'expérience « JUNO » (Jiangmen Underground Neutrino Observatory), dans le sud de la Chine, sphère souterraine de 40 m de diamètre qui permettra de mesurer la hiérarchie des masses de ces particules.

Messagers des phénomènes cosmiques, révélant la présence de réactions nucléaires ou de matières radioactives, traversant sans interagir des épaisseurs considérables de matière, les neutrinos sont bien loin d'avoir révélé tous leurs secrets, et une meilleure connaissance de ces particules permettra sans doute un jour de mieux les utiliser.

Marios Petropoulos



Marios Petropoulos est chercheur au CNRS et enseignant au Département de Physique de l'École polytechnique. Il est membre du Centre de Physique Théorique (CPhT, Unité Mixte de Recherche du CNRS à l'École polytechnique) et responsable de l'équipe de Théorie des Cordes au sein de cette unité. Après un début de carrière en physique expérimentale de la matière condensée, il s'est orienté vers la physique théorique et mathématique. Ses intérêts couvrent les théories de supergravité, les trous noirs et autres objets exotiques ainsi que la description des cordes dans un environnement gravitationnel. Il a été le pionnier de l'étude du comportement des cordes dans un champ de gravitation de type *anti de Sitter*, dont le rôle s'est avéré fondamental dans le concept de correspondance holographique. Il participe régulièrement à des actions et conférences orientées vers le grand public.



Cordes et applications

Marios Petropoulos

Notre connaissance des constituants élémentaires de la matière et de leurs interactions fondamentales est codée dans le *Modèle Standard*. Issu du monde microscopique, ce modèle théorique a aussi pour vocation d'expliquer la formation et l'évolution de l'univers à grande échelle. Depuis sa conception à la fin des années 70, le *Modèle Standard* a été sans cesse confronté avec succès à l'expérience, culminant avec la découverte en 2013 du boson scalaire de Brout, Englert et Higgs. Dans le même temps, de nombreuses extensions ont été proposées et développées. Celles-ci sont motivées soit par des considérations esthétiques ou conceptuelles : unification des interactions et recherche de constituants plus fondamentaux ; soit pour répondre à des questions soulevées par l'observation de l'univers : que sont la matière et l'énergie sombres ? Dans cette quête, la théorie des cordes occupe une place privilégiée par son caractère universel :

elle embrasse toutes les autres tentatives d'unification et fournit une version microscopique de la gravitation.

Sans préjuger de sa pertinence à décrire la matière, la théorie des cordes a ouvert de nombreuses perspectives et permis des avancées conceptuelles pérennes qui transcendent les motivations initiales d'unification. La plus profonde de ces avancées est la *dualité holographique*. Celle-ci relie l'interaction gravitationnelle aux autres interactions (interactions de jauge). La propriété de dualité holographique élève la théorie des cordes au rang d'outil au service d'une pléthore de phénomènes microscopiques. À l'instar de la théorie quantique des champs développée entre 1930 et 1970, cet outil est applicable à des domaines aussi variés que la supraconductivité à basse température ou la transition superfluide d'atomes froids en rotation.

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