



I-ENS
Institut de l'École
normale supérieure



PSL 

LES ENTREPRISES FACE À LA RÉVOLUTION QUANTIQUE

Séminaire de l'Institut de l'École normale supérieure

Huit séances en soirée entre octobre et décembre 2022, à Paris

Ce séminaire permettra à une douzaine de cadres dirigeants de se familiariser avec l'éventail des technologies quantiques et d'en explorer les usages et les enjeux pour leur entreprise, en travaillant en petit comité avec un panel de chercheurs, d'experts et d'entrepreneurs œuvrant aux frontières actuelles de la discipline.

Les technologies de la révolution quantique permettent des calculs plus performants, des communications plus sécurisées et des capteurs plus sensibles, avec des conséquences majeures dans tous les secteurs d'activité. Pourquoi ce domaine en plein essor devient-il de plus en plus visible ? Quels usages sont porteurs de transformations pour les entreprises, et à quel horizon ? Pourquoi les grands du numérique y investissent-ils massivement ? Pourquoi les États en font-ils un enjeu de souveraineté numérique, au même titre que le cloud et l'intelligence artificielle ?

Le séminaire évoquera en grandes lignes les fondements théoriques des technologies quantiques dans des termes intelligibles pour les non-scientifiques. Les participants y découvriront les champs d'application de ces technologies, ainsi que les principaux acteurs en présence. L'évocation d'un ensemble de cas d'usage manifesterà le lien étroit entre la recherche fondamentale et les startups.

Il existe en effet un écosystème mondial du quantique, encore mal connu de la plupart des entreprises. Une série d'enjeux stratégiques s'y dessine pourtant déjà : enjeux scientifiques, technologiques et industriels, mais aussi de souveraineté, d'éthique, de formation des talents.

Le séminaire procurera aux participants des grilles de lecture pour déchiffrer et suivre les évolutions du monde quantique, en estimer les implications pour leurs métiers et en intégrer dès à présent la perspective dans l'architecture des systèmes d'information et les trajectoires d'innovation de leurs entreprises.

PROGRAMME

Session 1 – mardi 18 octobre 2021 à 18h30

Ouverture – Tour de table – Méthodes de travail

Une introduction à la seconde révolution quantique, par *Olivier Ezratty*

Cette séance offrira un panorama à 360° du calcul quantique, de ses principales applications – dans les télécommunications, la cryptographie, les capteurs – et des théories physiques et mathématiques qui en constituent le socle. Comment fonctionne un ordinateur quantique, comparé à un ordinateur classique et aux calculateurs haute performance (HPCs) ? Quels traitements et algorithmes se prêtent à cette nouvelle technologie ? Qu'entend-t-on par *avantage quantique*, notion encore en devenir ? Qui sont les acteurs en présence dans le monde et en France ? Les performances atteintes par chacun ? Que signifie l'emballage médiatique actuel ?

Session 2 – Mercredi 9 novembre 2022, 19h

Dans l'écosystème de la recherche, une startup à la quête de l'ordinateur quantique, par *Takis Kontos* et *Pierre Desjardins*. Séance animée par *Olivier Ezratty*.

Quel est l'état de l'art de la recherche en calcul quantique ? Quelles en sont les questions, les obstacles à surmonter, les horizons de temps ? L'intervention montrera comment un projet de recherche initié il y a presque 20 ans a conduit à l'émergence d'une startup française, *C12 Nanotechs*, qui vise à créer un processeur quantique résistant aux erreurs. Le parcours de C12, ses partenariats du côté de la fabrication et du logiciel, montreront comment travailler sur le temps long, de la recherche à l'entrepreneuriat, et comment les différentes filières de qubits se positionnent les unes par rapport aux autres.

Session 3 – mardi 15 novembre 2022, 19h

Conception et utilisation des algorithmes quantiques, par *Frédéric Magniez*

Cette intervention évoquera les principaux algorithmes quantiques, de leur conception à leur usage. Quelle menace l'algorithme de Shor fait-il peser sur la cybersécurité à base de clés publiques ? Qu'est-ce que la supériorité quantique ? Quels problèmes les calculs quantiques peuvent-ils servir à résoudre ? De quelles ressources physiques ont-ils besoin ? Comment les comparer aux algorithmes classiques, notamment dans les domaines d'applications concrètes ?

Session 4 – mardi 22 novembre, 19h

L'écosystème entrepreneurial du quantique, par *Christophe Jurczak*

Quelles dynamiques sont à l'œuvre dans cet écosystème ? Comment se différencie-t-il d'autres écosystèmes entrepreneuriaux comme celui de l'IA ? Comment estimer les chances des startups françaises, comparées à celles qui mûrissent au sein des écosystèmes du Canada, des États-Unis, du Royaume-Uni ? L'intervention évoquera en particulier les sources et les problématiques de financement des startups du secteur.

Session 5 – mercredi 30 novembre, 19h

Télécommunications et cryptographie quantiques, par *Eleni Diamanti*, séance animée par *Olivier Ezzratty*

Cette séance sera consacrée aux principes et aux cas d'usages des télécommunications et de la cryptographie quantique. Comment cette cryptographie, qui s'appuie sur les propriétés quantiques de la lumière, permet-elle de sécuriser les relations entre parties prenantes ? Sur quelles infrastructures de télécommunications physiques s'appuie-t-elle ? Quelles entreprises sont directement concernées par ces enjeux ? L'intervention évoquera les projets pilotes du domaine en Chine et en Europe, les projets collaboratifs européens associant la recherche et les entreprises, ainsi que des cas d'usage, notamment le projet *WeLinQ* et ses domaines d'application.

Session 6 – mercredi 7 décembre, 19h

Les entreprises pionnières et l'adoption des technologies quantiques, par *Laure Le Bars*

A partir de sa connaissance des premiers acteurs de l'expérimentation des technologies quantiques, l'oratrice discutera les raisons pour lesquelles il est temps pour les grandes entreprises de s'intéresser au domaine et de s'y impliquer. Elle évoquera la démarche et les méthodologies concrètes à mettre en place à cette fin, dans une perspective européenne.

Session 7 – mardi 13 décembre, 19h

Géopolitique du quantique, par *Neil Abroug*. Séance animée par *Olivier Ezzratty*.

Pourquoi et comment l'État entreprend-il de bâtir une stratégie française dans un domaine tel que le quantique ? Quelles sont les composantes d'une telle stratégie ? Quels rôles y jouent, respectivement, l'État, l'Union Européenne, les laboratoires de recherche, les entreprises de technologie, les entreprises utilisatrices ? Comment l'initiative française se compare-t-elle à celles d'autres pays ? Quels partenariats sont en cours ou peuvent être développés ? Comment les différents acteurs gèrent-ils le temps long ?

Session 8 de clôture – mercredi 21 décembre 2022, 18h30

Éthique et quantique, par *Alexia Auffèves* (*sous réserve*). Séance animée par *Olivier Ezzratty*.

De même que l'intelligence artificielle, les technologies quantiques soulèvent des questions d'éthique qui leur sont propres. Les chercheurs doivent-ils se préoccuper dès à présent des retombées de leurs recherches sur la société ? Comment la notion d'innovation responsable doit-elle s'appliquer à leurs travaux. L'oratrice évoquera notamment la question de l'empreinte énergétique des technologies quantiques, qui fait l'objet de la *Quantum Energy Initiative* qu'elle a lancée. Au-delà, comment mobiliser et motiver les meilleurs talents, et comment gérer la complexité et l'incertitude autour d'un domaine quantique qui demeure assez nouveau pour les entreprises ?

COMITÉ DE PROGRAMME

Olivier Ezzratty

-

Olivier Sorba

-

Pierre Cohen-Tanugi

INTERVENANT(E)S

Olivier Ezratty, centralien, conseille les entreprises et les pouvoirs publics sur les technologies quantiques. Auteur, conférencier et formateur réputé, il est notamment l'auteur de l'ebook *Comprendre l'informatique quantique* (2018, 2019, 2020) qui fait autorité sur le sujet, avec une quatrième et cinquième édition en anglais (*Understanding Quantum Technologies*, 2021 et 2022). Il anime aussi une série de podcasts sur ces questions avec Fanny Bouton.

Takis Kontos est Directeur de recherche CNRS au laboratoire de physique de l'École normale supérieure. Il a soutenu une thèse de doctorat au Centre de spectrométrie nucléaire et de spectrométrie de masse (CSNSM) à Orsay, puis effectué un postdoctorat à l'université de Bâle. Ses recherches portent sur le transport quantique dans des nanostructures hybrides à base de nanotubes de carbone.

Pierre Desjardins, polytechnicien, est titulaire d'un Master of Science de l'Université de Columbia en physique quantique. Il est le co-fondateur et PDG de *CI2*, une start-up spécialisée dans la création d'ordinateurs quantiques à base de nanotubes de graphène. Il a travaillé comme assistant de recherche dans le laboratoire de photonique quantique du MIT. De 2014 à 2020, il a été consultant en stratégie chez Roland Berger.

Frédéric Magniez, normalien (Cachan), agrégé de mathématiques et docteur en informatique, est professeur au Collège de France depuis 2021. Ses recherches portent sur la conception d'algorithmes probabilistes pour le traitement des grandes masses de données, ainsi que sur le développement de l'informatique quantique. Il a dirigé l'équipe *Algorithmes et complexité*, dont la recherche en informatique quantique est mondialement reconnue. Il est actuellement Directeur de l'Institut de recherche en informatique fondamentale (IRIF).

Christophe Jurczak, polytechnicien, docteur en physique, est associé et managing partner du fonds d'investissement *Quantonation*, lancé par Charles Beigbeder, seul fonds français spécialisé dans les technologies quantiques. Il est à ce titre chairman de la startup *Pasqal* (qubits à atomes froids) ainsi que de *Qubit Pharma* (logiciels de simulation dans la santé), deux participations parmi la presque vingtaine que compte Quantonation.

Eleni Diamanti est spécialisée en photonique quantique appliquée aux télécommunications et à la cryptographie quantique. Après un doctorat à Stanford, elle a poursuivi ses recherches à l'Institut d'Optique, puis à Télécom Paristech et, depuis 2016, au laboratoire LIP6 du CNRS et Sorbonne Université. Directrice de recherches CNRS depuis 2019, elle co-dirige le PCQC (*Paris Center for Quantum Computing*) et est engagée dans de nombreuses collaborations européennes. Elle a récemment cofondé la startup *WeLinQ* qui met au point une mémoire quantique à base d'atomes froids.

Laure Le Bars est présidente du consortium européen QuIC (*European Quantum Industry Consortium*) qui réunit les utilisateurs européens des technologies quantiques. Ingénieure de l'ENSIIE, elle a fait sa thèse en recherche opérationnelle et en IA au sein du GERAD (Groupe d'études et de recherche en analyse des décisions) à Montréal. Elle est par ailleurs directrice de recherche, en charge du calcul quantique, chez SAP, où elle occupe depuis 26 ans des fonctions dans la R&D, notamment en Hongrie et au Canada.

Neil Abroug, ingénieur de l'INSA Strasbourg titulaire d'un doctorat de l'Université de Strasbourg, coordonne la stratégie quantique nationale française depuis avril 2021. Il a notamment participé au lancement de la plateforme Clinatex à Grenoble, associant le CEA et l'Université Joseph Fourier. Il est le rapporteur de la mission parlementaire lancée début 2021 et pilotée par la députée Paula Forteza, qui a remis son rapport au gouvernement en janvier 2021.

Alexia Auffèves, normalienne (Lyon), philosophe de formation, a fait sa thèse en physique quantique au LKB de l'ENS dans le groupe de Serge Haroche. Directrice de Recherche CNRS, elle est affectée à compter de septembre 2022 au laboratoire de recherche MajuLab à Singapour, après avoir exercé à l'Institut Néel de Grenoble. Elle a lancé fin 2021 la *Quantum Energy Initiative* qui vise à fédérer les laboratoires de recherche et entreprises du monde entier dans le but de contenir dans des limites raisonnables la consommation d'énergie des ordinateurs quantiques.

LES ENTREPRISES FACE À LA RÉVOLUTION QUANTIQUE

**Huit séances en soirée entre octobre et décembre 2022 (18h30 ou 19h – 22h)
à l'École normale supérieure, 45 rue d'Ulm ou 60 rue Mazarine, Paris**

La participation à l'ensemble du cycle est de **7 950€ HT**, soit 9 540 € TTC par personne. Elle comprend les frais d'inscription, de restauration et de documentation.

Le nombre de participants est limité à 12.

Les règles sanitaires qui seraient encore en vigueur seront strictement observées.

Le règlement est à faire parvenir à **l'Institut de l'École normale (I-ENS), 45 rue d'Ulm, 75005 Paris.**
Pour toute information : institut@ens.psl.eu ≈ tél : 01 46 33 67 14 et 07 82 70 83 60

L'Institut de l'École normale supérieure

L'Institut de l'École normale supérieure est une association sans but lucratif (régie par la loi de 1901).

Il propose à des cadres dirigeants des secteurs public et privé de travailler au contact de chercheurs et d'experts de haut niveau, lors de séminaires d'une quinzaine de personnes qui mobilisent un large éventail de disciplines scientifiques et littéraires pour éclairer les phénomènes émergents qui vont transformer le paysage stratégique des entreprises.

Les participants à ces formations, qui sont généralement chargés de gérer le présent mais aussi d'imaginer l'avenir de leurs organisations et d'en préparer les évolutions, trouvent à l'Institut l'occasion de mettre en perspective leur pratique professionnelle et d'élargir le champ de leur réflexion.

Les adhérents de l'association sont des groupes tels que La Caisse des Dépôts, LVMH, L'Oréal, Hermès, MBDA, des banques et compagnies d'assurances comme BNP Paribas Cardif ou Lazard, des cabinets juridiques internationaux comme Cleary, Gottlieb, Steen & Hamilton, des sociétés d'investissement comme Euris.

Ne visant aucunement à enseigner des techniques de management, l'Institut de l'ENS déploie son offre de formation dans les domaines où l'approfondissement de la réflexion et de la culture personnelles des dirigeants ne peut être dissocié du développement de leurs compétences professionnelles.

La conviction de ses animateurs est que l'apport des sciences et des humanités est plus que jamais essentiel pour préparer les décideurs à appréhender la complexité du monde qui vient.

*

L'Institut de l'ENS a aussi pour vocation de tisser des liens entre les entreprises et la recherche universitaire, particulièrement celle qui s'effectue au sein de son École. Le budget de L'Institut est alimenté par les cotisations de ses membres et par le paiement des prestations qu'il fournit. Ne recevant aucune subvention, il est parfaitement indépendant.

Président : Dominique D'Hinnin
Vice-président : Frédéric Worms
Directeur de l'École normale supérieure
Trésorier : Jean Michel Mangeot
Directeur : Pierre Cohen-Tanugi