

Paris, le 19 janvier 2021

« Génération quantique » : comment les universités de recherche françaises s'organisent en accélérateur d'une *French Tech* de la quantique.

Le [Rapport Forteza](#) intitulé « *Quantique : le virage technologique que la France ne ratera pas* » formulait 37 propositions pour une ambition, faire de notre pays l'un des leaders mondiaux dans ce domaine. Les universités de recherche françaises sont prêtes à relever ce défi et à accélérer la consolidation d'une *French Tech* du quantique. **Parce qu'elles réunissent 4 atouts indispensables, elles sont, sur l'ensemble du territoire national, au premier rang du développement de la « génération quantique ».**

- **Une recherche fondamentale à la pointe.**

Depuis l'émergence de la physique quantique il y a plus de cent ans, la recherche n'a pas cessé de bouillonner au sein des universités en synergie avec les organismes de recherche. A la pointe des avancées scientifiques qui fondent la vision d'une « seconde révolution quantique » - *en physique, mathématiques, sciences du numérique, nanotechnologies, optique, ...*, **elles savent que l'innovation de rupture ne se dirige pas, mais qu'elle se catalyse sur la base d'avancées scientifiques, de technologies arrivées à maturité**, grâce à des femmes et des hommes formés pour en développer les applications.

- **Une combinaison d'expertises scientifiques uniques des laboratoires.**

Sur l'ensemble du territoire national, avec leurs partenaires industriels, les start-up issues de leurs laboratoires, les organismes nationaux et les pouvoirs publics, nos universités portent déjà des grands programmes ambitieux sur la quantique en tant que tel, mais également sur les technologies clés (*atomes froids, photonique, silicium, cryogénie, logiciels, protocoles de cryptographie, etc.*).

Appuyées naturellement sur le passé industriel de leurs bassins d'implantation, elles relient ces cultures et expertises complémentaires, avec des réseaux de collaboration internationale autour des meilleures universités d'Europe et du monde : Allemagne, Royaume-Uni, Canada, États-Unis, Japon, Chine, ...

- **L'interdisciplinarité, pour relever le « défi quantique »**

Du philosophe au physicien, par le décloisonnement et le travail de structuration de nos collectifs, nos universités créent les conditions nécessaires pour que la « promesse » du quantique se traduise par des prouesses technologiques.

Fortement multidisciplinaires - recherche et formation en santé, sciences de l'environnement, physique, chimie, informatique, humanités, etc. -, nos écosystèmes universitaires favorisent le transfert de nouvelles approches au sein de différentes filières applicatives : télécommunications, métrologie, calcul intensif, dispositifs médicaux, optimisation des systèmes complexes, géo-surveillance, etc...

- **Des écosystèmes qui incubent la « génération quantique »**

En transférant des savoirs directement issus de la recherche, nous voulons former la « génération Quantique ». Dans un secteur où l'essentiel est à inventer, cette génération d'étudiants et d'étudiantes sera nativement formée aux plus récentes avancées scientifiques et leurs applications potentielles. De la licence au doctorat, elle combinera la maîtrise des derniers savoirs et la réflexion sur les applications et les conditions du transfert. Elle explorera ainsi toutes les facettes de l'esprit d'entreprendre

Qu'est-ce que la quantique ?

Les technologies quantiques ont le potentiel de permettre des capteurs, des processeurs, des systèmes de télécommunication avec des performances inatteignables avec les technologies que nous utilisons aujourd'hui. Ainsi, dans un canal quantique de télécommunication, toute interception (souvent malintentionnée) sera immédiatement détectée. Là où les ordinateurs « classiques » manipulent des états binaires (soit 0, soit 1), les ordinateurs quantiques manipulent, eux, des états quantiques qui sont la superposition d'un grand nombre d'états dits propres, dont l'illustration la plus connue est le chat de Schrödinger. Les calculs quantiques peuvent ainsi être exponentiellement plus rapides quand le nombre de bits quantiques est augmenté. Enfin, les capteurs quantiques ont une sensibilité ultime, permettant notamment de détecter des infimes anomalies du champ de gravitation, liées par exemple au mouvement souterrain du magma sous un volcan.

PIA4 : Vers des filières d'avenir stratégiques

Le lancement officiel du quatrième Plan des investissements d'avenir (PIA 4) a été donné par le Premier ministre Jean Castex début janvier. Sur les 20 Md€ de ce plan 12,5 Md€ sera investi dans le cadre de stratégies ciblant le développement d'un ensemble de filières d'avenir pour la France. L'ambition quantique est l'une d'entre elles, aux côtés de la filière hydrogène, la cybersécurité, l'enseignement numérique, la santé digitale, l'alimentation durable, etc.

Parce que l'émergence ou le développement d'une filière d'avenir ne peut s'envisager sans une implication forte des universités qui, en France comme en Europe et dans le monde, organisent le continuum recherche-formation-innovation, ce plan national pourra compter sur l'engagement des établissements qui constituent le groupe Udice, que ce soit pour la conception des stratégies, ou les programmes prioritaires de recherche avec les organismes de recherche nationaux. Sur l'ensemble du territoire, elles apporteront notamment la lecture pluridisciplinaire des enjeux afférents à ces filières et la vision de l'écosystème au sein duquel ils sont implantés qui sont indispensables pour nourrir l'innovation de rupture ou appréhender le développement de nouvelles offres de formation pour les futures générations indispensables aux ambitions de l'industrie nationale sur ces filières.

Pour cela, un référent par stratégie est missionné, qui assurera la mission d'animation interne à Udice, la relation avec les acteurs de la stratégie dont les organismes de recherche et les organisations industrielles, et la diffusion des savoirs pour un partage large avec la société et les médias.

Le référent Udice pour la stratégie quantique est Hervé Courtois, Professeur à l'Université Grenoble Alpes (UGA), membre de l'Institut Néel (UGA-CNRS) et Vice-Président en charge de la recherche à l'UGA.

A propos. Udice réunit dix grandes universités de recherche pluridisciplinaires françaises. Udice oeuvre pour une recherche d'excellence, la performance de l'enseignement supérieur, et le développement d'écosystèmes d'innovation attractifs en France et en Europe

Contact presse :
Hélène Jacquet
Déléguée générale
contact@udice.org

 @UdiceGroup

QUANTIQUE,

le virage technologique
que la France doit prendre

Udice

French
Research
Universities

DOSSIER THÉMATIQUE

Udice

French
Research
Universities

EDITO

Le Rapport Forteza définit une ambition pour la France : devenir l'un des leaders mondiaux des technologies quantiques, pilier du développement d'une filière industrielle de très haute valeur ajoutée intégrant l'ensemble de la chaîne de valeur (capteur, processeur, équipements, logiciels, etc.) d'usages et services dans une variété de secteurs applicatifs, dans le cadre d'une Europe fer de lance du paysage international du quantique.

A la pointe des avancées scientifiques en *physique, mathématiques, sciences du numérique, nanotechnologies, optique, ...* qui fondent aujourd'hui la vision d'une « seconde révolution quantique », les universités de recherche françaises sont prêtes à relever le défi et à accélérer la consolidation d'une *French Tech* du quantique. Elles disposent pour cela de plusieurs avantages clés.

Garantes des temps longs de la science, les universités ont toujours été le lieu de ces recherches depuis l'émergence de la physique quantique il y a plus de cent ans. On y sait que l'innovation de rupture ne se dirige pas, mais qu'elle se catalyse sur la base d'avancées scientifiques, de technologies arrivées à maturité, de femmes et d'hommes formés pour en appréhender la complexité et qui seront clés pour développer les applications du quantique dans tous les piliers technologiques : *calcul, simulation, communications, capteurs*.

Plus récemment, les universités se sont transformées en profondeur pour créer les conditions de l'interdisciplinarité, décroïsonner et structurer de nouveaux collectifs. Ces collectifs réalisent, aujourd'hui, les prouesses scientifiques et technologiques qui potentialisent les promesses du quantique. Sur l'ensemble du territoire national, avec leurs partenaires industriels, les start-up issues de leurs laboratoires, les organismes nationaux et les pouvoirs publics, nos universités portent déjà des grands programmes ambitieux sur la science quantique en tant que telle, mais également sur les technologies clés (*atomes froids, photonique, silicium, cryogénie, logiciels, protocoles de cryptographie, etc.*) pour la création d'une filière française et européenne souveraine, performante, indépendante, éthique et responsable. Loin d'être concurrents, nos centres, instituts ou projets transverses présentés dans ce dossier sont complémentaires, car construits sur une combinaison d'expertises scientifiques uniques des laboratoires, un passé industriel diversifié ancré dans leur bassin d'implantation, des réseaux de collaboration internationale avec leurs homologues en Europe et dans le monde : Allemagne, Royaume-Uni, Canada, États-Unis, Japon, Chine, ...

Fortement multidisciplinaires - recherche et formation en santé, sciences de l'environnement, chimie, océanographie, sciences sociales, etc. -, nos écosystèmes universitaires favorisent le transfert de nouvelles approches ou l'émergence de nouveaux paradigmes pour faire progresser la science en général et accélérer sa dissémination au sein de différentes filières applicatives : télécommunications, métrologie, calcul intensif, dispositifs médicaux, optimisation des systèmes complexes, géo-surveillance, etc...

Nos universités misent enfin sur l'entrepreneuriat qui s'est fait une place dans tous les cycles de formation, de la licence au doctorat. Confrontés tôt dans leurs cursus aux environnements de recherche, nos étudiants sont à l'origine de projets qui éclosent dans un environnement favorable où ils peuvent s'incuber, se développer, trouver des investissements - y compris via des fonds propres aux universités - et porter le renouveau d'une filière qui reste encore largement à construire.

Sommaire

A propos d' Udice	p. 5
Udice en chiffres	p. 5
Les universités de Udice , clé de voûte des « écosystèmes quantiques »	p. 7-8
ZOOM sur 3 grands HUBS	p. 9-17
ZOOM sur les autres écosystèmes quantiques	p. 18-21
Organisation Udice	p. 22
Udice , une ambition, des actions, international	p. 23
Les organismes de recherche nationaux : des partenaires essentiels	p. 23
UDICE , présentation des universités membres	p. 24-26
Glossaire	p. 27
Contact	p. 28

A propos d'Udice

Udice rassemble des universités de recherche, publiques et pluridisciplinaires, parmi les plus réputées de France.

LES UNIVERSITÉS MEMBRES



Udice en chiffres

385 000  **étudiants**
dans le réseau UDICE

70 000 sont des étudiants
internationaux

33 800 enseignants-chercheurs
et chercheurs

24 000 doctorants

8  Centres
Hospitaliers
Universitaires

9  Sociétés d'Accélération
du Transfert de
Technologie



2/3 des publications
françaises les plus
citées dans le monde

26 000 publications par an
en Open Access

230 000 emplois créées
ou maintenus chaque
année grâce aux
universités membres



75 000 personnels



602 millions d'€
de contrats
de recherches



6,5 milliards d'€
de budget global

23,3 milliards d'€
Valeur ajoutée brute
(VAB) en France

Les universités de Udice, clé de voûte des « écosystèmes quantiques »

Un écosystème quantique est la mise en synergie, sur une unité géographique, de la recherche fondamentale interdisciplinaire (physique quantique, ingénierie, informatique, sciences humaines et sociales), de l'industrie, de la formation, des plateformes technologiques et du soutien à l'innovation.

Au sein de ces écosystèmes quantiques, les universités de recherche sont clé pour organiser la circulation des savoirs et des personnes, ainsi que leur interconnexion avec les meilleurs centres internationaux. Cet effet réseau fortement connecté d'enseignants, de chercheurs et d'ingénieurs publics et privés, et d'acteurs de l'innovation favorisent des boucles courtes entre recherche et industrie, permettant d'innover sur des échelles de temps accélérées et l'émergence des « deep-techs ».

5 universités sont aujourd'hui au cœur de 3 écosystèmes quantiques (Hubs) qui concentrent une part importante des activités en France...



UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

Quantum, fer de lance à l'international d'un territoire pionnier du quantique. (page 8)

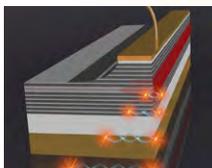
UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

Un écosystème pour les technologies quantiques, du philosophe à l'industriel (page 12)



UNIVERSITÉ DE PARIS

Participer à la seconde révolution quantique : de la physique et de l'informatique fondamentales aux applications (page 14)



SORBONNE UNIVERSITÉ

Quantum Information Center Sorbonne, une coordination unique entre informaticiens et physiciens (page 15)



PSL UNIVERSITÉ

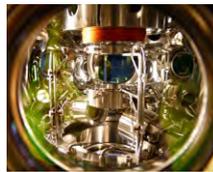
De la physique fondamentale aux start-ups du quantique (page 15)



**...Sur l'ensemble du territoire,
les écosystèmes se structurent
à partir des domaines d'excellence
scientifique historiques ...**

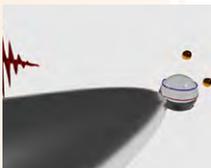
UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

Centre Européen de Sciences
Quantiques, de la chimie des Nobel
à l'Europe du quantique (page 18)



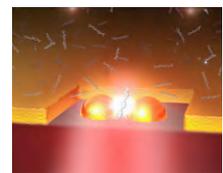
UNIVERSITÉ LYON 1

Une recherche de pointe en
nanosciences et électronique
quantique (page 19)



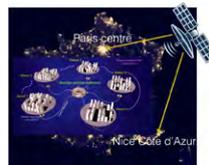
UNIVERSITÉ AIX-MARSEILLE

Construire une approche
multidisciplinaire du quantique
(page 21)



UNIVERSITÉ NICE CÔTE D'AZUR

Quantum@UCA : cap sur la
communication quantique
(page 21)



**... Et collaborent entre eux au
bénéfice de la compétitivité nationale
et européenne**

● CAPTEURS

MuQuans, une start-up quantique
entre Paris-Saclay et Bordeaux
qui a installé un gravimètre pour
« écouter » le cœur de l'Etna dans
le cadre du projet européen Future
and Emerging Technologies (FET) Newton (page 11)



◎ CALCUL & SIMULATION

PhoQus, le Flagship européen
coordonné par le Hub Paris Intra-
muros qui développe avec Lyon
une nouvelle plateforme logicielle
de simulation reproduisant des
capacités de calcul d'un ordinateur quantique. (page 10)



◆ COMMUNICATION

Une alliance européenne
« Quantum internet » (FET
Flagship) pour un réseau mondial
de communication reliant des
processeurs quantiques et sécurisée par la cryptographie
quantique (Paris, Paris-Saclay, Bordeaux) (page 10)



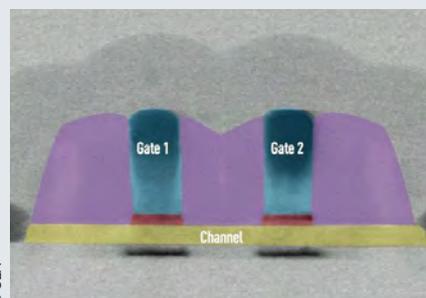
● Les programmes de l'ERC

La France compte plus de 70 chercheurs
lauréats dans le domaine quantique auprès
du prestigieux programme de l'ERC (Euro-
pean Research Council). Ces projets à très
fort potentiel sont conduits au sein des universités et
organismes de recherche sur l'ensemble du territoire
national, et plus particulièrement **au sein des trois princi-
aux écosystèmes quantiques (Hubs)**, particulièrement
attractifs pour leurs infrastructures et leurs écosystèmes,
qui en concentrent plus des deux tiers.



● Un ERC Synergy Grant pour la recherche grenobloise sur les technologies quantiques

Le projet QuCube a reçu 14 M€ dans le cadre ERC
Synergy Grant (2018-2024) pour réaliser un processeur
quantique. Mené dans trois instituts de recherche greno-
blois et impliquant des scientifiques du CEA, du CNRS
et de l'Université Grenoble Alpes, QuCube associe des
technologies silicium de niveau industriel et de fortes
compétences en recherche fondamentale.



Le bit quantique
de spin réalisé
par le Leti en
2016, vu au
microscope
électronique.
QuCube veut en
intégrer 100 sur
une puce d'ici
à 2024.

ZOOM sur 3 grands HUBS

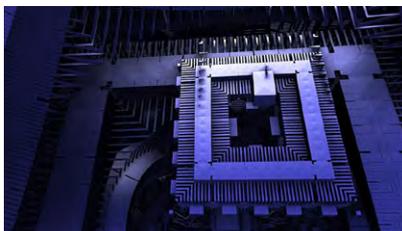
HUB QUANTIQUE université PARIS-SACLAY

Au sein de l'Université Paris-Saclay, plus de 40 équipes contribuent au meilleur niveau international à la recherche quantique. Elles portent également des enseignements de pointe aussi bien en physique quantique, informatique quantique qu'en ingénierie. Paris-Saclay a par ailleurs développé un partenariat académie-industrie très fructueux de longue date et a déjà participé à la naissance de plusieurs des start-up de la seconde révolution quantique. C'est pourquoi, en novembre 2019, l'Université Paris-Saclay a créé, **Quantum**, le centre des Sciences et Technologies Quantiques, centre qui coordonne aujourd'hui l'ensemble de l'écosystème quantique de Paris Saclay, avec les facultés, les grandes écoles, le CNRS, le CEA, l'INRIA et l'IPP ses partenaires.

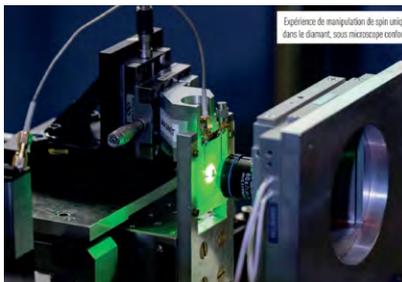
quantum PARIS-SACLAY

QUANTUM, prêt pour la seconde révolution quantique :

- Répondre aux défis majeurs du quantique par une recherche fondamentale, technologique et interdisciplinaire
- Définir de nouvelles filières de formation interdisciplinaires, initiales et continues
- Soutenir l'innovation et attirer les meilleurs talents
- Assurer les liens précoces entre recherche académique, innovation et industrie et favoriser le transfert industriel.



Ordinateur quantique.



Filière diamant

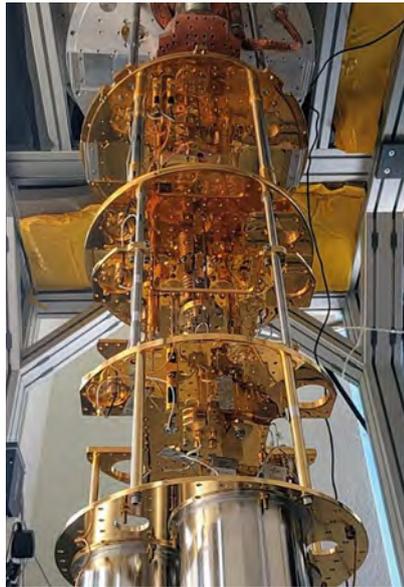
LE BERCEAU DU QUANTIQUE

Avec ses partenaires publics (CNRS, INRIA, CEA) et privés, l'écosystème UPSaclay est à la source d'avancées majeures en recherche quantique.

- Le Laboratoire Charles Fabry (LCF), porté par les travaux pionniers d'Alain Aspect, et le Laboratoire Aimé Cotton (LAC) sont spécialistes du piégeage et de la manipulation d'atomes froids très excités, dits atomes de Rydberg, dont les propriétés d'interaction en font des candidats très intéressants pour la simulation et le calcul quantique.
- Le LUMIN (Lumière, Matière et Interfaces) et le LCF sont des pionniers internationaux de l'étude des centres NV -un défaut du diamant reproduisant la structure d'un atome- et leur utilisation comme capteurs quantiques ultimes..
- Au sein du berceau de la découverte de la spintronique et du premier bit quantique supraconducteur, le SPEC (Service de Physique de l'Etat Condensé), le C2N (Centre de Nanosciences et Nanotechnologies) et le LPS (Laboratoires de Physique des Solides), sont aujourd'hui à

la pointe des recherches sur de nouvelles mémoires quantiques à base de spins, le transport quantique des conducteurs à une ou deux dimensions aux propriétés topologiques et des circuits quantiques hybrides à base de supraconducteurs.

- La recherche en informatique quantique est en plein essor portée par le Laboratoire de Recherche en Informatique (LRI) qui développe, avec ses partenaires internationaux (University of Hong Kong, University of Oxford...), les algorithmes et les outils logiciels nécessaires à l'utilisation des coprocesseurs quantiques.
- Des sources de lumières quantique à variables discrètes ou continues sont également développées au LCF et au C2N pour des applications en communication et calcul quantique, faisant ainsi de la manipulation et de l'utilisation de la photonique pour les technologies quantiques un autre point fort international. ■



Supraconducteur et électronique quantique.

ARTEQ ENTRE PHYSIQUE, INFORMATIQUE ET INGÉNIÉRIE

L'Université Paris-Saclay propose une offre unique de formation en quantique qui s'appuie sur la richesse des formations de master et d'ingénieurs offertes par la faculté des sciences, l'ENS Paris-Saclay, l'Institut d'Optique Graduate School, CentraleSupélec et Polytech Paris-Saclay, et l'attractivité de l'Université en mathématiques, en physique, en informatique et en l'ingénierie.

Cette offre est renforcée par ARTEQ, une formation unique en France créée par l'Université Paris Saclay qui propose les passerelles manquantes entre physique / informatique / ingénierie. Cette année supplémentaire de formation entre le M1 et le M2 offre à des étudiants de physique, informatique, mathématiques, chimie et ingénierie des enseignements qui combinent l'étude des briques du hardware quantique et celle des outils de l'informatique quantique, ainsi qu'un stage long en laboratoire de recherche public ou chez les partenaires privés. Pour cette première année, la formation a été soutenue par du mécénat.

université
PARIS-SACLAY

Verbatim

Longtemps une affaire de physicien, le développement des technologies quantiques nécessite aujourd'hui une forte interdisciplinarité entre différentes communautés de la physique, les ingénieurs et les informaticiens. C'est cette interdisciplinarité que le centre Quantum de Paris-Saclay soutient, en adaptant ses offres de formations, en lançant ARTEQ, formation véritablement interdisciplinaire, en soutenant les projets de recherches aux frontières. L'enjeu est aussi de renforcer les liens entre académiques et industriels qui doivent apprendre à mieux se connaître et travailler ensemble pour faire sortir des laboratoires toutes les pépites qui y émergent.



**Pascale
SENELLART**

Directrice de
Recherche CNRS
– Coordinatrice de
Quantum@Univer-
sité Paris-Saclay,

Médaille d'argent CNRS en 2014,
Co-fondatrice de la société
Quandela en 2017

Start-ups, collaboration académique-industrie, médiation scientifique : la richesse des Hubs et écosystèmes quantiques ne se limite pas à la recherche et la formation.

**université
PARIS-SACLAY**

SCIENCE ET SOCIÉTÉ : L'AUTRE MARQUE DE FABRIQUE DE L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

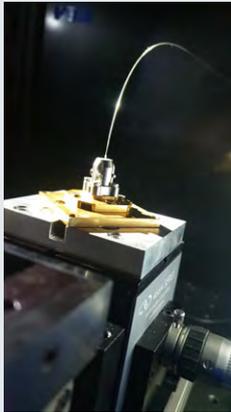
Quantum propose également un ensemble de ressources élaborées par les enseignants chercheurs et les chercheurs de l'université, en particulier du LPS : site pédagogique dédié, TP et expériences en partages, ressources vidéo, partenariat avec des centres de design, de quoi se familiariser et s'initier au monde quantique.

quantum
PARIS-SACLAY

→ <https://www.universite-paris-saclay.fr/recherche/axes-et-grands-projets/quantum-centre-en-sciences-et-technologies-quantiques/comprendre-la-quantique>

QUANDELA

Source de photons uniques commercialisée par Quandela, spin-off du Centre de Nanosciences et Nanotechnologies.



UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY : BERCEAU DE JEUNES POUSSES DU QUANTIQUE

Parmi les start-ups emblématiques du quantique français, **Quandela**, spin off du C2N fondée en 2017, est une société experte de la photonique quantique. Elle est fournisseur officiel de plusieurs sociétés et laboratoires développant l'ordinateur quantique à base de lumière quantique notamment en Italie et aux Pays-Bas. Ces calculateurs à base de qubits optiques, fonctionnent à température ambiante et sont compatibles avec les réseaux de communications.

Pasqal est une autre des pépites françaises de la quantique issue, en 2018, du LCF de l'Institut d'Optique. Elle utilise des atomes froids pour produire des bits quantiques, les qubits, élément de base de l'ordinateur quantique qui peut véhiculer une quantité phénoménale d'information. Pasqal fabrique actuellement son premier processeur quantique (QPU) et ambitionne de passer rapidement à l'échelle : 100 qubits pour 2021, et un millier à l'horizon 2023. La start-up travaille notamment avec EDF à l'optimisation d'une flotte de véhicules électriques par calcul quantique.

**UNIVERSITÉ
CÔTE D'AZUR**

SCIENCES PARTICIPATIVES : THE BIG BELL TEST

Rassemblant douze laboratoires sur cinq continents, dont l'Institut de physique de Nice (Université Côte d'Azur/Cnrs), **The Big Bell Test** est une expérience de sciences participatives inédite de physique quantique. Pour cela, 100 000 personnes dans le monde ont généré dans le cadre d'un jeu vidéo des nombres aléatoires utilisés par les scientifiques directement dans leurs expériences. Ce test grande échelle a réussi à confirmer avec rigueur les observations expérimentales quant à la violation des inégalités de Bell prouvant le caractère non-local des corrélations quantiques reposant sur l'intrication. Les résultats ont été publiés dans la revue Nature le 10 mai 2018.



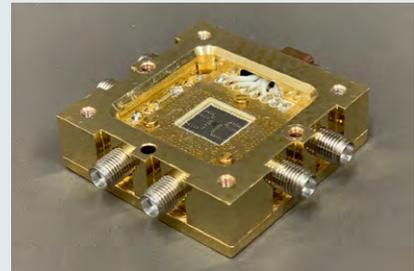
ALICE & BOB : LA START-UP ENTRE PARIS ET LYON

La start-up française **Alice & Bob** ambitionne de devenir le principal fournisseur de puissance de calcul quantique. Cette start-up s'appuie sur les travaux de thèse de ses deux co-fondateurs respectivement au laboratoire de Physique de l'ENS PSL (CNRS/ENS Paris/PSL/Sorbonne Université/Université de Paris), et de au laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon (Université Claude Bernard Lyon 1/ENS de Lyon/CNRS).

Basant sa technologie sur des bits quantiques supraconducteurs, les deux physiciens ont levé l'un des deux types d'erreurs quantiques qui constituent actuellement un obstacle au développement de l'ordinateur quantique. Alice & Bob a conclu récemment sa première levée de fonds avec les deux entreprises Elaia et Breega, en collaboration avec le fonds PSL Université : trois millions d'euros pour accélérer la construction de son prototype.

Contact : Théau PERRONNIN | theau.peronnin@alice-bob.com

Alice & Bob



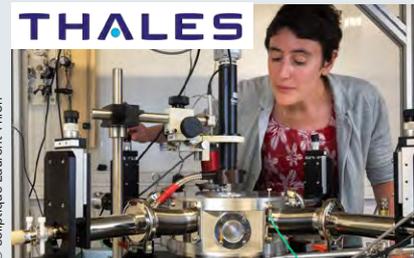
PSL
UNIVERSITÉ PARIS

UFR
Lyon 1

DES LABORATOIRES PUBLIC-PRIVÉS

Thales développe plusieurs programmes de recherche en collaboration avec des laboratoires de l'Université Paris-Saclay et au sein de laboratoires communs avec le CNRS, tels que l'Unité Mixte de Physique, LUMIN ou de partenariats structurants tels que ceux établis avec le C2N ou le LCF. Ces travaux portent principalement sur le développement de capteurs quantiques, le développement de détecteurs à base de supraconducteurs, la prochaine génération de centrales inertielles à base d'atomes froids, ou encore les horloges atomiques.

Atos et le **Spec** (CEA / CNRS) portent une chaire industrielle de recherche et d'innovation, baptisée « Nasniq » visant à développer l'ordinateur quantique à base de Qbits supraconducteurs. Elle combine les efforts de recherche expérimentale aux développements d'Atos sur la simulation algorithmique.



© ecliptique Laurent Thion

Julie GROLLIER (médaille argent CNRS),
équipe mixte CNRS-Thales, développant des
nouveaux systèmes quantiques à la frontière
entre quantique et neuromorphique.

Atos

NAQUIDIS CENTER

L'université de Bordeaux, l'IOGS, le CNRS et l'Université de Limoges, ainsi que le pôle de compétitivité Alpha-Rih et la région Nouvelle-Aquitaine, ont lancé la création du centre d'innovation **NaQuiDis**. Dans ce nouveau hub en technologies quantiques, seront développés conjointement des projets de recherche au plus haut niveau, des développements applicatifs innovants ainsi que des solutions technologiques sur 3 axes : capteurs quantiques, un domaine pouvant s'appuyer sur un écosystème déjà solide incluant un laboratoire commun sur la navigation et la start-up **Muquans** ; la supply chain quantique qui repose en particulier sur l'excellence de la région dans le domaine de la photonique ; la communication et l'informatique quantique où la photonique rejoint l'informatique et les mathématiques. Ce centre se fédère aussi avec d'autres initiatives, comme le Graduate Program Light S&T, le cluster d'excellence LaPhia (Laser et Photonique en Aquitaine) ainsi que le futur grand programme de recherche LIGHT, ou le programme Quantum Matter.

Porteur du projet : Philippe BOUYER

université
de BORDEAUX



© NEWTON-g

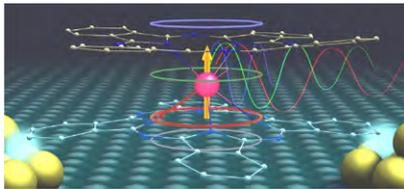
Gravimètre de Muquans actuellement
installé sur l'Etna par un consortium
financé par l'Union Européenne (le
projet → <http://www.newton-g.eu>)
pour « écouter » le cœur du volcan.

ZOOM sur 3 grands HUBS

LE HUB QUANTIQUE



Depuis 2017, le programme « **Quantum Engineering Grenoble** » contribue à consolider l'écosystème grenoblois pour les technologies quantiques, via l'attribution de bourses de thèse et l'installation de Chaires d'Excellence sur des projets interdisciplinaires, et la mise en place de séminaires aux interfaces. Les actions ont été initiées et soutenues par l'Idex Univ. Grenoble Alpes et l'Union Européenne (action Marie Skłodowska Curie de type Cofund). Ce programme s'est construit grâce au travail de structuration du site grenoblois opéré en amont par des actions fédératives d'excellence (Fondation Nanosciences de Grenoble, Labex LANEF). Elles impulsent une synergie entre l'Université et les grands organismes de recherche.



Vue d'artiste d'un transistor à molécule aimant unique.

Verbatim

« L'expérience pilote menée en grandeur nature à l'Université Grenoble Alpes valide de façon éclatante le modèle de hub quantique. Il s'agit maintenant de transformer l'essai : Les efforts mis en œuvre au travers des actions Quantum Engineering Grenoble ont initié des synergies entre différents domaines de recherche académique, et entre recherche fondamentale et ingénierie. La consolidation et l'amplification de ces synergies seront des éléments clés du succès de la stratégie quantique française. »



© Olivier Ezratty

Alexia AUFFEVES
Directrice de Recherche CNRS,
coordinatrice de Quantum Engineering Grenoble

UN ÉCOSYSTÈME POUR LES TECHNOLOGIES QUANTIQUES, DU PHILOSOPHE À L'INDUSTRIEL

Pour réaliser la deuxième révolution quantique, l'Université Grenoble Alpes (UGA) constitue un écosystème interdisciplinaire rayonnant à partir de la physique quantique fondamentale :

- **L'INFORMATIQUE QUANTIQUE** théorique est apparue à l'UGA dès l'année 2001 et se développe fortement avec INRIA. Des résultats importants ont été obtenus en complexité et algorithmique et en modèles de calcul. Depuis 2019, l'UGA accueille l'un des 4 instituts français pour l'Intelligence Artificielle, MIAI, qui entraîne une nouvelle dynamique pour le site. La synergie entre les chercheurs travaillant aux développements « hardware » et les informaticiens du site permet de créer des algorithmes et des langages de compilation au plus près des contraintes matérielles. Le dimensionnement énergétique des calculateurs quantiques est devenu le cœur d'un travail alliant chercheurs et ingénieurs.
- **LES SCIENCES HUMAINES.** Alors que la deuxième révolution quantique trouve son origine dans les discussions philosophiques entre pères fondateurs de la Mécanique quantique, l'émergence de technologies nouvelles pose des questions sociétales profondes. Un groupe de philosophie/sociologie est actuellement embarqué à l'Institut Néel, en interaction forte avec des physiciens théoriciens férus de sciences humaines. Cette expérience rare contribue d'une façon originale à la visibilité et à l'attractivité de Grenoble.
- **L'INDUSTRIE.** Une part importante des thèses du programme « **Quantum Engineering Grenoble** » comporte un stage de 2 à 6 mois auprès de nos partenaires industriels. Pour les doctorants, ces échanges contribuent à la fois à leur intégration et à la valorisation de leurs travaux dans le tissu économique local.

UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

L'université Grenoble Alpes est mondialement connue pour ses instituts de recherche fondamentale en physique de la matière condensée, nanosciences, informatique et mathématiques ainsi que pour ses entreprises innovantes de haute technologie, des startups aux groupes multinationaux. Classée parmi les 5 premières villes innovantes en nanotechnologies au monde et 1^{er} en Europe, la Métropole de Grenoble accueille 25 000 chercheurs académiques et industriels et plus de 60 000 étudiants. L'innovation et la valorisation de la recherche constituent l'ADN du territoire.

En physique & ingénierie, l'UGA a déjà mené sa première révolution quantique et se trouve à la pointe des nano-technologies avec un tissu industriel dense et une forte capacité d'innovation. Cette réussite s'est appuyée sur l'expertise historique et internationalement reconnue des laboratoires grenoblois de l'UGA, du CNRS et du CEA sur les propriétés quantiques de la matière à l'état solide.

Une vaste gamme de matériaux quantiques (à fortes corrélations électroniques, magnétiques, supraconducteurs, à chaîne de spins) est mis en œuvre, incluant des matériaux 2D et 1D comme le graphène, et des nanofils. Des propriétés et fonctionnalités de nanoélectronique quantique, photonique, spintronique, nano-mécanique sont étudiées et implémentées dans des dispositifs quantiques précurseurs des supports pour l'information quantique : qubits supra ou semi-conducteur, qubits de spin, photons uniques. Ces travaux s'appuient sur le développement simultané de technologies habilitantes (cryogénie, nano-fabrication, caractérisation) et des travaux de recherche théorique.



L'apparent calme intérieur des matériaux quantiques.

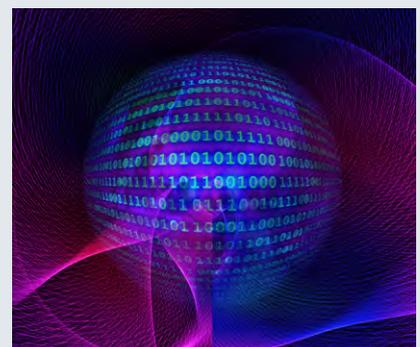


Illustration photon quantique.

Le Hub quantique de l'UGA est un ensemble de recherche cohérent qui implique plus de 200 chercheurs et enseignants-chercheurs, autant de doctorants et de chercheurs post-doctoraux. ■

FORMATION

L'informatique quantique est enseignée en Master 2 de « Cybersecurity » depuis 2003. Une première expérience d'enseignement interdisciplinaire a été mise en place pour les étudiants du master de physique et les élèves ingénieurs de l'école d'informatique Grenoble INP-Ensimag. Un parcours international Master 1/ Master 2 « **Quantum Information, Quantum Engineering** », proposant une formation en adéquation avec l'évolution constante des besoins de formation dans ces thématiques, sera ouvert à la rentrée 2021. Ce parcours proposera des enseignements allant de la physique théorique aux aspects d'ingénierie pour les mesures de systèmes quantiques, en passant par les implémentations (dispositifs et algorithmes). D'autre part, un programme thématique « QUANTUM, des matériaux quantiques à l'ingénierie quantique » a été labellisé par la *Graduate School* de l'Université Grenoble Alpes financée dans le cadre de l'appel national SFRI (PIA4). Il s'appuiera à la fois sur ce nouveau parcours international et sur différentes formations existantes à Grenoble, et permettra aux étudiants de construire des parcours ouverts sur l'informatique et l'ingénierie quantique (mutualisation de modules d'enseignement, semaine thématique, séminaires). Ces évolutions constituent de premières étapes vers un véritable enseignement interdisciplinaire, et la formation des futurs docteurs et ingénieurs quantiques.



ZOOM sur 3 grands HUBS

**HUB PARIS
CENTRE**

Verbatim

« Mon but est de démontrer, avec des technologies existantes ou dont on sait qu'elles vont être disponibles très prochainement, qu'il existe bien un avantage, une supériorité quantique, sur certaines tâches de calcul dont on pourra profiter rapidement. Pour cela, je suis en train de construire un système expérimental qui devra valider les critères très stricts qui permettent d'affirmer qu'il y a un avantage quantique pour une tâche théorique bien définie. »



© Claire GABY / La Croix

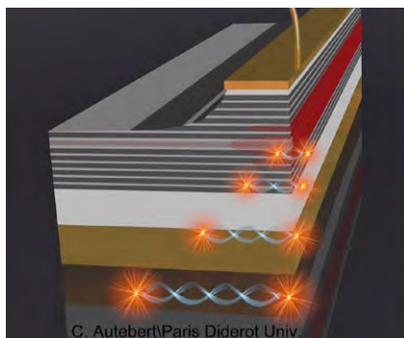
**Eleni
DIAMANTI,**
Lauréate d'une
ERC Starting Grant
en 2018, LIP6
(Cnrs - Sorbonne
Université)

Le hub Paris Centre vise à faire de Paris un leader de l'écosystème Européen des technologies quantiques au niveau académique et entrepreneurial. Il se structure à partir de la fédération de recherche PCQC (**Paris Centre for Quantum Computing**), créée en 2014 et levier de la structuration de la quantique à Paris, notamment à l'interface entre la physique et l'informatique. Regroupant 21 laboratoires de Sorbonne Université, Université de Paris, PSL Université en cotutelle avec le CNRS et l'INRIA, le hub Paris Centre met en réseau une communauté scientifique d'une richesse incontournable, d'un dynamisme exceptionnel dans tous les piliers des technologies quantiques et fruit d'une tradition de formation universitaire en physique fondamentale et en mathématiques incomparable. Jouissant d'un environnement extrêmement attractif pour des jeunes entreprises prêtes à tirer profit du grand potentiel d'innovation de ces nouvelles technologies, résolument tourné vers les collaborations sur tous les niveaux (régional, national, Européen, mondial), tous les ingrédients sont réunis pour que le Hub Paris Centre devienne le centre névralgique de l'écosystème quantique parisien, décloisonnant les domaines de la recherche, créant des synergies entre recherche fondamentale/industrie/innovation, et formant les nouveaux talents pour ce domaine de l'avenir.



**UN LABORATOIRE DE RECHERCHE ENTIÈREMENT
DÉDIÉ AU QUANTIQUE**

Le laboratoire Matériaux et Physique Quantique (MPQ) est une unité mixte de recherche d'Université de Paris et du CNRS. Il joue un rôle pionnier dans le domaine quantique grâce à l'étude des matériaux quantiques de pointe et au développement de dispositifs quantiques innovants. Ses activités reposent sur un large spectre de compétences théoriques et expérimentales alliant la physique des matériaux, le transport et l'optique, et des plateformes technologiques : salle blanche, spectroscopie, et microscopie électronique haute résolution. Son expertise se situe dans les nouveaux matériaux quantiques, les nouveaux états quantiques de la matière à l'échelle nanométrique, les systèmes nano-optiques innovants, l'ingénierie quantique et l'information quantique. Cette couverture d'expertise unique fait du laboratoire MPQ un partenaire de choix pour des projets de pointe concernant l'information quantique, les simulateurs quantiques, les capteurs quantiques et la métrologie quantique, conduits au plan national, européen et international. Il est porteur ou partenaire de plusieurs projets de domaine d'intérêt majeur (DIM) de la Région Ile-de-France SIRTEQ consacré aux technologies quantiques, et du prestigieux programme Quantum Flagship de la Communauté Européenne, ou de projets en partenariat industriel avec Nokia Bell Labs ou ST Microelectronics.



Sketch d'une source de photons jumeaux développée à MPQ

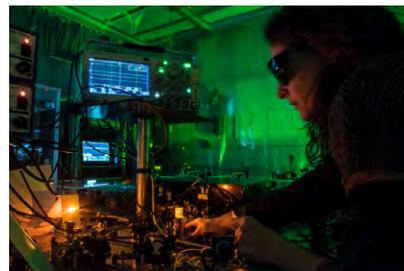
SORBONNE UNIVERSITÉ

QUANTUM INFORMATION CENTER SORBONNE, UNE COORDINATION UNIQUE ENTRE INFORMATIENS ET PHYSIENS

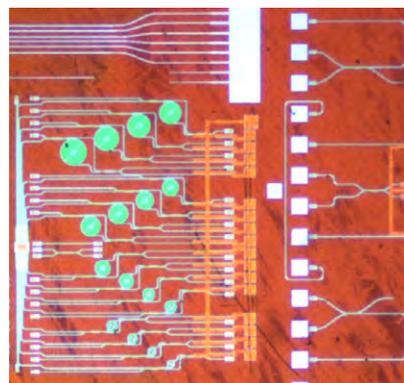
Sorbonne Université est un acteur majeur de la recherche en information quantique, avec entre autres, plus de 15 ERC sur les technologies quantiques, une participation à plusieurs projets du flagship quantique européen, la création de 5 start-ups, une dizaine de collaborations industrielles et une forte implication dans le Hub Paris Centre. L'Alliance Sorbonne Université a fondé en 2020 le **Quantum Information Center Sorbonne (QICS)** pour intensifier les interactions entre la recherche expérimentale, théorique et l'ingénierie en information quantique – calcul et communications quantiques –, tout en explorant les implications sociétales de cette nouvelle façon de traiter l'information. Le QICS a également pour mission d'accroître les efforts d'enseignement dans ce domaine, de sensibiliser ses partenaires et de collaborer avec l'industrie au sein des écosystèmes d'innovation. Le centre s'appuie sur un ensemble unique de connaissances et de compétences, allant de l'informatique fondamentale à la physique quantique, en passant par les démonstrations expérimentales de l'avantage quantique et les sciences sociales, économiques et philosophiques des technologies numériques.

Actions du Quantum Information Center Sorbonne :

- promouvoir l'excellence de la recherche des fondements aux applications ;
- développer un programme d'enseignement cohérent et adapté aux besoins de l'écosystème industriel et académique, du premier cycle aux études doctorales et à la formation continue ;
- sensibiliser le grand public aux enjeux de l'information quantique ;
- ouvrir la communauté quantique vers d'autres domaines scientifiques et vers l'industrie. ■



© Hubert RAGUET/LKB/CNRS



© Luis TRIGO VIDARTE/LIP6/Sorbonne Université

Autres infos :

→ qics.sorbonne-universite.fr

Twitter : @QICSorbonne

PSL UNIVERSITÉ

LES ANYONS RÉVÈLENT LEURS PROPRIÉTÉS QUANTIQUES EXOTIQUES

Des physiciens du Laboratoire de physique de l'ENS (ENS-PSL/CNRS/Sorbonne Université/Université de Paris) et du Centre de nanosciences et de nanotechnologies (CNRS/Université Paris-Saclay) mettent en évidence les propriétés quantiques exotiques des anyons, particules intermédiaires entre les fermions et les bosons. Leurs travaux font la une de la revue scientifique américaine Science. Une nouvelle reconnaissance pour ce laboratoire multi-tutelles récemment créé et un succès collectif pour la dizaine de chercheurs de l'ENS-PSL, de Sorbonne Université et du CNRS à l'origine de cette découverte.

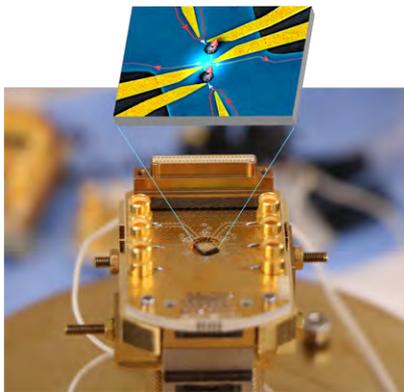


© Hubert RAGUET/ENS-PSL

Réfrigérateur à dilution utilisé pour atteindre une température de quelques dizaines de MilliKelvins (plus de dix mille fois inférieure à la température ambiante) nécessaire à l'observation des anyons

(suite page 16)

ZOOM sur 3 grands HUBS



(suite de l'article de la page 15)

PSL UNIVERSITÉ

DE L'EXISTENCE DES ANYONS À L'ORDINATEUR DU FUTUR : UNE AVANCÉE SCIENTIFIQUE REMARQUABLE

Dans notre monde tridimensionnel, la mécanique quantique qui décrit le monde microscopique n'autorise l'existence que de deux types de particules : les fermions et les bosons. Si l'existence des anyons et leurs propriétés quantiques, intermédiaires entre celles des fermions et les bosons, ont été prédites théoriquement il y a quarante ans, leur nature fondamentalement différente était restée inaccessible jusqu'ici.

Pour conclure définitivement à l'existence des anyons, ces quasiparticules ni vraiment fermions ni vraiment bosons, les chercheurs ont mis en place des conditions particulières d'expérience. Les chercheurs du LPENS, Laboratoire de physique de l'Ecole normale supérieure ont utilisé un collisionneur au sein d'une puce électronique fabriquée par des physiciens du Centre de nanosciences et de nanotechnologies grâce auquel les physiciens ont pu observer le comportement des anyons durant les collisions. C'est dans un conducteur microscopique dont le diamètre est comparable à celui d'un cheveu et à des températures ultra basses, plus de dix mille fois inférieures à la température ambiante, que tout s'est joué.

Ces résultats, qui font la une de l'une des plus prestigieuses revues scientifiques mondiales, sont une avancée remarquable pour la physique fondamentale et pour les scientifiques qui peuvent désormais manipuler des objets élémentaires aux propriétés nouvelles.

Certaines d'ailleurs semblent très prometteuses pour la recherche en calcul quantique topologique si nécessaire pour avancer vers l'ordinateurs quantique. Un ordinateur du futur dont les opérations de calcul seraient basées sur les échanges de positions d'anyons. Rappelons que les opérations de calcul quantique usuelles sont basées sur la manipulations d'états quantiques dont la fragilité constitue pour l'instant un verrou technologique majeur. ■

Bibliographie :

FRACTIONAL STATISTICS IN ANYON COLLISIONS,

H. Bartolomei, M. Kumar, R. Bisognin, A. Marguerite, J.M. Berroir, E. Bocquillon, B. Plaçais, A. Cavanna, Q. Dong, U. Gennser, Y. Jin, G. Fève,

Science, le 10 avril 2020.
Digital Cover of Science,
10 APRIL 2020: VOL 368 ISSUE 6487



Contact presse :

ENS - PSL | olen.gaultier@ens.psl.eu
Sorbonne Université : claire.de_thoisy-mechin@sorbonne-universite.fr

Contacts chercheurs :

Gwendal FÈVE
(Professeur Sorbonne Université au LPENS)
Tél : +33 1 44 32 25 79
gwendal.feve@ens.fr

Jean-Marc BERROIR
(ENS-PSL ; Directeur du Laboratoire de Physique de l'ENS)
Tél : 01 44 32 25 90
jean-marc.berroir@ens.fr

UN INSTITUT SPÉCIALISTE DE L'ALGORITHMIQUE QUANTIQUE

Le développement de la filière quantique repose sur de nouvelles générations d'algorithmes. L'Institut de Recherche en Informatique Fondamentale (IRIF), est une unité mixte de recherche d'Université de Paris et du CNRS de près de 200 chercheurs et enseignants-chercheurs spécialisés dans l'informatique fondamentale, source d'innovation de rupture pour répondre aux défis actuels et futurs des sciences numériques. Au sein de l'IRIF, l'équipe Algorithmes et complexité, a acquis une renommée internationale pour sa contribution au développement d'algorithmes quantiques et à la cryptographie : cadre général des marches quantiques, première application concrète de l'apprentissage par machine quantique dans les systèmes de re-commandation et les techniques d'optimisation. Les compétences hautement spécialisées de cette équipe en font un partenaire recherché dans le cadre de programmes européens, ou de collaboration industrielle, comme par exemple avec la société Atos.

QUANTECH

L'IRIF et MPQ participent à des formations de très haut niveau dans le domaine des technologies quantiques avec une ouverture internationale : les parcours de master « **Quantum Devices** » pour la partie physique, et le « **Master Parisien de Recherche en Informatique** » pour la partie informatique. Ces formations constituent la base de la graduate school QuanTech (financée dans le cadre national SFRI) qui vise à former des étudiants en master et des doctorants en leur donnant une base de connaissances solide dans le domaine de l'information quantique avec une approche transversale combinant des compétences en physique quantique et en théorie de l'information. Cette graduate school sera fortement liée à ses partenaires de Sorbonne Université et de PSL Université. Outre ces activités d'enseignement, ces trois institutions, aux côtés du CNRS et d'Inria, sont partenaires du Paris Centre for Quantum Computing fondé en 2014. Ce centre regroupe 21 UMR et 10 PME et est à l'origine du hub quantique de Paris Centre. ■



Contact :
Frédéric MAGNIEZ,
Directeur IRIF



International Conference
on Integrated Quantum Photonic
Université de Paris
15-17 October 2018

Chairs :
S. Ducci (MPQ, Université de Paris),
E. Diamanti (LIP6, Sorbonne Université
/ CNRS), P. Senellart-Mardon (C2N,
Université Paris Saclay / CNRS)

À PROPOS DE L'ÉQUIPE DE RECHERCHE :

Les travaux publiés dans Science ont été conduits par une équipe réunissant des physiciens du CNRS, de Sorbonne Université et de l'École normale supérieure-PSL.

Cette équipe fait partie du groupe de physique mésoscopique du LPENS, un laboratoire de l'ENS-PSL, du CNRS, de Sorbonne Université et de l'Université de Paris. Elle a collaboré pour cette publication avec l'équipe Phynano du C2N, laboratoire du CNRS et de l'Université Paris-Saclay.

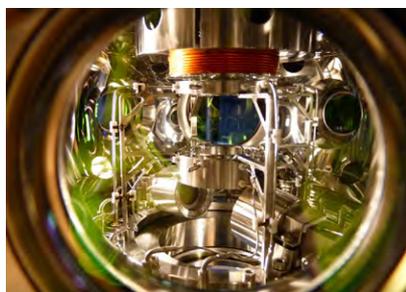
Les travaux de recherche du groupe de physique mésoscopique portent de manière générale sur les règles quantiques du transport du courant électrique dans des conducteurs modèles comme les gaz bidimensionnels d'électrons, le graphène, les nanotubes de carbone, les isolants topologiques ou encore les qubits supraconducteurs. Ils bénéficient du soutien financier du Conseil européen pour la recherche (ERC), de l'Agence nationale pour la recherche (ANR) et du réseau Renatech.

ZOOM sur les autres écosystèmes quantiques



Responsable CESQ : Guido PUPILLO

Responsable QMAT : Bernard DOUDIN



UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

CENTRE EUROPÉEN DE SCIENCES QUANTIQUES, DE LA CHIMIE DES NOBEL À L'EUROPE DU QUANTIQUE

Le « Centre Européen des Sciences Quantiques – CESQ » est un pôle transnational de recherche et d'enseignement qui se concentre sur la physique quantique et ses interfaces avec la chimie, la science des matériaux, la photonique et l'informatique, visant de nouvelles applications en sciences fondamentales et pour l'industrie quantique émergente. Il s'appuie sur une tradition exceptionnelle de recherche interdisciplinaire menée par plus de 30 équipes à Strasbourg, dont celles de 3 prix Nobel et 1 prix Kavli, ainsi que sur deux projets Labex et deux projets Equipex financés dans le cadre du « Programme des Investissements d'Avenir (PIA) ». Le CESQ héberge actuellement un simulateur quantique de pointe basé sur des atomes de Rydberg ultra-froids, qui est l'une des plates-formes physiques les plus prometteuses pour la simulation et l'informatique quantique. Les chercheurs y pratiquent à la fois des expériences de pointe en physique et chimie des matériaux quantiques et des matériaux modifiés par la lumière mais y développent également une forte expertise en théorie quantique. Un nouveau bâtiment pour le CESQ sera inauguré en 2021 ce qui permettra l'ouverture de plusieurs nouveaux laboratoires de physique quantique et réunira environ 80 experts qui seront pleinement impliqués dans l'Institut Thématique Interdisciplinaire Quantum science and nanomaterials (Qmat) labélisé en 2020 par l'IdEx Unistra.

Ces initiatives favorisent un réseau étendu de collaborations nationales, transfrontalières franco-allemandes et internationales en matière de recherche et d'enseignement. Une École Universitaire de Recherche en sciences quantiques « Qmat - », financée par PIA, propose un programme d'enseignement de premier ordre qui contribue au domaine de recherche prioritaire en sciences et technologies quantiques de l'alliance trinationale des Universités « EUCOR - The European Campus ». Ce partenariat comprend l'Institut de Technologie de Karlsruhe (KIT), les universités de Freiburg et de Basel, ainsi que le laboratoire IBM Research à Zurich. Avec le programme de doctorat MSCA européen « QUSTEC - Quantum Science and Technologies at the European Campus », ce réseau occupe une place unique en Europe. La communauté de la physique quantique à Strasbourg est également impliquée dans plusieurs réseaux internationaux de formation tels que « MOQS - Molecular Quantum Simulations » avec des applications pour la chimie et l'industrie pharmaceutiques. Ces initiatives de formation et de recherche prépareront une nouvelle génération de scientifiques à la technologie quantique de demain à la fois pour la recherche académique et l'industrie. ■



**Trinational PhD programme:
Quantum Science and Technology at
the European Campus (QUSTEC)**

→ www.eucor-uni.org/en/qustec/



**International Graduate School and
Interdisciplinary Thematic Institute –
Quantum Science and Nanomaterials**

→ qmat.unistra.fr



**International Training Network -
Molecular quantum simulations**

→ moqs.eu

UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON 1

UNE RECHERCHE DE POINTE EN NANOSCIENCES ET ÉLECTRONIQUE QUANTIQUE

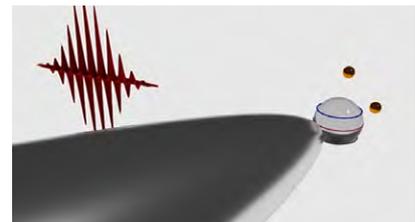
La recherche lyonnaise se positionne sur les technologies habilitantes en nanosciences et en électronique quantique, notamment à travers les travaux de l'INL, l'IP2I, le LPENSL et l'ILM. Ainsi, l'IP2I et l'ILM ont développé un nouveau type de microscope utilisant l'information quantique qui permettra de sonder les propriétés cohérentes de la matière et améliorer l'imagerie à ultra faible dose d'objets biologiques sensibles aux radiations. En lien avec le LPENSL, l'équipe de l'ILM de Franck Lépine spécialisée en physique quantique à l'échelle de l'attoseconde (10^{-18} secondes) parvient, en combinant l'optique quantique électronique et la nanophysique, à manipuler l'électron à une échelle de temps où le mouvement nucléaire est essentiellement figé. Une prouesse technique qui ouvre des perspectives en nano/microscopie, métrologie ultrarapide ou dans le développement de détecteurs quantiques.

Enfin, les travaux de l'INL et de l'ILM en lien avec la plateforme de l'ILM-Tech sur des « boîtes quantiques colloïdales » constituent des briques essentielles pour la cryptographie quantique, le calcul quantique ou de futurs dispositifs de l'internet quantique. L'intégration de ces « boîtes » dans des nanofils ou micropiliers, ou dans des cavités à fort facteur de qualité ouvre par ailleurs la voie à des émetteurs quantiques CMOS compatibles.

FACILITER L'APPROPRIATION DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE PAR LE PUBLIC

Le laboratoire S2HEP a constitué depuis une dizaine d'années un groupe « Mécanique Quantique » regroupant physiciens, didacticiens et historiens de la physique, philosophes... Son objectif : mener une réflexion épistémologique sur l'enseignement de la Mécanique quantique que ce soit dans l'enseignement secondaire/supérieur, ou pour la diffusion auprès du public. En complément d'un enseignement traditionnel, ou à une médiation muséale, le groupe propose d'explorer d'autres supports pour capter l'attention du public et faciliter la compréhension de concepts quantiques. Des supports tels que le roman de science-fiction de Greg Egan « ISOLATION », ou des bandes dessinées comme celle de Thibaut D'amour et Mathieu Burniat « Le mystère du monde quantique », sont des alternatives à l'enseignement traditionnel de la mécanique quantique qui ouvrent une réflexion épistémologique sur la science qui se construit et incitent au développement de l'esprit critique. Autant d'actions qui sont une barrière potentielle aux différents dévoiements orchestrés autour de la mécanique quantique. ■

Contact : Philippe LAUTESSE | philippe.lautesse@univ-lyon1.fr



Contact :
Philippe DUGOURD
philippe.dugourd@univ-lyon1.fr

Et aussi :

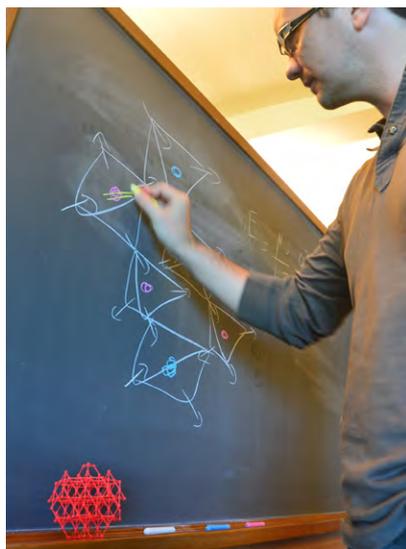
Les travaux réalisés à l'IP2I, en collaboration avec l'ILM, couplant pour la première fois et en une seule mesure résolution temporelle et spatiale sur des micro/nano-canaux, ont fait l'objet de deux brevets qui intéressent la société Hamamatsu, l'un des leaders dans les capteurs ultrasensibles.

L'écosystème lyonnais est impliqué dans le projet Flagship européen QMiCs (Micro-ondes Quantiques pour la Communication et la Détection) qui vise à mettre en place les bases technologiques pour permettre l'amélioration quantique de la communication et de la détection. QMiCs prévoit d'aller jusqu'au développement, par l'équipe de Benjamin Huard, professeur à l'ENS de Lyon et membre du LPENS, d'un prototype de réseau quantique et d'une preuve de principe de radar quantique.



ZOOM sur les autres écosystèmes quantiques

université
de **BORDEAUX**



Porteur du projet : Ludovic JAUBERT

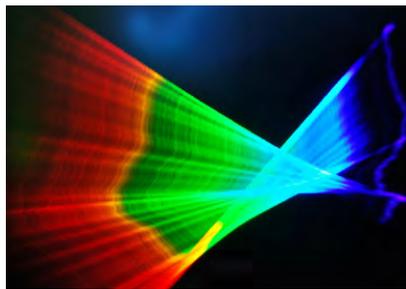
UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

QUANTUM MATTER BORDEAUX

Fort de sa communauté d'une centaine de chercheurs(ses), Quantum Matter Bordeaux est internationalement reconnu avec des collaborateurs dans 120 institutions étrangères (50% Europe, 25% USA/Canada). Le projet réunit des chimistes, des physiciens et des théoriciens dont la synergie permet de maîtriser la complexité des défis actuels. Cette communauté contribue au nouvel élan de la chimie exploratoire française, avec la prochaine génération de supraconducteurs et d'aimants moléculaires à haute température, plus respectueuse de l'environnement (moins toxique et plus durable), mais aussi de matériaux multifonctionnels. En levant des verrous technologiques clefs, elle fait le pont entre les échelles des atomes ultra-froids sur réseaux (500 nm) et celle des matériaux quantiques (0.1 nm). Ces développements, combinés à un fort investissement théorique (analytique, numérique, intelligence artificielle) sur l'étude des systèmes topologiques, magnétiques et nanotechnologiques (opto-mécanique, cavités), ouvrent sur de nombreuses applications potentielles dans les domaines de la spintronique, de l'électronique et simulation quantiques, des capteurs ultra-sensibles ou du contrôle de réactions chimiques.

GRADUATE PROGRAM LIGHT S&T

Le Graduate Program Light Sciences & Technologies de l'université de Bordeaux propose un cursus intégré master-doctorat centré sur 3 domaines d'excellence scientifique : la génération, la manipulation et la détection de la lumière ; les régimes extrêmes de la lumière et la biophotonique. L'enseignement transdisciplinaire est axé sur la recherche, avec des périodes de stage intensifs en immersion dans les laboratoires du campus ou dans des services de recherche et développement industriels. Ce programme propose une formation à l'innovation et l'entrepreneuriat dans le domaine de la photonique et favorise la mobilité internationale (partenariats avec l'INRS au Québec, l'ABS Jena en Allemagne...). Environ 20 doctorants et 70 étudiants en master sont inscrits par an, dont une dizaine d'élèves-ingénieurs suivant le double cursus proposé avec l'Institut d'Optique Graduate School (IOGS). Depuis sa création il y a 2 ans, 60 % des heures de formation existantes ont été adaptées aux dernières innovations scientifiques et techniques, pour développer d'avantage les formations en anglais et la manipulation des outils de recherche. Personnels et étudiants sont hébergés dans l'Institut d'Optique d'Aquitaine, un site unique qui rassemble enseignement, activités de recherche et start-ups. ■



© Alphanov

Directeur du programme :
Brahim LOUNIS

→ <https://light-st.u-bordeaux.fr/>

Et aussi :

Laboratoire transfrontalier
QuantumChem :

→ <http://www.quantumchemphys.org/>

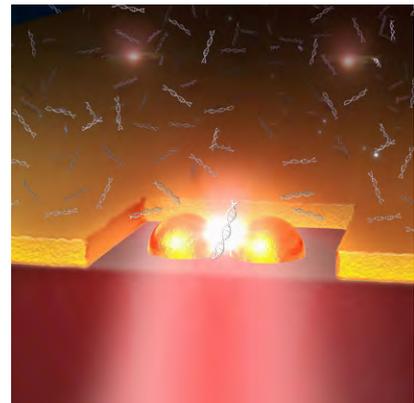
AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ

« CONSTRUIRE UNE APPROCHE MULTIDISCIPLINAIRE DU QUANTIQUE »

Inscrit dans les statuts de l'Université d'Aix-Marseille, des instituts d'établissement formation/recherche ont été créés en 2020 afin de rassembler nos forces sur des thématiques majeurs pour le site d'Aix-Marseille partagées avec nos partenaires institutionnelles. Concernant le thème Quantique, deux instituts Archimede et AMUtech rassemblent nos forces, complété par une plateforme technologique (datacenter, mésocentre) pour les aspects simulation et calcul. S'appuyant sur les compétences disciplinaires en informatique, cryptographie, codes erreurs quantique (Archimede) et (astro)chimie, physique, (nano) objets, nano-photonique (AMUtech), la promotion de recherche multi-disciplinaire en quantique est menée sur le site d'Aix-Marseille, de la diffusion de la connaissance sur ce thème au sein des graduates schools.

Notre potentiel est également fortement engagé à l'échelle nationale dans le cadre de GDR nationaux ainsi qu'en qualité de partenaire d'équipements d'excellence, comme celle coordonnée par Genci.

Le site d'Aix-Marseille s'engage au sein de Udice pour apporter sa contribution à la stratégie française sur le quantique en termes de recherche, formation et innovation. ■



UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

QUANTUM @ UCA : RÉSEAUX DE COMMUNICATION QUANTIQUES HYBRIDES BASÉS SUR DES SOLUTIONS FIBRE ET SATELLITE

Quantum @ UCA met actuellement en place une plate-forme expérimentale unique dédiée au déploiement de technologies de communication quantique. Au sein d'un tel réseau quantique, les informations sont générées avec des débits de bit élevés, elles sont distribuées, manipulées, mesurées et distillées au niveau quantique, puis traitées, vérifiées et établies au niveau classique entre 3 sites distants (Nice-Valrose, Nice-Campus -La Plaine du Var- et SophiaTech). Grâce à de véritables protocoles de cryptographie quantique, un haut niveau de sécurité dans les échanges de données est atteint. Quantum @UCA bénéficie de l'implication de grandes entreprises comme Orange et Accenture. Les applications spatiales font également partie de la feuille de route afin d'élargir la portée de la communication quantique pour connecter et synchroniser les réseaux quantiques locaux en fibre optique, comme Paris Centre et Côte d'Azur. L'idée est d'exploiter les stations au sol et les systèmes aéroportés tels les CubeSats. Sont également impliqués l'Observatoire de la Côte d'Azur, Sorbonne Université, l'Université Grenoble Alpes, Thales Alenia Space et le CNRS. Le partenaire principal est l'Institut de Physique de Nice (INPHYNI, Sébastien Tanzilli et son équipe). ■



ORGANISATION



Christine CLERICI, *Présidente*

Christine CLERICI est présidente d'Université de Paris et présidente d'UDICE qui regroupe 10 universités de recherche de recherche intensive françaises depuis 2019.

Elle a été présidente de l'université Paris Diderot de 2014 à 2018. Elle est membre du conseil scientifique de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques depuis 2016 et a été nommée membre du Collège de déontologie du ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation en mai 2018.

PU-PH de Physiologie, elle dirige le département de Physiologie Explorations Fonctionnelles du groupe APHP Université de Paris-Nord et elle est membre de l'Unité Inserm 1152 « physiopathologie et épidémiologie des maladies respiratoires ».



Hélène JACQUET, *Déléguée Générale*

Hélène Jacquet assure la fonction de Déléguée Générale de Udice à compter du 1^{er} octobre 2020.

Docteur en informatique, elle a occupé différentes fonctions dans la R&D et l'innovation dans le secteur public et privé en France et aux États-Unis, que ce soit en tant que chercheur sénior, responsable d'une structure de transfert de technologie ou comme consultante.

En 2009, elle a rejoint l'université de Bordeaux comme chargée de la stratégie et des grands projets, et accompagne son développement notamment par le pilotage de son initiative d'excellence. Depuis 2018, elle est Vice-présidente stratégie et développement de l'université de Bordeaux.

Hélène JACQUET est Chevalier de l'Ordre National du Mérite.



Ilyas KENADID, *Chargé de Mission*

Ilyas KENADID est Chargé de Mission pour le compte de Udice à compter du 1^{er} octobre 2020.

Après un premier cycle universitaire en Droit à l'université de Strasbourg, Ilyas KENADID poursuit une année de spécialisation en alternance à l'IEA Gustave Eiffel, Université Paris-Est Créteil dont il obtient un Master 2 « Management Public Développement et Management des Universités » en 2018. Ilyas KENADID est par ailleurs Vice-président Vie universitaire de l'Université de Strasbourg dans l'équipe du Président Michel DENEKEN. De novembre 2018 à septembre 2020, il est chargé de mission de la Coordination des universités de recherche intensive françaises. ■

> UNE AMBITION

Udice est un collectif oeuvrant pour une recherche d'excellence, la performance de l'enseignement supérieur, et le développement d'écosystèmes d'innovation attractifs en France et en Europe.

Les membres du groupe Udice sont réunis autour d'une même vision d'universités de recherche fortes, autonomes et agissantes au bénéfice :

- d'une société démocratique et soutenable
- d'une science et son partage pour un futur souhaitable
- de la formation des chefs de file de demain
- de l'innovation et l'audace au bénéfice de leurs publics, leurs territoires et du plus grand nombre.

> DES ACTIONS

Udice agit pour le renforcement de la capacité des universités à transformer positivement et durablement leurs environnements.

- **PROMOUVOIR** les universités de recherche françaises et leurs valeurs sur le territoire et dans le monde.
- **ÉCLAIRER** les débats, les politiques et les décideurs, par des propositions étayées par l'évidence scientifique.
- **EXPÉRIMENTER** à grande échelle, au bénéfice de l'innovation et des transitions socio-environnementales.
- **ANTICIPER** par la production et la coproduction de prospectives sur des sujets d'intérêt collectif.

Une science ouverte, une science aux frontières de la connaissance, une science éthique et responsable.

> INTERNATIONAL

Udice conduit des actions communes avec les réseaux des grandes universités de recherche dans le monde et agit au sein de l'Union européenne pour l'élaboration et la mise en oeuvre de politiques de recherche, d'enseignement supérieur et d'innovation de long terme. ■

LES ORGANISMES DE RECHERCHE NATIONAUX : DES PARTENAIRES ESSENTIELS

La grande majorité des équipes qui développent les technologies de la quantique sont dans des laboratoires ou projets mixtes de recherche qui sont partagés avec les organismes de recherche.

Cette mixité en environnement universitaire est indispensable pour atteindre un haut niveau de performance couplant des expertises pluridisciplinaires, et développer une offre de formation immédiatement inspirée par les avancées scientifiques. C'est vrai de façon générale dans la recherche, et en particulier sur la filière quantique qui requiert un très haut niveau de science et de technicité pour lever les verrous par de nouvelles approches.

La longue tradition de la physique fondamentale au CNRS, les infrastructures à la pointe du CEA et l'approche projet de l'Inria sont autant de marques de fabrique qui sous-tendent une signature distinctive de la filière quantique française. ■



UDICE, présentation des universités membres



Créée le 1^{er} janvier 2012, Aix-Marseille Université (AMU) est la plus grande université pluridisciplinaire francophone. Elle accueille 80 000 étudiants et près de 8 000 personnels sur 5 grands campus aux standards internationaux. Propriétaire de 90 % de son patrimoine, l'université est présente sur 9 villes, dans 4 départements de la Région Sud.

Université de recherche intensive, elle abrite 121 structures de recherche en lien avec les grands organismes de recherche nationaux. Faisant le pari de l'interdisciplinarité qu'elle place au cœur de sa stratégie de développement, elle a récemment créé 15 instituts d'établissement garantissant les passerelles entre recherche et formation et une large ouverture à l'international.

Université responsable, socialement engagée, Aix-Marseille Université fait du « bien-vivre ensemble » une priorité.

→ univ-amu.fr

twitter : [@univamu](https://twitter.com/univamu)



Établie formellement en 2019, l'Université Paris Sciences et Lettres (PSL) est composée de 11 établissements prestigieux (voir Site internet). Avec 2 900 enseignants-chercheurs, 17 000 étudiants, 140 laboratoires et une dizaine d'incubateurs, fablabs et espaces de co-working, l'Université PSL fait dialoguer tous les domaines du savoir, de l'innovation et de la création.

Située au cœur de Paris, l'Université PSL est classée parmi les 50 premières universités mondiales. Elle forme au plus près de la recherche des chercheurs, ingénieurs, entrepreneurs, artistes ou dirigeants conscients de leur responsabilité sociale, individuelle et collective.

→ psl.eu

twitter : [@psl_univ](https://twitter.com/psl_univ)



Créée le 1^{er} janvier 2018, Sorbonne Université est une université pluridisciplinaire de recherche intensive de rang mondial. Située au cœur de Paris, présente en région, elle représente 55 300 étudiants, 6 400 enseignants-chercheurs et chercheurs et 3 600 personnels administratifs et techniques qui la font vivre au quotidien est engagée pour la réussite de ses étudiants et s'attache à relever les défis scientifiques du 21^{ème} siècle.

Sorbonne Université se caractérise par une masse critique de recherche de très haut niveau au sein de 135 unités de recherche et une centaine de plateformes de recherche en partenariat très étroit avec les Établissements publics à caractère scientifique et technologique (EPST) dans un continuum disciplinaire très large : sciences et technologies, sciences du vivant et de l'environnement, santé, sciences de l'homme et de la société. Sorbonne Université promeut la diversité, la créativité, l'innovation et l'ouverture sur le monde.

→ sorbonne-universite.fr

twitter : [@Sorbonne_Univ](https://twitter.com/Sorbonne_Univ)



L'Université Claude Bernard Lyon 1, compte près de 46 000 étudiantes et étudiants et propose, depuis plus de 40 ans, une formation d'excellence et une recherche de pointe. Avec 66 laboratoires et plus de 5 500 publications par an, l'Université Lyon 1 fait avancer la science dans de nombreux domaines : santé, mathématiques, informatique, physique, chimie, sciences de la Terre et de l'Univers, sciences du vivant...

Cette dynamique de recherche en sciences fondamentales s'accompagne d'une politique volontariste de valorisation et de recherche partenariale. Avec la création de 9 start-up et le dépôt de 34 brevets en 2019, Lyon 1 continue de tisser des liens solides et durables avec les entreprises. L'excellence de sa recherche place Lyon 1 parmi les 10 premières universités françaises au classement de Shanghai 2020 et parmi les 50 premières universités mondiales au classement Reuters innovation 2019. Elle reste aussi la 2^e université française en dépôt de brevets en 2020 (INPI).

→ univ-lyon1.fr

twitter : [@UnivLyon1](https://twitter.com/UnivLyon1)



Université Côte d'Azur est depuis le 1^{er} janvier 2020, une université expérimentale et se substitue à la fois à l'Université Nice Sophia Antipolis créée en 1965 et à la Communauté d'Universités et d'Établissements Université Côte d'Azur créée en 2015. Université Côte d'Azur forme plus de 35 000 étudiants de plus de 100 nationalités différentes.

Avec plus de 4 000 personnes impliquées dans la recherche dans des laboratoires et projets en partenariat avec les organismes nationaux, les recherches menées à Université Côte d'Azur visent à relever de grands défis de la science et de la société. Elles couvrent un large continuum d'objectifs, d'approches et de méthodologies, depuis la science amont fondamentale jusqu'à la recherche finalisée.

→ univ-cotedazur.fr

twitter : [@Univ_CotedAzur](https://twitter.com/Univ_CotedAzur)



Établie sous sa forme actuelle le 1^{er} janvier 2014, l'université de Bordeaux (UB) a su s'adapter à son environnement et se réinventer pour devenir une référence de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation. Avec 57 400 étudiants dont 50% en 2^e et 3^e cycles universitaires, 6 000 personnels et plus de 80 unités de recherche en partenariat avec les organismes de recherche, l'université de Bordeaux est la troisième université française hors région parisienne.

Université de recherche internationale, pluridisciplinaire, elle est aussi un acteur incontournable du territoire aquitain et de l'euro-région. L'université de Bordeaux possède un foncier de 187 hectares, dont 140 d'espaces verts, et offre une qualité de vie et d'étude sur plusieurs campus au sein d'un territoire très attractif.

L'université de Bordeaux cultive depuis 580 ans les valeurs universelles dans lesquelles elle puise son identité : humanisme, exigence, créativité et diversité.

→ u-bordeaux.fr

twitter : [@univbordeaux](https://twitter.com/univbordeaux)



Université de recherche intensive pluridisciplinaire créée le 20 mars 2019, Université de Paris se hisse au niveau des établissements français et internationaux les plus prestigieux grâce à sa recherche de très haut niveau, ses formations supérieures d'excellence, son soutien à l'innovation et sa participation active à la construction de l'espace européen de la recherche et de la formation.

Forte de ses 64 100 étudiants, 7250 chercheurs et enseignants-chercheurs, 4 500 personnels administratifs et techniques et 138 laboratoires, Université de Paris participe à l'incarnation d'une ville monde, ouverte sur la société et le monde, la jeunesse et les savoirs.

Entre histoire et modernité, Université de Paris est implantée sur une vingtaine de campus et sites de recherche et dispose d'un patrimoine immobilier exceptionnel essentiellement situés dans Paris intra-muros et sa petite couronne.

Neuf mois après sa création, Université de Paris est entrée dans le top 100 des universités au plan mondial.

→ u-paris.fr

twitter : [@Univ_Paris](https://twitter.com/Univ_Paris)



L'Université de Strasbourg, c'est près de cinq siècles d'histoire, des noms illustres, un patrimoine riche, une situation européenne. L'université c'est aussi plus de 52 000 étudiants accueillis chaque année dont 20% d'étudiants étrangers, 5300 enseignants chercheurs et personnels, 35 unités de formations et recherches, 72 unités de recherche.

Des chiffres imposants qui font de l'université un espace riche et multiple que ce soit dans l'offre de formation pluridisciplinaire et la recherche comme dans l'offre culturelle et patrimoniale. Une université comme cadre de vie.

Créée le 1^{er} janvier 2009, pionnière des universités françaises fusionnées, l'Université de Strasbourg aborde aujourd'hui avec force la compétition internationale.

→ unistra.fr

twitter : [@unistra](https://twitter.com/unistra)

UDICE, présentation des universités membres



Ancrée sur son territoire, pluridisciplinaire et ouverte sur l'international, l'Université Grenoble Alpes rassemble, depuis le 1er janvier 2020, les forces de l'enseignement supérieur public de Grenoble et Valence. L'Université Grenoble Alpes réunit 55 000 étudiants et 6700 personnels.

En association avec les organismes nationaux de recherche et les grands instruments internationaux présents sur son territoire, elle construit sa politique de recherche et d'innovation à l'échelle mondiale. Six pôles de recherche soutiennent et développent l'excellence dans l'ensemble des disciplines, tant en recherche fondamentale qu'en recherche appliquée, favorisent la pluridisciplinarité et encouragent les collaborations des équipes de différents pôles.

L'université Grenoble Alpes est, en 2020, la première université française hors région parisienne à se classer dans le top 100 du prestigieux classement de Shanghai.

→ univ-grenoble-alpes.fr

twitter : [@UGrenobleAlpes](https://twitter.com/UGrenobleAlpes)



Université de recherche couvrant un large spectre de disciplines, l'Université Paris-Saclay a été créée en janvier 2020. Elle regroupe des composantes universitaires, des établissements composantes et des universités membres associés. Avec 48 000 étudiants, 9 000 enseignants et enseignants-chercheurs et 11 000 personnels techniques et administratifs, l'Université Paris-Saclay propose une offre de formation complète et variée en Licence, Master et Doctorat. Avec 275 laboratoires partagés avec les organismes de recherche, elle représente 13% du potentiel de recherche français. Elle opère dans un environnement naturel classé, proche de Paris, et au cœur d'un tissu économique particulièrement dynamique dont elle constitue un moteur du développement.

L'Université Paris-Saclay est la première université française à se classer dans le top 20 du prestigieux classement de Shanghai en 2020.

→ universite-paris-saclay.fr

twitter : [@UnivParisSaclay](https://twitter.com/UnivParisSaclay)

Glossaire

Sigles et glossaire des laboratoires

C2N : Centre de Nanosciences et Nanotechnologies, CNRS / UPSaclay

LPS : Laboratoires de Physique des Solides, CNRS / UPSaclay (UMR8502INAC : INAC Institut Nanosciences et Cryogénie, Structure collaborative CEA / UGA (FED 4177))

ILM : l'Institut Lumière Matière, Université Claude Bernard Lyon 1 / CNRS

INL : Institut des Nanotechnologies de Lyon, CNRS / Université Lyon 1 / Centrale Lyon / INSA / CPE

INPHYNI : l'Institut de physique de Nice, Université Côte d'Azur / CNRS

Institut Néel : CNRS / UGA (UPR2940)

IP2I : Institut de physique des 2 infinis de Lyon, CNRS / Université Claude Bernard Lyon 1

IPP : Institut Polytechnique de Paris

IRIF : L'Institut de Recherche en Informatique Fondamentale, Université de Paris / CNRS

LAC : Laboratoire Aimé Cotton, CNRS, UPSaclay (FRE2038)

LCF : Laboratoire Charles Fabry, UMR CNRS / UPSaclay / IOGS

LETI : Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information du CEA

LP2N : Laboratoire Photonique, Numérique et Nanosciences, Université de Bordeaux / CNRS / IOGS

LPENS Lyon : Laboratoire de Physique de l'ENS de Lyon, ENS de Lyon / Université Claude Bernard Lyon 1 / CNRS

LPENS Paris : Laboratoire de Physique de l'ENS PSL, CNRS / ENS Paris / PSL Université / Sorbonne Université / Université de Paris

LRI : Laboratoire de Recherche en Informatique, UPSaclay / CNRS / INRIA/ CentraleSupélec

Unité Mixte de Physique : CNRS / Thales

LUMIN : Lumière, Matière et Interfaces, UPSaclay / ENS Paris-Saclay / CNRS / CentraleSupélec (FRE2036)

MIAI : Multidisciplinary Institute in Artificial Intelligence – UGA / CNRS / INRIA / INSERM / CEA / CHU Grenoble Alpes / Grenoble INP / Grenoble Graduate School of Business

MPQ : Laboratoire Matériaux et Physique Quantique, Université de Paris / CNRS

S2HEP : Sciences, Société, Historicité, Éducation et Pratiques, Université Claude Bernard Lyon 1

SPEC : Service de Physique de l'Etat Condensé, CEA / CNRS (UMR3680)

Autres sigles

EquipEx : Equipement d'Excellence, Programme des Investissements d'Avenir (PIA)

FET : Future Emerging Technologies (Horizon Europe, EU)

GDR : Groupe de Recherche

GENCI : Grand Equipement National de Calcul Intensif

IdEx : Initiative d'Excellence, Programme des Investissements d'Avenir (PIA)

LabEx : Laboratoire d'Excellence, Programme des Investissements d'Avenir (PIA)

SFRI : Structuration de la Formation par la recherche dans les Initiatives d'excellence, Programme des Investissements d'Avenir (PIA)

Production : **Udice, 85 boulevard Saint-Germain, 75006 Paris**

Directrice de la publication : **Christine Clerici, présidente**

Rédactrice en chef : **Hélène Jacquet, déléguée générale**

Comité éditorial : **Denis Bertin, Hubert Bost, Hervé Courtois, Nathalie Drach-Temam, Frédéric Fleury, Estelle Iacona, Elisabeth Pecou, Dean Lewis, Édouard Kaminski, Christelle Roy**

Avec l'aimable contribution de : **Alexia Aufferes, Eleni Diamanti, Pascale Senellart**

Remerciements : **Rédacteurs et rédactrices des équipes, laboratoires et projets mentionnés dans le dossier thématique**

Équipes des directions de la communication des établissements membres du groupe Udice

Conception graphique : **Atelier de Création Graphique Vincent Grégoire**

Novembre 2020

Udice French
Research
Universities

CONTACT

85 boulevard Saint-Germain
75006 Paris, France

→ MAIL : contact@udice.org

→ SITE WEB : www.udice.org

→ TWITTER : [@UdiceGroup](https://twitter.com/UdiceGroup)