



INSTITUT DE FRANCE  
Académie des sciences



## L'ordinateur quantique : où en sommes-nous ?

Mardi 17 mai 2022 de 14h30 à 17h00

Grande salle des séances  
de l'Institut de France

23, quai de Conti, 75006 Paris

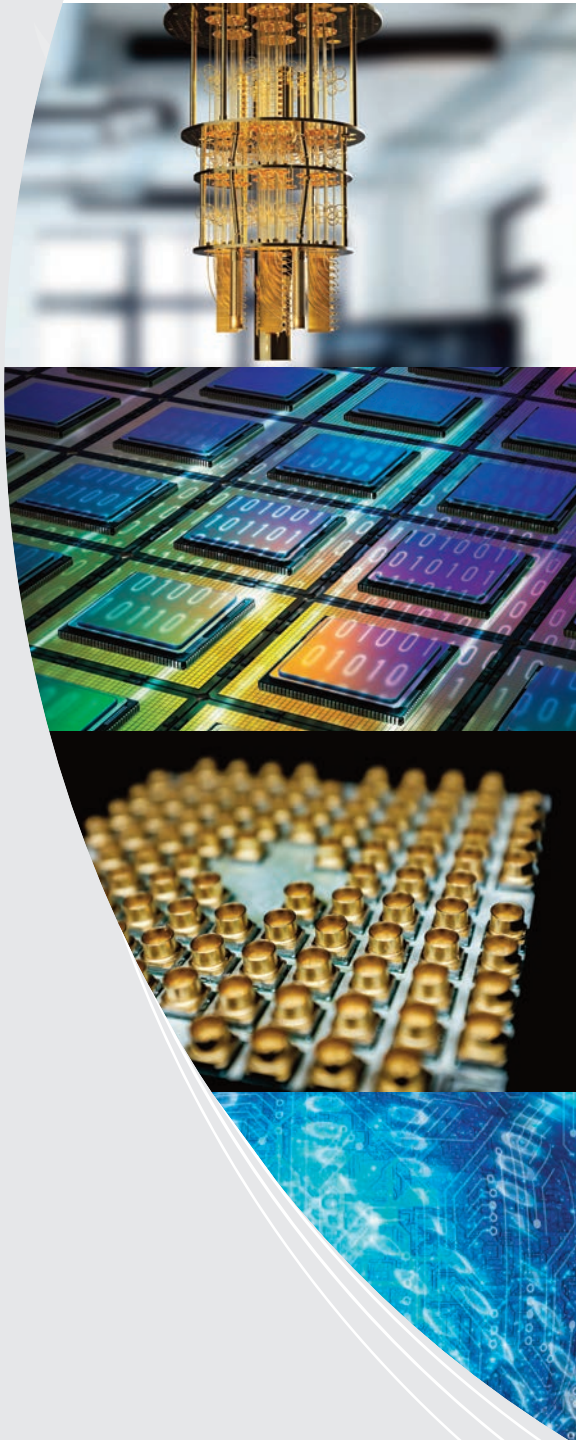
L'informatique quantique est en développement rapide, qu'il s'agisse des plateformes matérielles, des avancées théoriques ou des questions de programmation.

À côté de l'utilisation de ces plateformes pour des simulations quantiques qui défient déjà les calculateurs classiques les plus puissants, on assiste à des progrès remarquables sur l'ordinateur quantique proprement dit, ensemble programmable de bits quantiques intriqués. Des outils de programmation spécifiques sont apparus récemment, anticipant sur des architectures très loin d'être stabilisées. Ces outils peuvent être installés sur des ordinateurs classiques utilisés comme émulateurs mais ils permettent aussi de tester les programmes sur de vrais ordinateurs quantiques imparfaits. Ainsi le développement d'applications basées sur une algorithmique quantique est devenu une réalité qui n'est plus réservée aux spécialistes de la mécanique quantique.

C'est sur ce constat que nous organisons cette conférence-débat ; quatre conférenciers feront le point sur la situation actuelle et sur les perspectives.

Cette conférence-débat est centrée sur les simulateurs, les calculs, les algorithmes, les outils d'implémentations sur les machines virtuelles ou réelles, et les applications déjà en développement. Les orateurs nous montreront aussi que l'informatique quantique a créé un nouveau paradigme pour traiter l'information avec de nouvelles conjectures algorithmiques et mathématiques. Enfin ils nous expliqueront en quoi l'informatique quantique travaille de pair avec l'informatique digitale classique, chacune émulant l'autre.

Les conférences sont destinées à un public non spécialiste mais ayant une pratique de la méthode scientifique, ou un vif intérêt pour elle.



# Les organisateurs de la conférence-débat

Cette conférence-débat a été organisée par les sections de Physique et de Sciences mécaniques et informatiques sous la direction de :



## **Alain ASPECT**

Directeur de recherche émérite au CNRS, professeur à l'Institut d'Optique et à l'École polytechnique, membre de l'Académie des sciences

Alain Aspect est un ancien élève de l'ENSET de Cachan (aujourd'hui ENS-Paris-Saclay) et de l'université d'Orsay. Il est actuellement professeur à l'Institut d'Optique-Université Paris-Saclay et à l'École polytechnique. Sa recherche a porté sur des tests expérimentaux des fondements de la mécanique quantique (mise en évidence de l'intrication quantique et des propriétés des photons uniques), le refroidissement des atomes par laser et les simulateurs quantiques à atomes froids. Alain Aspect appartient également à l'Académie des technologies et à plusieurs académies étrangères.



## **Daniel ESTÈVE**

Directeur de recherche au CEA-Saclay, membre de l'Académie des sciences

Daniel Estève est directeur de recherche au CEA-Saclay où il dirige le groupe Quantronique. Son équipe y développe la physique des circuits électriques quantiques parmi lesquels des dispositifs transférant les électrons un par un, des bits quantiques supraconducteurs ayant mené à un processeur quantique rudimentaire, des contacts de taille atomique fournissant un conducteur modèle pour la physique mésoscopique, et récemment des spectromètres de résonance paramagnétique électronique en régime quantique avec une sensibilité record.



## **Olivier PIRONNEAU**

Professeur émérite à Sorbonne Université, membre de l'Académie des sciences

Olivier Pironneau travaille au laboratoire Jacques-Louis Lions sur la simulation sur ordinateur des équations aux dérivées partielles de la physique et de la mécanique. Il s'est spécialisé dans les méthodes d'approximations et d'optimisations ainsi que les outils informatiques pour les implémentations par le calcul parallèle et les techniques de programmation. Il a accompagné l'évolution des ordinateurs depuis les années soixante jusqu'au super-ordinateurs actuels. Il a dirigé de nombreux groupes de travail sur le calcul intensif, pour l'INRIA, le ministère de la recherche, GENCI et le CSC en Finlande.

# P rogramme

- 14h30 Ouverture de la séance**  
**Patrick FLANDRIN**, président de l'Académie des sciences  
**Étienne GHYS**, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences
- 14h35 Introduction et présentation**  
**Alain ASPECT**, directeur de recherche émérite au CNRS, professeur à l'Institut d'Optique et à l'École polytechnique, membre de l'Académie des sciences  
**Olivier PIRONNEAU**, professeur émérite à Sorbonne Université, membre de l'Académie des sciences
- 14h50 Pourquoi a-t-on besoin d'un ordinateur quantique ?**  
**Frédéric MAGNIEZ**, CNRS, directeur de l'IRIF
- 15h20 Perspectives de l'informatique quantique en termes de cas d'usage et d'application**  
**Thomas AYRAL**, Société Atos  
**Simon MARTIEL**, Société Atos
- 15h50 Simulation quantique avec des machines imparfaites**  
**Antoine BROWAEYS**, CNRS, Institut d'Optique, université Paris-Saclay
- 16h20 Vers un processeur quantique tolérant aux fautes**  
**Mazyar MIRRAHIMI**, Inria
- 16h50 Conclusion et questions**  
**Daniel ESTÈVE**, directeur de recherche au CEA-Saclay, membre de l'Académie des sciences

# Résumés et biographies

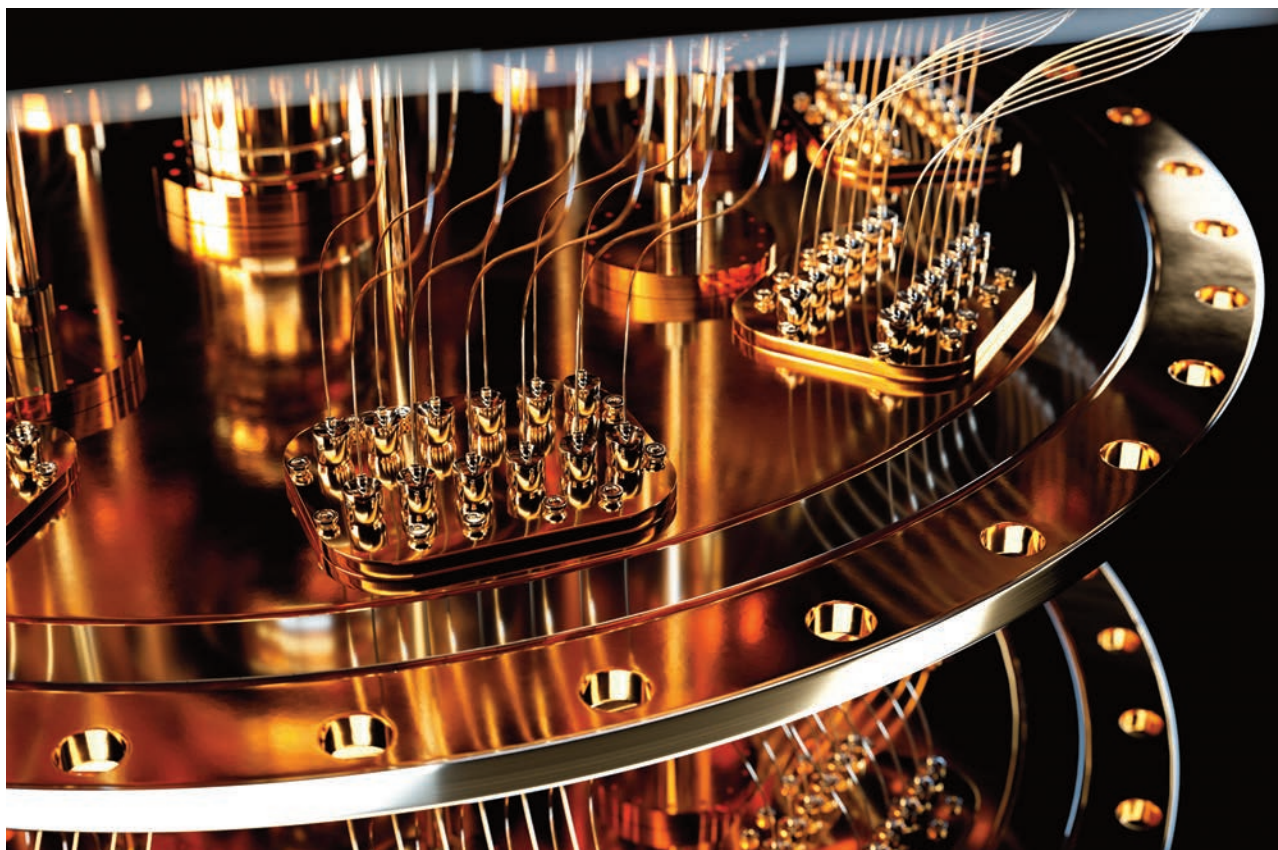


**Frédéric MAGNIEZ**  
CNRS, directeur de l'IRIF

Frédéric Magniez est chercheur au CNRS depuis 2000. Ses travaux portent sur la conception d'algorithmes, qu'ils soient probabilistes ou quantiques, ainsi que sur l'étude de leurs limitations. Il a aussi été professeur à l'École polytechnique de 2003 à 2015, directeur adjoint de la Fondation sciences mathématiques de Paris de 2015 à 2018, et professeur invité au Collège de France de 2020 à 2021 afin d'y enseigner les algorithmes quantiques. Depuis 2018, il est directeur de l'Institut de recherche en informatique fondamentale (IRIF).

## Pourquoi a-t-on besoin d'un ordinateur quantique ?

Dans cet exposé seront présentées les avancées algorithmiques que permettrait la construction d'un ordinateur quantique. La notion de supériorité quantique d'un tel ordinateur sera présentée, à la fois d'un point de vue théorique, et d'un point de vue pragmatique à l'aube des calculateurs quantiques voyant le jour actuellement. Enfin, quelques applications concrètes seront abordées.



**Thomas AYRAL**  
Société Atos

Après des études à l'École polytechnique, une thèse en physique théorique au CEA et un postdoctorat à l'université de Rutgers, Thomas Ayrnal rejoint en 2017 le Quantum Lab d'Atos où il développe des modèles pour les systèmes quantiques bruités et pour les applications du calcul quantique.



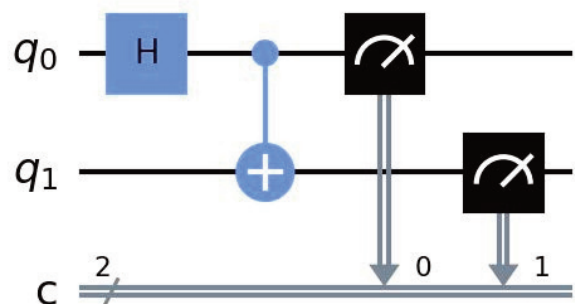
**Simon MARTIEL**  
Société Atos

Après des études à l'ENS Lyon et une thèse à l'université de Sophia-Antipolis, Simon Martiel rejoint aussi en 2017 le Quantum Lab d'Atos où il travaille sur les langages de programmation, l'optimisation des circuits et les applications du calcul quantique.



**Perspectives de l'informatique quantique en termes de cas d'usage et d'application**

Dans cet exposé, nous présenterons les perspectives de l'informatique quantique en termes de cas d'usage et d'applications. Nous donnerons un aperçu des capacités actuelles et à moyen terme des processeurs dits "NISQ", notamment dans le domaine de l'optimisation combinatoire et de la science des matériaux quantiques.





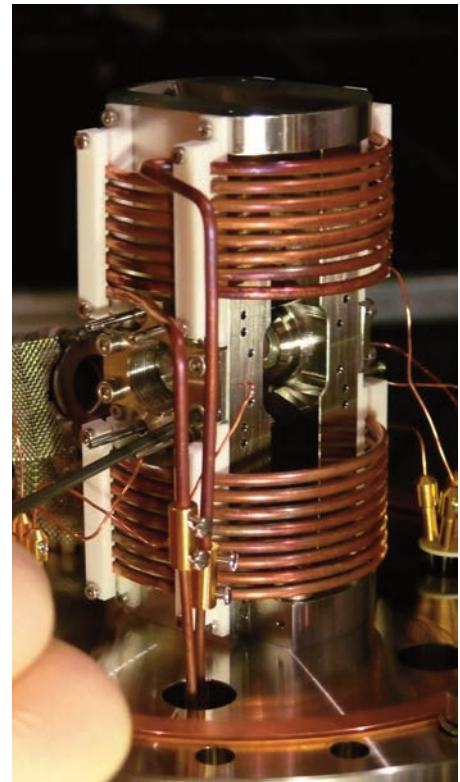
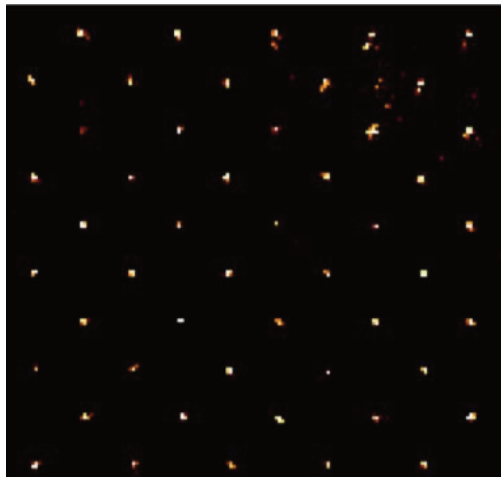
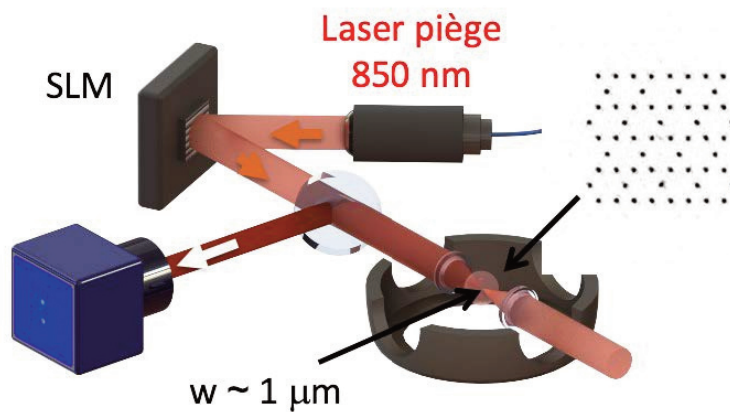
## Antoine BROWAEYS

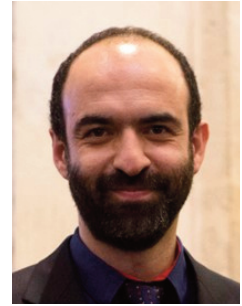
CNRS, Institut d'Optique, université Paris-Saclay

Antoine Browaeys est un ancien élève de l'École normale supérieure de Cachan (aujourd'hui ENS Paris-Saclay) et a obtenu son doctorat à l'Institut d'Optique-université Paris-Saclay. Il a été recruté au CNRS en 2003, après deux ans au *NIST-Gaithersburg*. Il dirige aujourd'hui le groupe sur la manipulation individuelle des atomes froids et les nuages atomiques denses et froids. Il est l'un des co-fondateurs de la jeune pousse Pasqal.

## Simulation quantique avec des machines imparfaites

Sur la longue route vers les ordinateurs quantiques universels, les simulateurs quantiques, bien qu'encore imparfaits, opèrent déjà dans des régimes inaccessibles aux calculs classiques. Cette présentation introduira les concepts de la simulation quantique et quelques technologies de simulateur. Des exemples de simulation récents illustreront l'état de l'art ainsi que les opportunités d'exploration d'applications d'intérêt industriel.

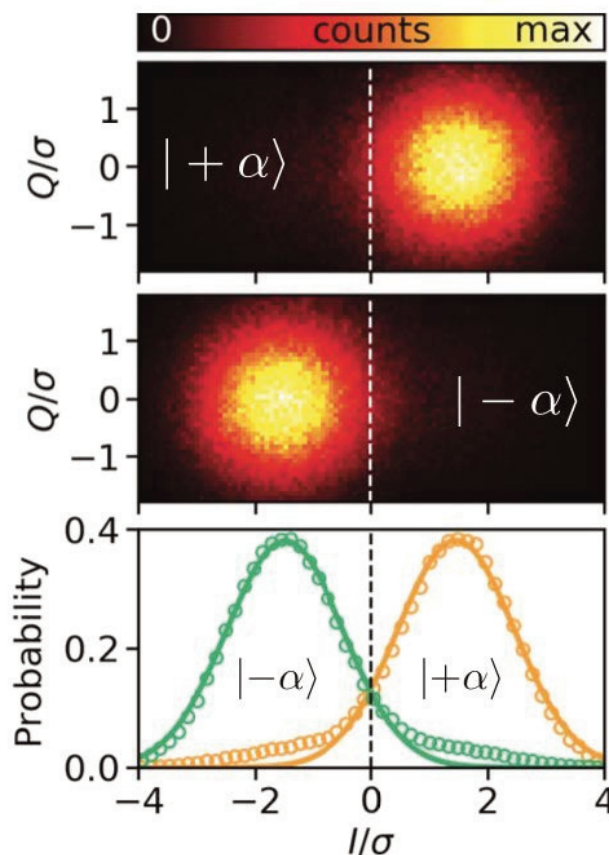




Mazyar Mirrahimi a commencé ses études à la *Sharif University of Technology* de Téhéran, mais intègre rapidement l'École polytechnique. Après une thèse sur le contrôle des systèmes quantiques, il intègre l'INRIA où il est directeur de recherche. Il dirige l'équipe-projet Quantic à cheval sur l'INRIA, l'ENS et l'École des Mines.

## Vers un processeur quantique tolérant aux fautes

Les progrès remarquables récents dans le contrôle des systèmes quantiques ont conduit à une course accélérée vers la construction d'un ordinateur quantique. Une grande partie des développements récents porte sur les bits quantiques bruités et visent à démontrer un avantage par rapport aux processeurs classiques. Cependant, afin d'exploiter pleinement la puissance de la physique quantique dans le calcul, le développement de processeurs tolérants aux fautes est inévitable. Dans un tel processeur, les bits quantiques et les portes logiques sont protégés dynamiquement et en permanence contre le bruit au moyen d'une correction d'erreur quantique. Alors qu'une théorie de la correction d'erreur quantique existe et s'est développée depuis le milieu des années 90, les premières expériences ne sont effectuées que très récemment. Un défi central est lié au surcoût matériel significatif requis pour cette correction d'erreur. Dans mon exposé, je présenterai les avancées récentes vers une implémentation de la correction d'erreur et quelques idées pour réduire, potentiellement de manière significative, le surcoût matériel requis.





INSTITUT DE FRANCE  
Académie des sciences

Inscriptions ouvertes au public dans la limite des places disponibles.

[www.academie-sciences.fr](http://www.academie-sciences.fr)

(rubrique «prochains évènements»)

