

Technologies quantiques à l'UFR de physique

C. Diederichs et P. Cladé



Seconde révolution quantique - Technologies quantiques

→ **1ère révolution quantique:** Nombreuses retombées technologiques de la physique quantique



Transistors et ordinateurs



Horloges atomiques et GPS

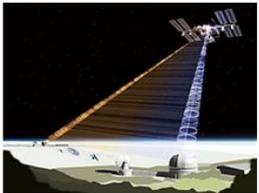


Lasers

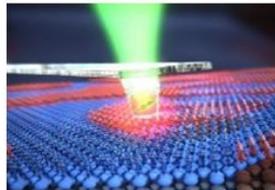


Scanners

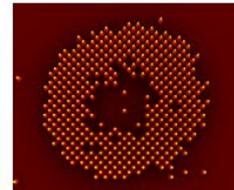
→ **2ème révolution quantique:** Rôle de la “logique quantique” (superposition, intrication...) et de la manipulation de particules individuelles dans le développement de nouvelles technologies



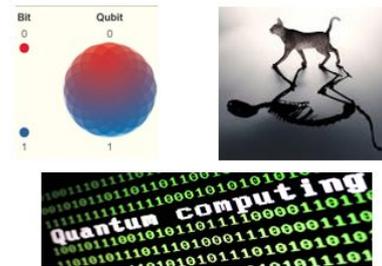
Communication Q.
Cryptographie Q.



Capteurs et métrologie Q.



Simulation Q.



Seconde révolution quantique - Technologies quantiques

→ Communication et cryptographie quantiques

Développer des protocoles de cryptographie invulnérable à des attaques par des super-ordinateurs, classiques ou quantiques

→ Capteur et métrologie quantiques

Superpositions d'états quantiques très sensibles à l'environnement pour réaliser des capteurs d'une très grande précision et d'une très grande sensibilité (gravimètres, magnétomètres, ...)

→ Simulation quantique

Utiliser des systèmes quantiques, relativement simples et contrôlables, pour en étudier d'autres dont la simulation est inaccessible aux ordinateurs classiques → physique des matériaux, physique des particules, chimie quantique, ...

→ Calcul quantique

Manipulation de qubits → permet à un ordinateur quantique de réaliser de nombreux calculs en parallèle (efficace pour la factorisation des nombres premiers, recherche dans une base de données...)

Les différents programmes et organismes

De l'Europe à Sorbonne Université



De la recherche fondamentale à l'industrie

- FET (Future Emerging Tech) d'1 Milliard d'€ sur 10 ans
- Horizon Europe (ERC, Actions Marie Skłodowska-Curie)



PEPR d'accélération Technologies quantiques

- Pilotés par CNRS, CEA et INRIA
- Lancement Février 2022
- Budget de 150 M€ sur 5 ans

Les différents programmes et organismes

De l'Europe à Sorbonne Université



DIM Quantum Technologies in Paris

- Budget annuel ~2.5 M€
- Equipements Mi-lourds (100-200 k€)
- Allocations de thèse et de postdoc (1 an)
- Manifestations scientifiques (2-5 k€)

Paris Center for Quantum Technologies

- Consortium de 5 universités, CNRS et INRIA
- 23 labos dont INSP, LKB, LPENS, LPTHE, LPTMC, SYRTE
- Objectifs: visibilité internationale, écosystème, interdisciplinarité, médiation
- SU: Eleni Diamanti (LIP6) et Nicolas Treps (LKB)
- Financements de 2-3 thèses chaque année pour SU



Les différents programmes et organismes

De l'Europe à Sorbonne Université



Institut interdisciplinaire entre physiciens et informaticiens

- Nicolas Treps (LKB) et Frédéric Grosshans (LIP6)
- Interactions entre la recherche expérimentale, théorique et l'ingénierie en information quantique
- Programme d'enseignement cohérent et adapté (Master Info Q)
- Evénements scientifiques - Médiation scientifique
- Financements: programme doctoral (2 thèses/an), bourses de mobilité

Projets liés à l'enseignement



Projet européen
SU: Clément Sayrin (LKB)

QuantEdu-France

~50 M€ à l'échelle nationale
Géré par PCQT à SU

Calcul quantique

→ LPENS

Q-bits de spin (éq. Circuits Quantiques Hybrides)

Q-bits topologiques (éq. Phys. Mésoscopique)

Q-bits supraconducteurs (éq. Quantic)

→ 2 start-ups



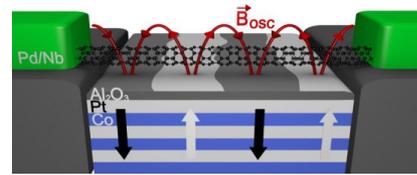
Chats de Schrodinger photoniques
(micro-ondes) pour le calcul quantique

C12

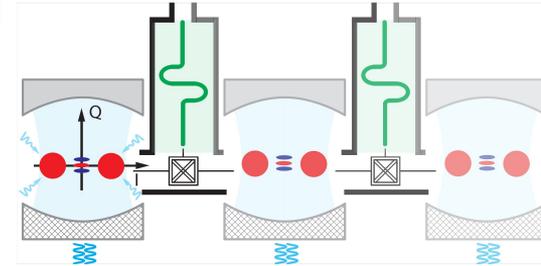
Accélérateur quantique à base de spins
dans des nanotubes de carbone

→ Interface avec des membranes opto-mécaniques (LPENS, LKB, INSP)

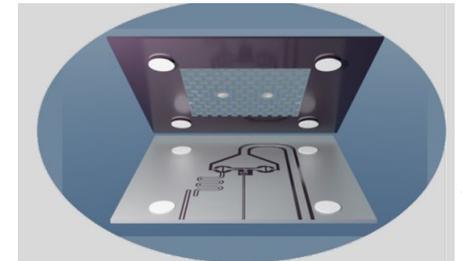
Ultralong lifetime quantum memory



LPENS, éq CQH



LPENS, éq Quantic

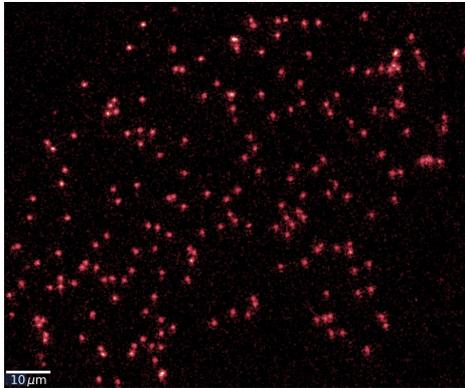


Simulation quantique

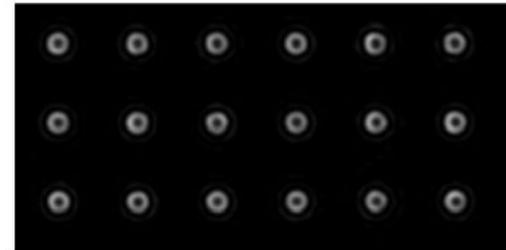
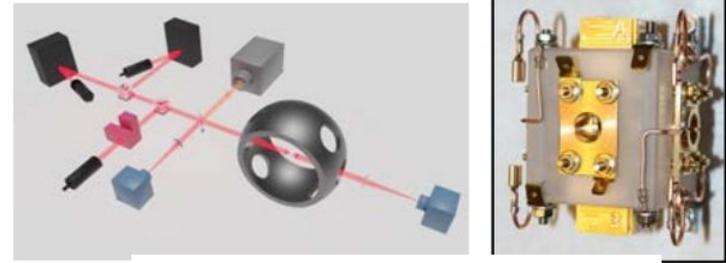
Permet de simuler certains problèmes quantiques (Hamiltonien générique comme Hubbard ou Ising)

→ Atomes individuels

LKB, éq. Ultracold Fermi Gases



Array of circular Rydberg atoms (LKB, éq. CQED)



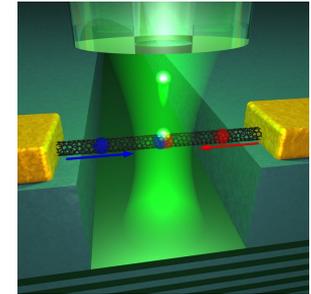
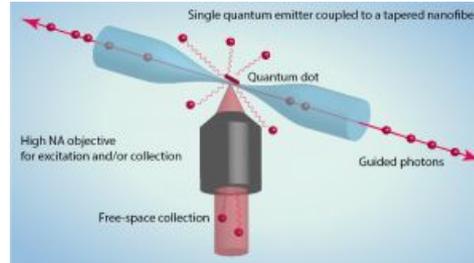
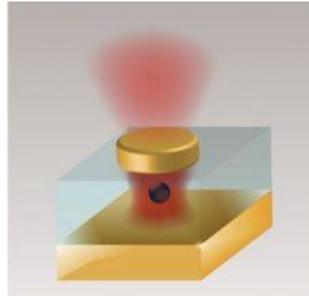
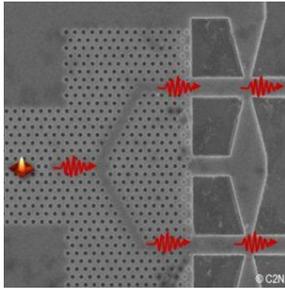
→ Matière quantique fortement corrélée à base d'atomes ultra-froids pour la simulation quantique de systèmes, interface entre physique atomique et matière condensée

Communication et cryptographie quantiques

→ Sources de photons uniques (INSP, LKB, LPENS)

Etude de nouveaux émetteurs de lumière quantique

Augmentation de leur émission par couplage à des structures photoniques ou plasmoniques



Boîtes quantiques couplés à des cristaux photoniques (INSP, éq. PMTeQ)

Nanocristaux colloïdaux couplés à des nano-antennes (INSP, éq. PHOCOS et NANOPT)

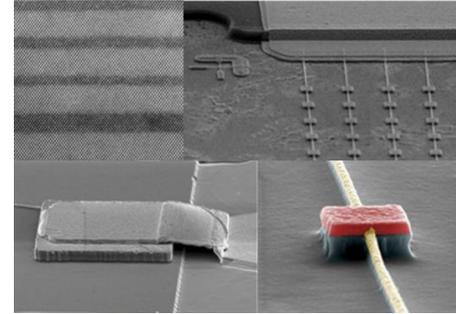
Nano-émetteurs couplés à des fibres optiques étirées (LKB, éq. Optique Quantique)

Nanotubes de carbone ou Nanocristaux colloïdaux couplés à des cavités fibrées (LPENS, éq. Nano-Optique Collab LKB)

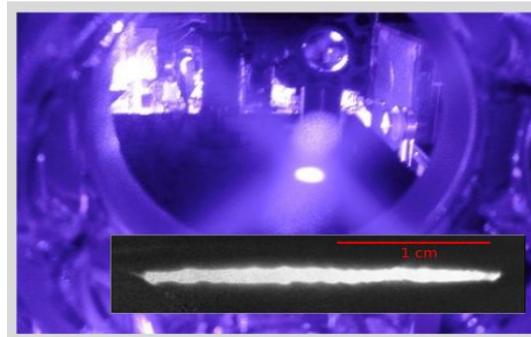
Communication et cryptographie quantiques

- Dispositifs quantiques dans le domaine du THz (1-50 THz) (LPENS, éq. Nano-THz et QUAD)

Communications quantiques en espace libre
dans la fenêtre de transparence 9-12 μm



- Mémoire quantique à atomes froids et répéteur quantique (LKB, éq. Optique Quantique)



The Welinq logo is displayed in white on a dark green background. Below the logo, the tagline "Providing links to the future" is written in a large, white, serif font. At the bottom, a smaller white font provides a description of the company's mission: "We provide solutions to interconnect quantum processors in order to drastically increase their computational power and to make them quantum-accessible at a distance."

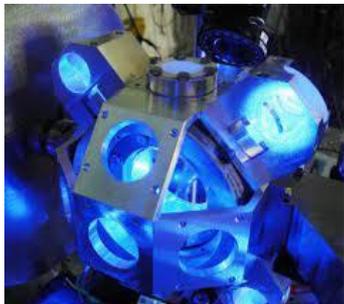
Capteurs et métrologie quantique

→ Métrologie avec des atomes froids (SYRTE + LKB)

- Horloges atomiques micro onde et optique (=> géodésie)

Interféromètre atomique (gravimètre, gradiomètre gyroscope)

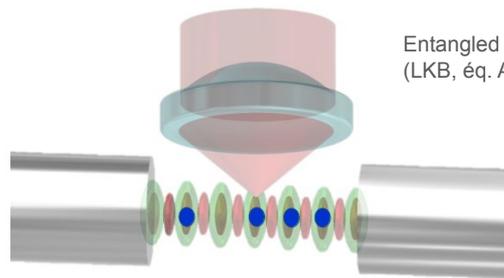
Horloge strontium (SYRTE, éq.
Métrologie des fréquences optiques)



Absolute quantum gravimeter
(Muquans/Exail)

Test fondamentaux (constante, matière noire, projet pour détecter des ondes gravitationnelles...)

- Squeezing / intrication pour aller au delà de la limite quantique standard (théorie + expérience, LKB & SYRTE)

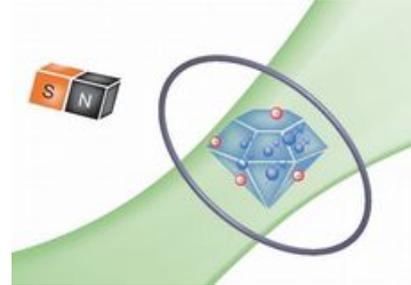


Entangled states of a large number of particles
(LKB, éq. Atom Chips)

Capteurs et métrologie quantiques

→ Capteurs quantiques avec des centres NV du diamant (LPENS, éq. Nano-Optique)

Refroidissement du mouvement de rotation d'un diamant en lévitation grâce aux spins électroniques de ses défauts → capteurs de forces inertielles et magnétiques



→ Quantum limits in optical interferometry - VIRGO (LKB, éq. Optomechanics and Quantum measurement)

VIRGO collaboration:

Gravitational waves observatory

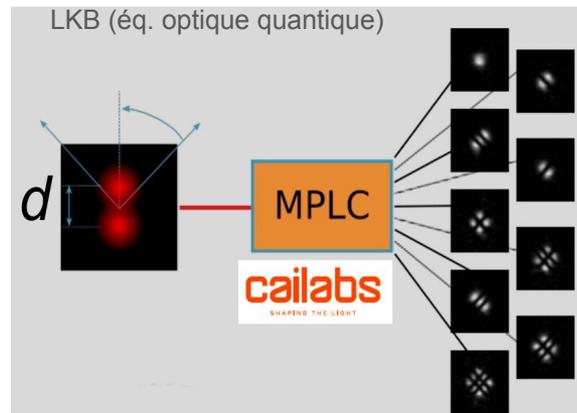
- Investigate radiation pressure effects (parametric instabilities)
- Design and fabricate squeezing source



Capteurs et métrologie quantiques

→ Quantum parameter estimation
(théorie et expérience)

État non classique de la lumière

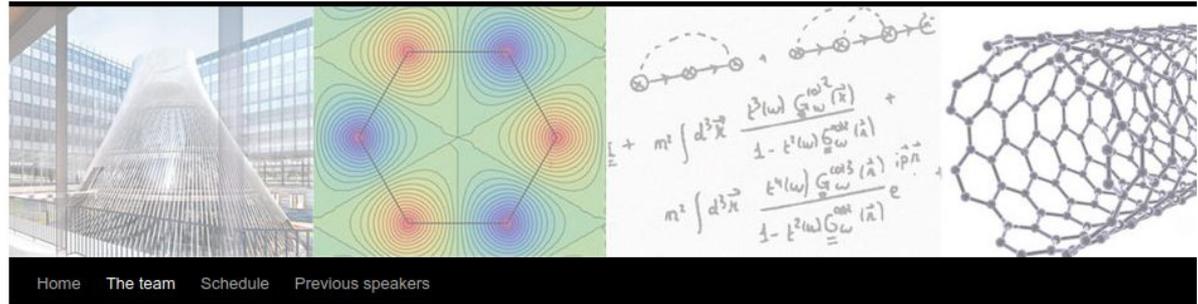


Théorie

→ Des chercheurs dans des équipes purement théoriques ou mixtes.

→ Une initiative à SU

Seminar Theory of Quantum Matter <http://quantummattertheory.fr>



The team

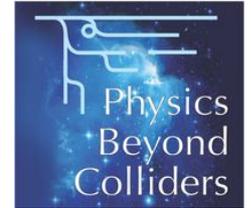
The Quantum Matter Theory Seminar is organized by

- [Christophe Brun](#) (Institut des Nanosciences de Paris)
- [Michele Casula](#) (Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie)
- [Nicolas Cherroret](#) (Laboratoire Kastler Brossel)
- [Benoît Estienne](#) (Laboratoire de Physique Théorique et Hautes Énergies)
- [Jean-Noël Fuchs](#) (Laboratoire de Physique Théorique de la Matière Condensée)

Quantum sensors, particle physics, physics beyond standard model

ECFA

European Committee for Future Accelerators



Proposal on R&D on quantum sensors: the DRD5/RDq proto-collaboration

(signatory list in Appendix 1)

ABSTRACT

The detector R&D roadmap initiated by ECFA in 2020 highlighted the large number of particle physics opportunities that targeted and collaborative R&D in the field of quantum sensors and related technologies can enable. The involved communities and the roadmap's Task Force 5 (TF5) have established a list of the most promising areas for investment and defined the R&D that would be needed to bring these to the level at which experiments building on them can be envisaged. This proposal lays out the resulting high level work packages with deliverables and milestones and proposes the structure of a collaboration (the DRD5 / RDq collaboration) that would enable such R&D to be pursued at a global scale.

Quantum sensors, particle physics, physics beyond standard model

- **WP-1 Atomic, Nuclear, Molecular Systems and Nanoparticles in Traps and Beams**
(interférométrie atomique, horloge, highly charged ions)
- **WP-2 0,1,2-D and Quantum Materials**
(Quantum-dot enhanced scintillator)
- **WP-3 Cryogenic materials, devices and systems**
(superconducting Nanowire Single Photon Detector, Transition edge sensor, SQUID)
- **WP-4 Scaling Quantum**
(opto-Mechanical Sensors, NV diamonds,)
- **WP-5 Quantum Techniques for Sensing**
(squeezing, entanglement)

Adaptive optical imaging with entangled photons

Hugo Defienne, INSP

QUANTUM IMAGING

Adaptive optical imaging with entangled photons

Patrick Cameron^{1*}, Baptiste Courme^{2,3}, Chloé Vernière², Raj Pandya^{2,3,4},
Daniele Faccio¹, Hugo Defienne^{1,2*}

7 Mar 2024 • Vol 383, Issue 6687 • pp. 1142-1148 • DOI: [10.1126/science.adk7825](https://doi.org/10.1126/science.adk7825)

