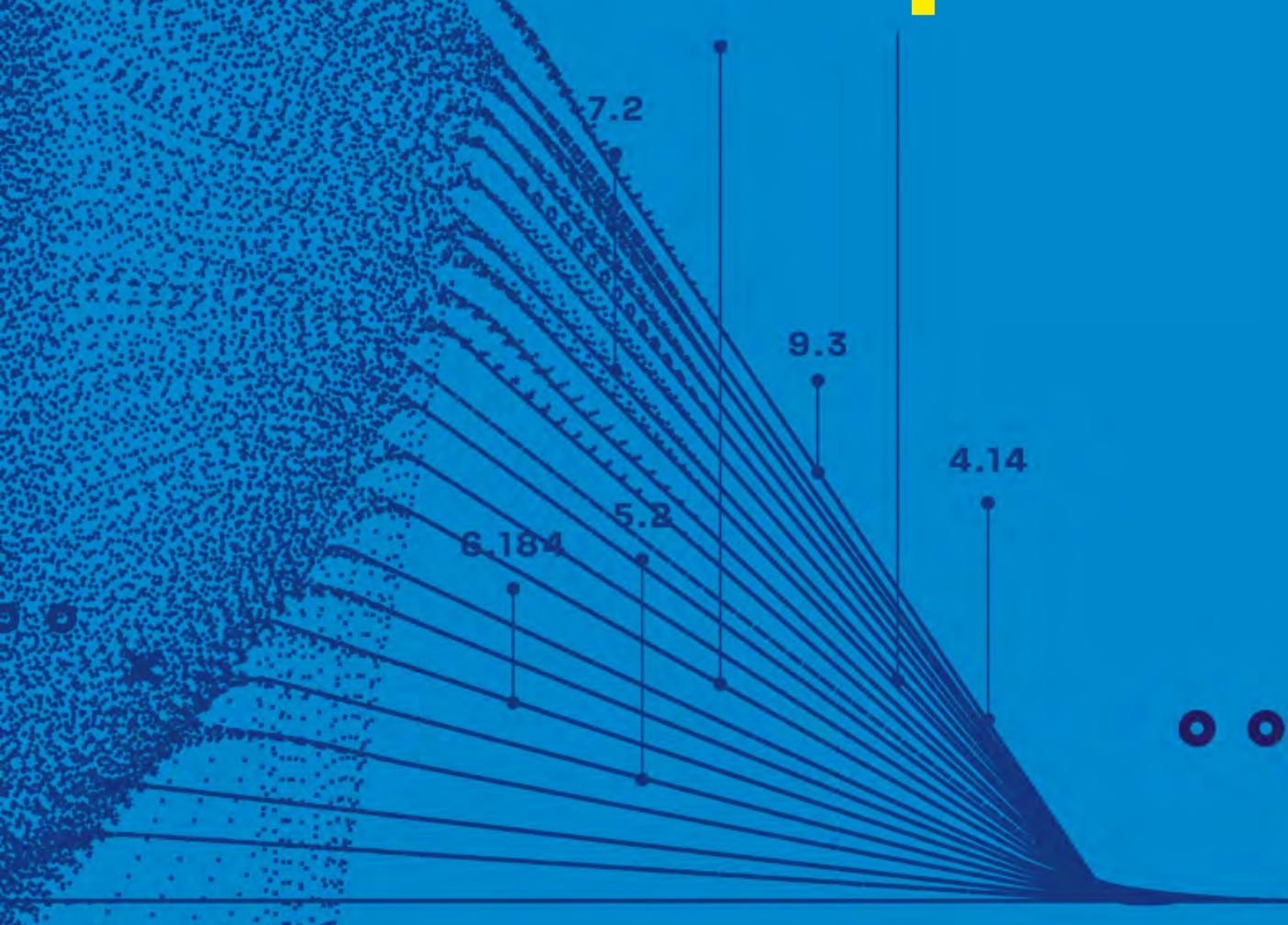


●  
**PARIS-SACLAY**

● **INNOVATION  
PLAYGROUND**

# Paris-Saclay Leader en technologies numériques



**PRAXIS 8**  Filières d'excellence

## Paris-Saclay, leader en technologies numériques

- 4 Paris-Saclay, un territoire au service de l'innovation
- 6 Des technologies numériques pour une industrie du futur

## Un concentré de compétences sur des technologies clés au service de l'industrie

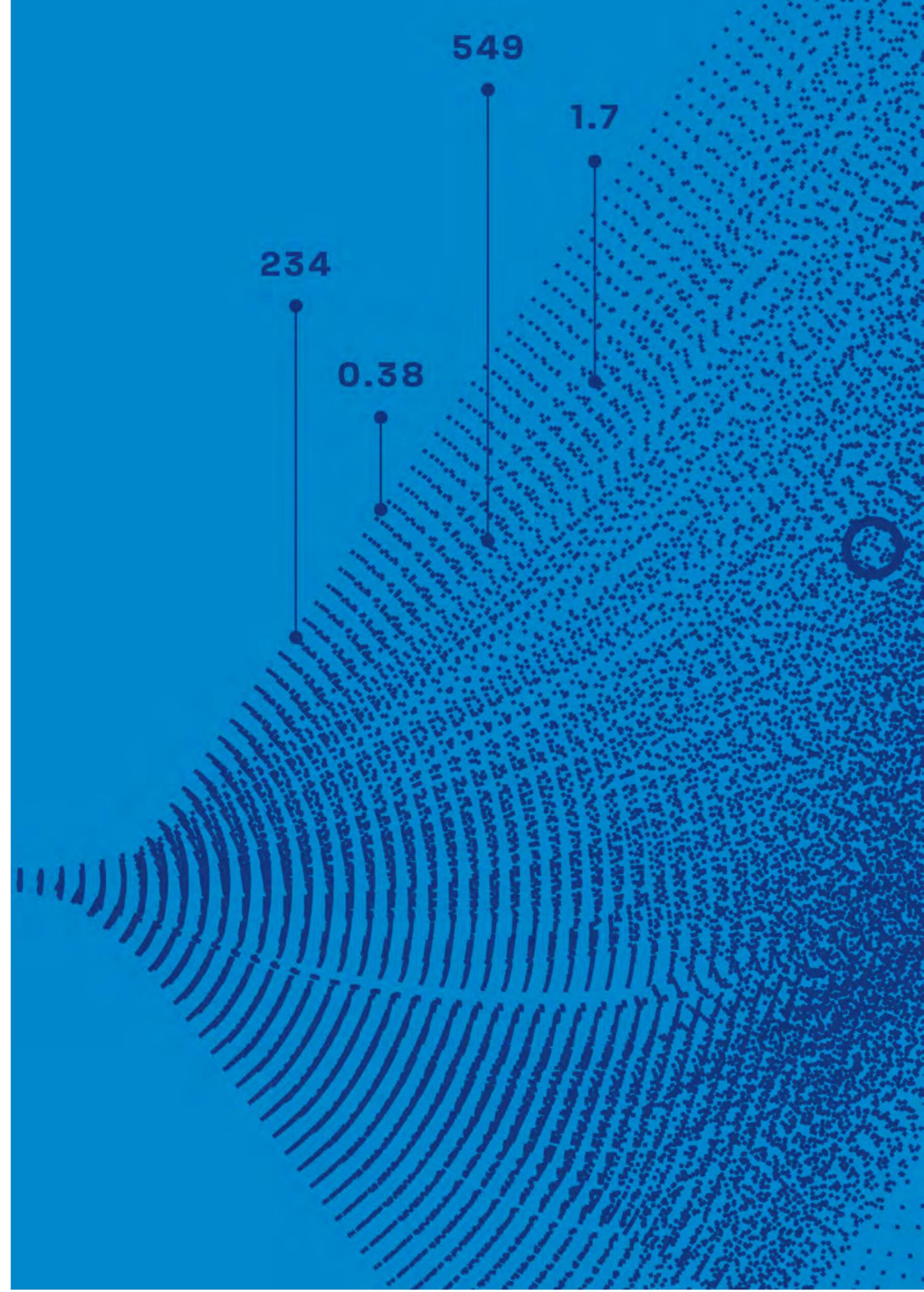
- 14 Des mathématiques à l'industrie 4.0, une filière majeure pour Paris-Saclay
- 16 Une expertise reconnue en intelligence artificielle
- 20 Des compétences d'avenir en informatique quantique
- 24 Au cœur des enjeux de cybersécurité
- 26 Un positionnement sur les solutions phares pour l'industrie du futur

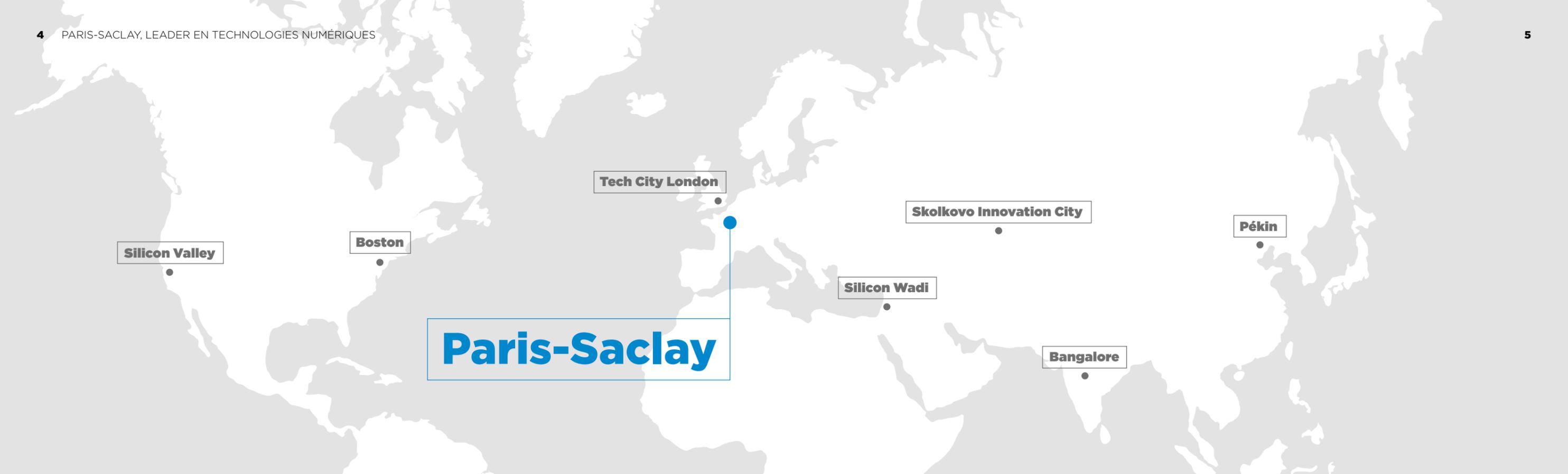
## Une capacité de recherche, d'éducation et d'innovation d'exception

- 32 Une recherche académique d'excellence à la croisée des disciplines scientifiques
- 36 Des organismes interdisciplinaires exemplaires
- 38 Des talents de stature internationale
- 42 Des start-up à la pointe de l'innovation

## Une terre d'industries, laboratoire d'expérimentation en technologies numériques

- 48 Une concentration de groupes industriels majeurs
- 54 Des initiatives collectives sur des filières applicatives





## Paris-Saclay, un territoire au service de l'innovation

Avec 15% de la recherche nationale et 40% des emplois de la recherche publique et privée d'Île-de-France, le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay compte parmi les huit plus puissants pôles d'innovation au monde aux côtés de la Silicon Valley, Boston, Tech City Londres, Pékin, Bangalore, Skolkovo Innovation City en Russie et la Silicon Wadi israélienne.

Aux portes de la capitale française, ce territoire accueille, de Massy à Versailles en passant par Saint-Quentin-en-Yvelines, une exceptionnelle concentration d'établissements d'enseignement supérieur, de laboratoires de recherche publics, de centres de R&D privés et d'entreprises innovantes, de toutes tailles et de grande réputation.

Une telle densité de ressources et de partenaires potentiels confère à Paris-Saclay tous les atouts d'un des pôles d'innovation les plus attractifs pour les investisseurs, les innovateurs et les entrepreneurs du monde entier :

- intégration au cœur de l'Île-de-France, première région économique européenne\* ;
- excellence de l'offre de formation et de recherche aux plus hauts standards internationaux portée par l'Université Paris-Saclay et l'Institut Polytechnique de Paris ;
- richesse des grands équipements scientifiques et des laboratoires multidisciplinaires ;
- concentration, excellence et diversité des acteurs industriels et startupper ;
- qualité de vie rare dans un cadre qui valorise l'environnement naturel.

Créé en 2010 par la loi sur le Grand Paris, l'Établissement public d'aménagement Paris-Saclay (EPA Paris-Saclay) pilote et coordonne, avec les acteurs locaux, le développement du pôle scientifique et technologique et assure son rayonnement à l'international. Sa stratégie de développement s'articule autour de trois axes :

L'un des pôles d'innovation les plus attractifs au monde.

\*Source : INSEE

le soutien à l'innovation *via* l'animation d'une communauté d'entreprises, de start-up et de lieux d'innovation, la promotion de l'attractivité internationale du pôle et de sa marque Paris-Saclay Innovation Playground et le développement de services en réponse aux besoins des entreprises.

Dans cette optique, l'EPA Paris-Saclay mobilise et fédère les acteurs industriels et académiques autour de filières stratégiques afin de renforcer les liens entre recherche publique et privée, favoriser l'innovation et l'entrepreneuriat et stimuler la croissance économique du territoire. Six filières d'excellence ont été identifiées, analysées et cartographiées : l'aéronautique-défense-sécurité, l'agritech-foodtech, l'énergie-ville-environnement, les mobilités du futur, la santé et enfin les technologies numériques. Ce document entend présenter la filière d'excellence technologies numériques.

## 6 FILIÈRES STRATÉGIQUES

### Aéronautique Défense Sécurité

Airbus, Safran, Thales, Nexter, Arqus...

16\* start-up  
68 laboratoires et plateformes

#NewSpace  
#Cybersécurité

### AgriTech and Foodtech

Danone, Mondelez, Syngenta

77\* start-up  
110 laboratoires et plateformes

#AlimentsDuFutur  
#NutritionSanté  
#SmartFarming

### Énergie Ville Environnement

EDF, Bouygues, Colas

47\* start-up  
123 laboratoires et plateformes

#EnergyStorage  
#Biofuel  
#SmartGrids

### Mobilité

Renault, PSA, Valeo, Fiat...

12\* start-up  
46 laboratoires et plateformes

#VéhiculeAutonome  
#Hydrogène  
#SystèmesEmbarqués

### Santé

Sanofi, LFB, IPSEN, GE Healthcare

146\* start-up  
346 laboratoires et plateformes

#Microbiote  
#GeneTherapy  
#Oncology  
#SantéConnectée

### Technologies numériques

Nokia, Ericsson, HP, Dassault Systèmes...

106\* start-up  
252 laboratoires et plateformes

#IA  
#Quantique  
#IoT  
#SmartManufacturing

\*Actuellement recensées sur paris-saclay-startup.com

## Des technologies numériques pour une industrie du futur

Moderniser les systèmes de production pour gagner en compétitivité, transformer l'organisation des entreprises pour mieux se positionner face à la concurrence internationale, digitaliser les process et favoriser l'émergence d'une industrie du futur, tels sont aujourd'hui les enjeux phares pour l'industrie en France.

Au cœur de ces défis d'avenir, les nouvelles technologies numériques sont, comme l'ont été à leur époque la mécanique, l'énergie électrique et l'électronique, les fondements d'une quatrième révolution industrielle actuellement à l'œuvre.

Cette évolution vers une industrie numérique basée sur l'introduction de nouvelles technologies telles que l'intelligence artificielle, l'internet des objets, la robotique ou le *big data*, est fortement soutenue, tant à l'échelle nationale qu'européenne, à l'image du plan d'investissement France 2030 qui vise à transformer durablement des secteurs clés de l'économie par l'innovation et l'investissement industriel, notamment *via* le levier majeur des technologies numériques.

Cette évolution vers une industrie du futur est également au cœur des innovations portées par le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay historiquement leader en matière de technologies numériques en France. Avec 400 établissements majeurs, plus de 250 laboratoires et plateformes techniques, un nombre croissant de start-up innovantes et 32 000 emplois comptabilisés sur le territoire, cette filière d'excellence est aujourd'hui l'une des plus dynamiques du territoire.

Afin d'en étudier les contours et les enjeux prioritaires, l'Établissement public d'aménagement Paris-Saclay a initié, en collaboration avec la SATT Paris-Saclay, une vaste étude.

# 400

## ÉTABLISSEMENTS MAJEURS

400 établissements majeurs, plus de 250 laboratoires et plateformes techniques, 106 start-up de pointe et environ 32 000 emplois réunis sur le territoire.

• **fig.1** Simulation interactive, en réalité virtuelle, pour se familiariser et pratiquer en toute sécurité avec les machines et robots - Projet EIT Manufacturing V-Machina - CEA-List.



Quelles sont les technologies clés déployées au sein de la filière numérique sur le territoire? Quels sont les acteurs qui aujourd'hui la font vivre au cœur de Paris-Saclay? Quelle est sa structuration? Quels sont ses atouts? Quelles sont ses capacités d'innovation pour l'avenir?

Les conclusions de cette étude, présentées au sein de ce document, confirment le leadership de Paris-Saclay en matière de technologies numériques réunissant, avec des établissements d'enseignement supérieur de pointe, des organismes et laboratoires de recherche de rang mondial, des groupes industriels internationaux et des start-up de haute technologie, l'excellence mondiale de la recherche, de l'industrie et de l'innovation en technologies numériques. Parmi ses forces: une recherche académique d'excellence à la croisée des disciplines scientifiques, des talents de renommée internationale, des équipements et plateformes techniques à la hauteur des enjeux et un écosystème de start-up particulièrement dynamique.

Autant d'atouts plébiscités par les groupes industriels leaders des secteurs de la santé, de l'énergie, de l'automobile ou encore de l'aéronautique et du spatial, implantés au cœur du pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay pour bénéficier au quotidien de ses compétences en intelligence artificielle, informatique quantique, cybersécurité ou *smart manufacturing* et ainsi réussir leur transition vers l'industrie de demain.

Le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay, historiquement leader en matière de technologies numériques en France.

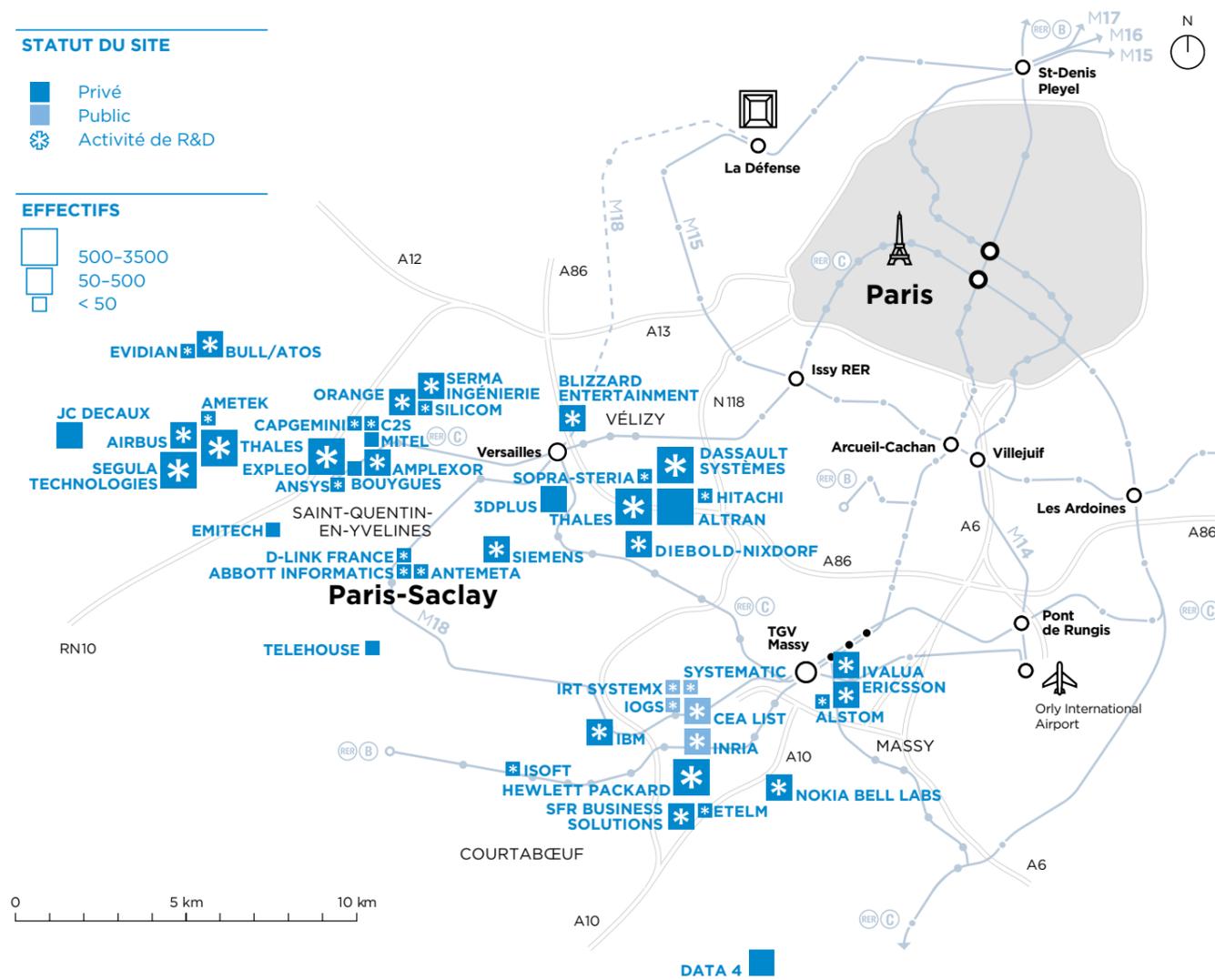
### La filière technologies numériques sur le territoire de Paris-Saclay

#### STATUT DU SITE

- Privé
- Public
- ✳ Activité de R&D

#### EFFECTIFS

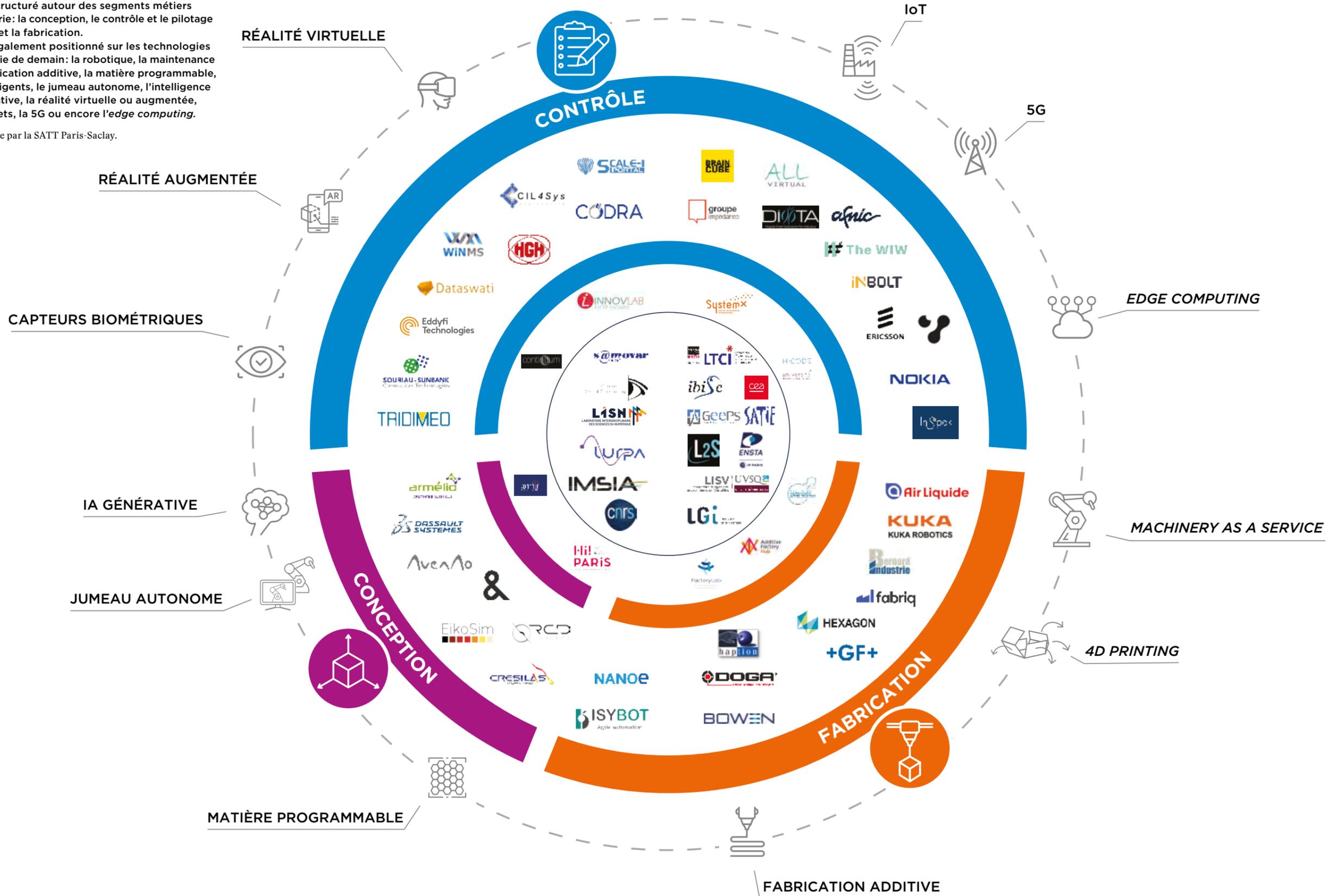
- 500-3500
- 50-500
- < 50



**Un positionnement sur les solutions phares pour l'industrie du futur**

- En matière de solutions pour l'industrie, le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay bénéficie d'un écosystème riche de ses acteurs: établissements d'enseignement supérieur et laboratoires de recherche de rang mondial, organismes et programmes interdisciplinaires d'excellence, groupes industriels internationaux et start-up de haute technologie.
- Un écosystème structuré autour des segments métiers phares de l'industrie: la conception, le contrôle et le pilotage de la production et la fabrication.
- Un écosystème également positionné sur les technologies clés pour l'industrie de demain: la robotique, la maintenance prédictive, la fabrication additive, la matière programmable, les capteurs intelligents, le jumeau autonome, l'intelligence artificielle générative, la réalité virtuelle ou augmentée, l'internet des objets, la 5G ou encore l'edge computing.

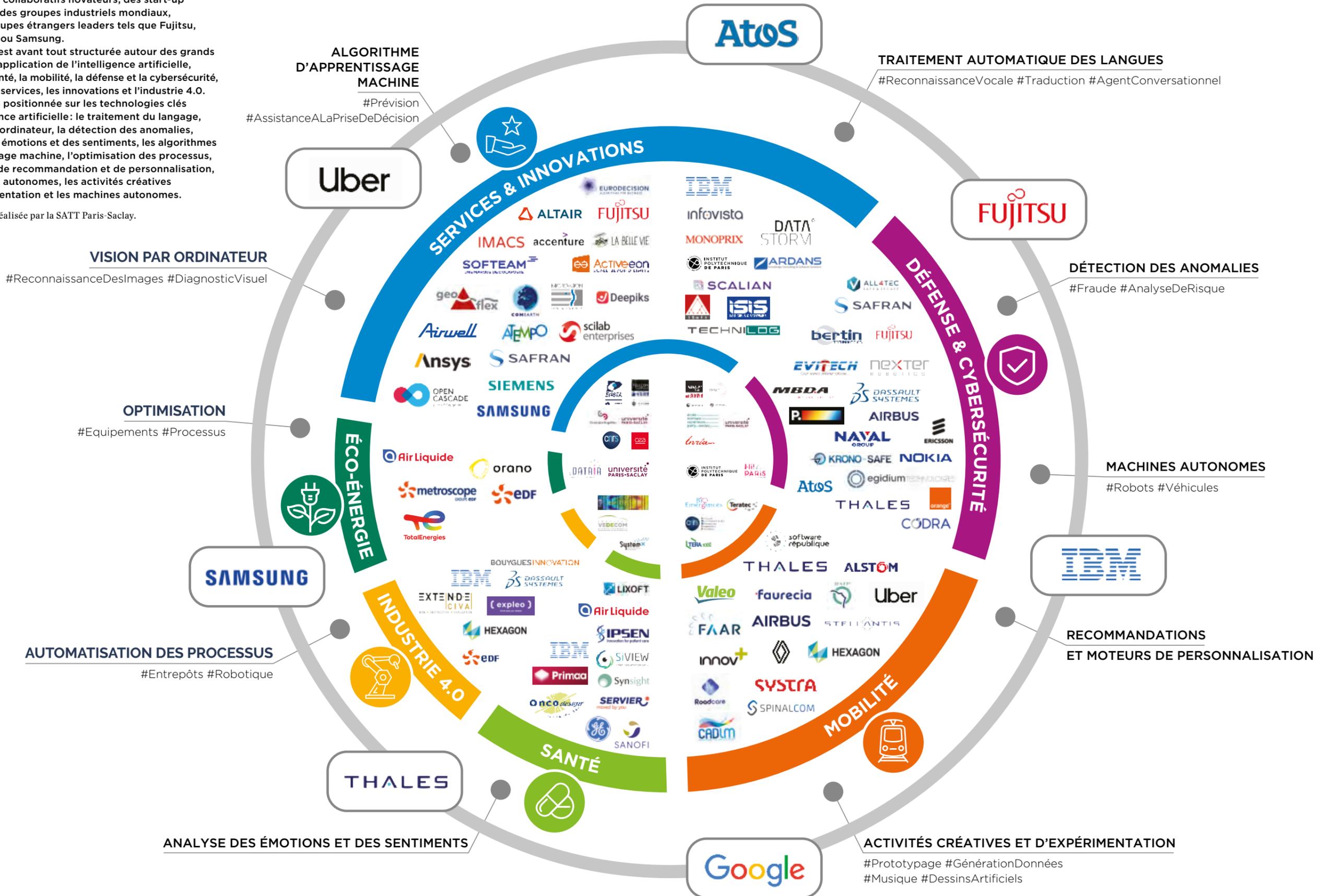
Cartographie réalisée par la SATT Paris-Saclay.



**Une expertise reconnue en intelligence artificielle**

- De même, la filière intelligence artificielle bénéficie d'une forte présence d'acteurs majeurs sur le territoire avec des établissements d'enseignement supérieur et des laboratoires de recherche d'excellence, des programmes collaboratifs novateurs, des start-up de pointe et des groupes industriels mondiaux, dont des groupes étrangers leaders tels que Fujitsu, IBM, Google ou Samsung.
- Cette filière est avant tout structurée autour des grands domaines d'application de l'intelligence artificielle, tels que la santé, la mobilité, la défense et la cybersécurité, l'énergie, les services, les innovations et l'industrie 4.0.
- Elle est enfin positionnée sur les technologies clés de l'intelligence artificielle: le traitement du langage, la vision par ordinateur, la détection des anomalies, l'analyse des émotions et des sentiments, les algorithmes d'apprentissage machine, l'optimisation des processus, les moteurs de recommandation et de personnalisation, les machines autonomes, les activités créatives et d'expérimentation et les machines autonomes.

Cartographie réalisée par la SATT Paris-Saclay.

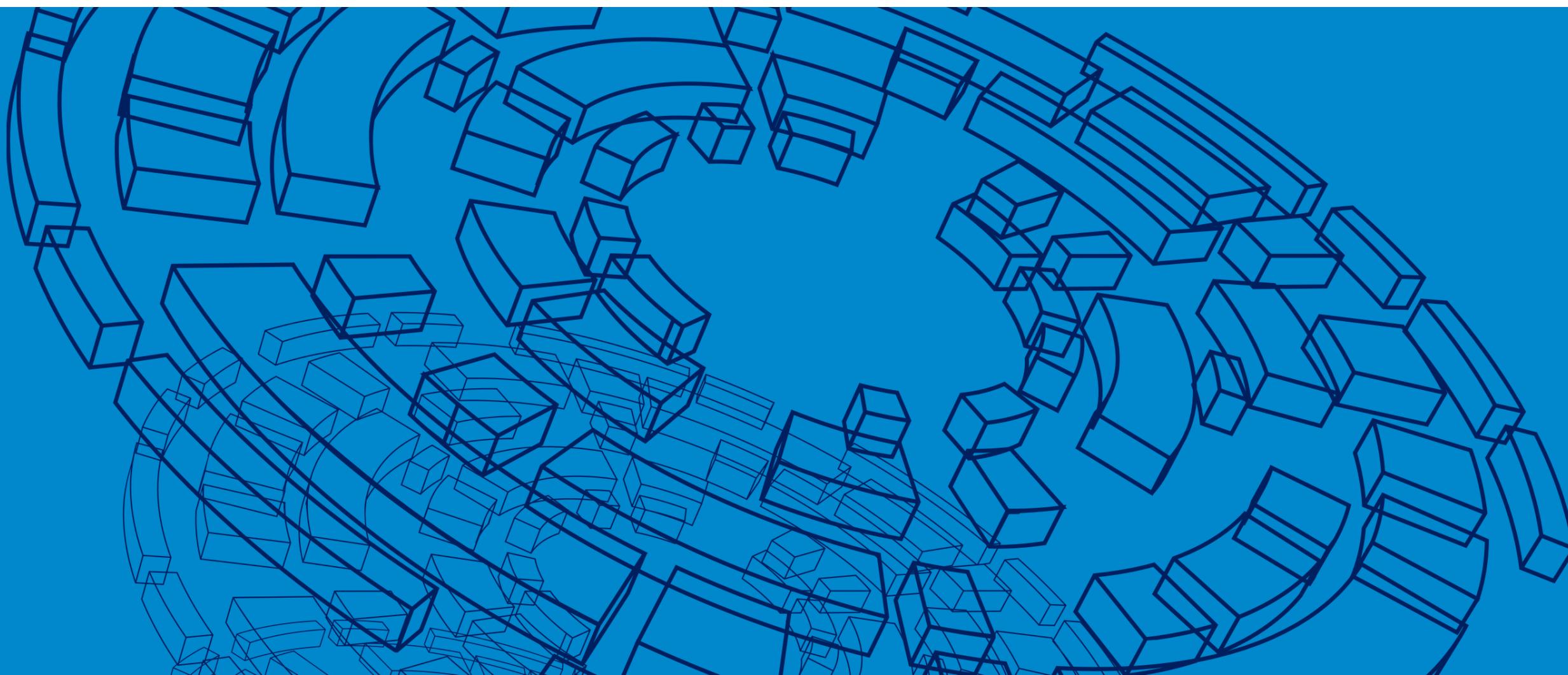


# Un concentré de compétences sur des technologies clés au service de l'industrie

Par sa taille, la richesse et la diversité de ses acteurs, la densité des compétences déployées et un important croisement des disciplines favorisant des innovations parmi les plus disruptives, le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay occupe aujourd'hui une place de premier plan dans le domaine des technologies numériques en France.

Parmi les atouts de la filière sur le territoire : un positionnement à la pointe de l'innovation sur les technologies clés du numérique : simulation, jumeau numérique, algorithmes d'apprentissage machine, capteurs intelligents, traitement et analyse des données... Ses acteurs - chercheurs, scientifiques, ingénieurs - y ont déployé, au fil des ans, des compétences majeures et des expertises pointues fortement recherchées par les filières industrielles stratégiques du territoire en réponse à leurs enjeux d'avenir.

Quatre grands domaines d'application se distinguent particulièrement comme autant d'ancrages de la filière sur le territoire : l'intelligence artificielle, l'informatique quantique, la cybersécurité et le *smart manufacturing*.



## Des mathématiques à l'industrie 4.0, une filière majeure pour Paris-Saclay

Occupant la **1<sup>re</sup> place en France et en Europe**, après les universités anglo-saxonnes, et la **16<sup>e</sup> place au niveau mondial**, selon le célèbre classement académique des universités mondiales de Shanghai<sup>1</sup>, l'Université Paris-Saclay est surtout érigée, parmi les 1000 meilleures universités du monde, à la **1<sup>re</sup> place mondiale en mathématiques** et à la **9<sup>e</sup> place en physique**. Ce statut d'excellence internationale dans ces deux disciplines majeures confère au pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay une **expertise de pointe en algorithmes, intelligence artificielle, sciences numériques ou calcul haute performance** à la base du développement d'un ensemble de technologies clés dans le domaine du numérique.

Particulièrement performant sur quatre domaines d'application phares que sont l'intelligence artificielle, l'informatique quantique, la cybersécurité et l'ensemble des solutions pour l'industrie du futur, Paris-Saclay bénéficie d'un fort leadership académique. L'Institut Polytechnique de Paris, avec l'**École polytechnique** et **Télécom Paris**, respectivement classées **2<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> au palmarès mondial « Best Small Universities »** du *Times Higher Education*, forme ainsi les meilleurs ingénieurs français dans les domaines de l'intelligence artificielle, de l'internet des objets ou encore des technologies quantiques, alors que l'**Institut d'Optique Graduate School** de l'Université Paris-Saclay prépare les plus grands spécialistes français de l'optique et de la photonique. L'**Institut Quantum**, créé en 2019 par l'Université Paris-Saclay, réunit quant à lui la future élite des sciences et technologies quantiques alors que la **1<sup>re</sup> École européenne de cybersécurité** (EECS) et l'**École 2600**, nouvellement créées sur le territoire, accompagnent les nouveaux experts de la sécurité des données, des systèmes et des réseaux.

**1<sup>RE</sup>**  
**PLACE**  
**MONDIALE**  
**EN MATHÉMATIQUES**

et 9<sup>e</sup> place en physique pour l'Université Paris-Saclay selon le classement académique des universités mondiales de Shanghai.

<sup>1</sup> 2022 Academic Ranking of World Universities (ARWU).

Aux côtés de ces instituts de formation, Paris-Saclay bénéficie également sur son territoire des plus grands instituts de recherche nationaux tels que le **CEA-List**, le **CNRS** ou encore l'**Inria** et pas moins de 42 laboratoires de recherche spécialisés en intelligence artificielle, ce qui en fait le **1<sup>er</sup> pôle d'innovation en intelligence artificielle en France**.

Paris-Saclay offre également des équipements d'excellence comme le **Digiscope**, un réseau de plateformes pour la visualisation interactive de grandes quantités de données et de calculs complexes ou le **supercalculateur Jean Zay**, le plus puissant de France, qui offre une capacité de calcul de près de 37 pétaflops, un nouveau record!

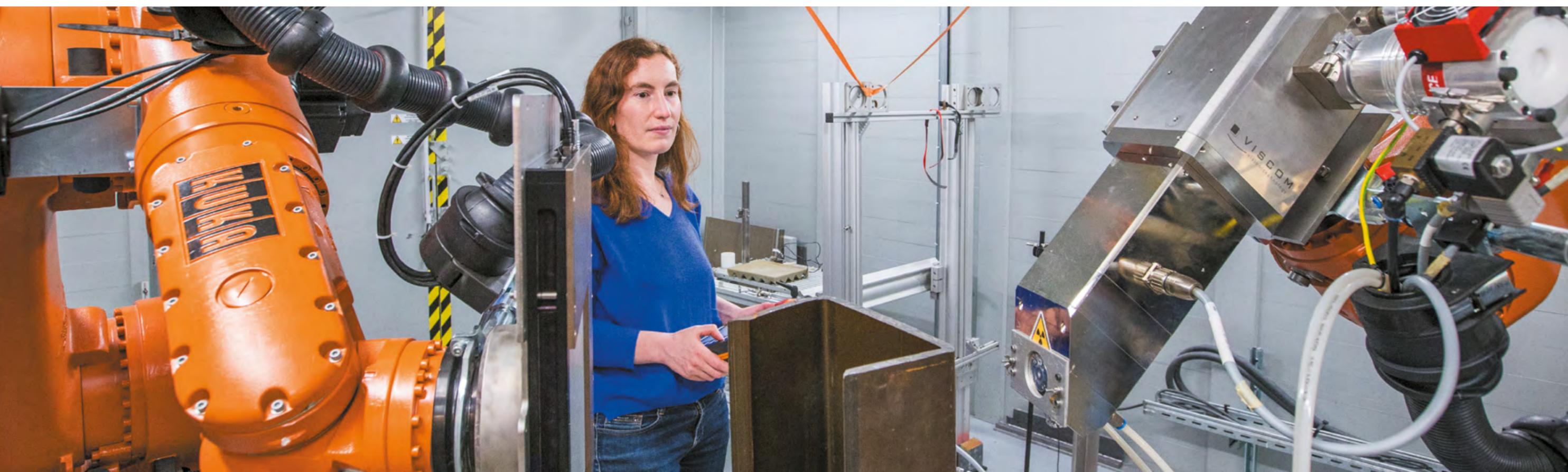
Grâce à ces compétences académiques et de recherche d'excellence qui ont aussi permis l'émergence sur le territoire de start-up de pointe, dont des pépites européennes comme **Quandela** ou **Pasqal**, Paris-Saclay offre aux entreprises de l'ensemble des filières industrielles les plus hautes compétences en *smart manufacturing*. **Simulation numérique, blockchain, big data, cloud computing, capteurs intelligents, réalité virtuelle et augmentée, robotique ou maintenance prédictive...** Ces solutions qui font l'industrie 4.0 sont aujourd'hui l'une des grandes spécialités de Paris-Saclay.

Elles permettent notamment aux entreprises du territoire de réaliser leur transition vers des systèmes de production plus flexibles, une collaboration homme-machine renforcée ou l'usine virtuelle. Et c'est bien pour bénéficier des meilleures compétences en intelligence artificielle et systèmes numériques, que le groupe Servier a récemment choisi Paris-Saclay pour implanter son nouvel institut de recherche ou que le groupe Renault y a installé le Software République, un programme d'*Open Innovation* dédié à la mobilité de demain. Ces compétences, innovations et synergies transdisciplinaires placent Paris-Saclay, lui-même laboratoire de cette révolution numérique, au cœur des enjeux de l'industrie du futur.

**4**  
**GRANDS**  
**DOMAINES**  
**D'APPLICATION**

- L'intelligence artificielle
- L'informatique quantique
- La cybersécurité
- Les solutions pour l'industrie du futur

• **fig.2** L'imagerie X robotisée et adaptée à des pièces volumineuses - plateformes d'instrumentation numérique du CEA-List à DIGITEO Labs Saclay.



## Une expertise reconnue en intelligence artificielle

S'il y a bien un domaine où le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay occupe aujourd'hui une place de premier plan, c'est l'intelligence artificielle (IA). Apparue aux détours des années 40 avec les premiers travaux sur les réseaux de neurones artificiels, l'intelligence artificielle vise l'automatisation d'un ou plusieurs processus cognitifs impliquant les aspects de la perception, du langage, du raisonnement ou encore de l'apprentissage en vue de fournir des prédictions, des classifications, des recommandations ou encore des décisions dans le cadre d'objectifs spécifiques. L'Union européenne recense, au sein de sa taxonomie, dix fonctions clés de l'intelligence artificielle : **le traitement du langage naturel, la vision par ordinateur, la détection des anomalies, l'analyse des émotions et des sentiments, les algorithmes d'apprentissage automatique, l'optimisation des processus ou des équipements, les moteurs de recommandation et de personnalisation, l'automatisation des processus, les machines autonomes et les activités créatives et d'expérimentation.** Diagnostics médicaux, assistants vocaux, voiture autonome, analyse de données, écriture automatique... grâce aux réseaux de neurones et à l'apprentissage profond, l'intelligence artificielle a fait des progrès stupéfiants ces dernières années.

La recherche compose la première force du territoire.

Le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay occupe une place de premier plan en intelligence artificielle.

• **fig.3** Équipe EX-SITU au Centre Inria de Saclay. EX-SITU est une équipe commune Inria, CNRS et Université Paris-Saclay.

À Paris-Saclay, **1<sup>er</sup> pôle d'excellence académique en intelligence artificielle en France**, c'est bien la recherche qui compose la première force du territoire. Pas moins de **42 laboratoires de recherche** sont ainsi implantés sur le plateau de Saclay, soit 17% des laboratoires publics français dédiés à l'IA, parmi lesquels l'**Inria** (Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique), le **Centre Borelli**, le **CEA-List** dédié aux systèmes numériques intelligents, le **LISN** (Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique), le **CVN** (Centre de vision numérique) ou encore l'**IDRIS** (Institut du développement et des ressources en informatique scientifique). Ils travaillent notamment sur l'apprentissage machine, les modélisations ou encore le contrôle, l'optimisation, la représentation et le traitement des données de connaissance. **41% des 200 grands talents français du domaine sont par ailleurs liés à Paris-Saclay**, tels que **Luc Julia**, aujourd'hui directeur scientifique pour le groupe Renault et connu pour la création de l'assistant vocal Siri chez Apple, **Jérôme Pesenti**, vice-président de l'intelligence artificielle chez Facebook et ancien responsable du programme Watson chez IBM ou **Laurence Devillers**, notamment chercheuse en intelligence artificielle au Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique (LISN).

Paris-Saclay est notamment bien intégré à la programmation nationale de recherche en intelligence artificielle puisque l'une de ses institutions phares, DATAIA, est membre fondateur de Prairie, l'un des quatre Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle (3IA) créés en 2018 à la suite du rapport Villani. **32 équipes projets de l'Inria sont également implantées au cœur du territoire** et **40% des projets lauréats de l'appel à projets « Chaires de recherche et d'enseignement en intelligence artificielle »** initié par l'Agence nationale de recherche (ANR) sont pilotés par des chercheurs de Paris-Saclay.

**1<sup>ER</sup>**  
**PÔLE D'EXCELLENCE ACADÉMIQUE EN INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN FRANCE**

avec 42 laboratoires de recherche publics et 41% des 200 talents français liés à Paris-Saclay.

• **fig.4** Frédéric Chazal, directeur de l'institut DATAIA, lors de la 2<sup>e</sup> conférence bisannuelle de l'Institut, organisée à l'occasion de ses quatre ans d'existence, qui s'est tenue le 7 avril 2022.



## L'Institut DATAIA Paris-Saclay La quintessence de la recherche sur l'IA

L'Institut DATAIA Paris-Saclay est l'institut d'intelligence artificielle de l'Université Paris-Saclay. Il est au cœur du premier écosystème français en intelligence artificielle et en science des données. Il fédère et structure des expertises pluridisciplinaires. Ainsi, l'Institut regroupe une communauté de plus de 1200 enseignants-chercheurs, 42 laboratoires (Inria, CNRS, INRAE, CEA), des facultés (universités d'Évry et de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines), des écoles supérieures d'excellence toutes installées sur le territoire comme AgroParisTech, CentraleSupélec, l'École polytechnique et ses écoles affiliées, l'ENS Paris-Saclay, HEC, l'Institut Mines-Télécom. Créé en 2017 suite à l'appel à projets « Instituts Convergences » publié

par l'Agence nationale de la recherche, l'Institut a, depuis janvier 2021, recentré ses activités sur le pôle d'excellence de l'Université Paris-Saclay en devenant porteur de sa stratégie dans les domaines de l'IA, pour la recherche comme pour la formation. Il élargit désormais le concept de recherche de pointe et de l'interdisciplinarité à des domaines plus variés, telles les sciences humaines et sociales. DATAIA soutient la recherche en *data science* à travers ses appels lancés chaque début d'année. L'Institut offre également des accompagnements plus pérennes avec, notamment, un financement pour des doctorants travaillant en collaboration avec des laboratoires partenaires, ou pour celui de la réalisation de Data Challenges.



Sur le plan local, ces institutions nationales sont complétées par deux initiatives interdisciplinaires particulièrement remarquables: l'**Institut DATAIA** créé en 2018 par l'Université Paris-Saclay qui vise à développer la recherche en *data science*, former des ingénieurs et chercheurs d'excellence et dynamiser les relations entre les mondes académique et industriel, et l'**Institut Hi! Paris** créé en 2020 par l'Institut Polytechnique de Paris avec pour ambition de créer un cadre unique de recherche, d'éducation et d'innovation basé sur le croisement des sciences fondamentales, de la technologie, du management et des sciences sociales. Ces instituts majeurs fédèrent aujourd'hui la recherche en intelligence artificielle à Paris-Saclay.

Et n'oublions pas, côté formation, le **Master Mathématiques, Vision, Apprentissage (MVA) de l'ENS Paris-Saclay** qui forme l'élite mondiale de l'intelligence artificielle.

Paris-Saclay bénéficie également d'un fort tissu industriel spécialisé en intelligence artificielle ou collaborant avec la recherche locale sur ces sujets.

**70 entreprises - TPE, PME, ETI ou grand groupe -** ont ainsi été répertoriées sur le territoire. Parmi celles-ci, des leaders internationaux du numérique installés au cœur de Paris-Saclay dont **IBM** qui a officialisé la création de son centre d'innovation en intelligence artificielle à Paris-Saclay en 2021, **Atos** qui a inauguré en 2021 également un nouveau laboratoire mondial de R&D réunissant 350 ingénieurs en informatique quantique, cybersécurité et intelligence artificielle aux Clayes-sous-Bois (Yvelines), **Fujitsu** dont le centre d'excellence en intelligence artificielle est basé sur le campus

70

ENTREPRISES

70 entreprises - TPE, PME, ETI, Grands groupes - et 110 start-up travaillent sur de l'intelligence artificielle à Paris-Saclay.

de l'École polytechnique ou encore **Thales** qui travaille sur le sujet notamment dans le cadre du programme Software République. Aux côtés de ces leaders industriels, Paris-Saclay s'avère être un berceau de start-up particulièrement dynamique. **110 start-up issues de Paris-Saclay et travaillant étroitement avec de l'intelligence artificielle** ont été comptabilisées sur le territoire.

Parmi celles-ci, citons **Alkalee, Roadcare, Labcoor, PrOph3cy, AiINTENSE** ou encore **SpacesenseAI**. Ces start-up emploient aujourd'hui 2500 personnes et interviennent sur des secteurs extrêmement variés comme le spatial, le médical, l'assurance ou la sécurité *via* des expertises tout aussi diversifiées telles que les sciences de la donnée, le traitement du langage, la vision par ordinateur ou la modélisation.

Au service de la performance de l'ensemble des filières industrielles, **l'intelligence artificielle a le potentiel d'augmenter le taux de croissance économique annuel de 1,7% en moyenne d'ici 2035** avec des secteurs qui en profiteront en tout premier lieu comme l'industrie manufacturière, l'agriculture ou le commerce. Toutefois, son futur nécessitera le recours à la recherche scientifique pour répondre à ses enjeux fondamentaux de responsabilité et d'éthique, de flexibilité ou encore de sobriété énergétique.

## Le Centre HI ! Paris Penser les impacts de l'IA autrement

Lancé en 2020, le Centre HI! Paris est, avec l'Institut DATAIA, l'une des deux structures majeures fédérant la recherche en intelligence artificielle à Paris-Saclay. Issu d'un partenariat entre l'Institut Polytechnique de Paris et HEC Paris, et rejoint en 2021 par l'Institut Inria de Paris-Saclay, HI! Paris est un centre interdisciplinaire de recherche, d'innovation et de transfert de technologies en sciences des données et de l'intelligence artificielle développant des initiatives à destination de l'industrie. HI! Paris représente donc un outil majeur pour le passage à l'industrie 4.0. Le tout en encourageant la recherche et les innovations pédagogiques grâce à un croisement de leurs domaines de compétences: la science fondamentale et la recherche de valeur économique. Afin de donner une vision totale de la place croissante de l'IA dans

notre société, le Centre intègre également les aspects plus sociétaux tels que la confidentialité des données, le cadre légal, l'impact de l'intelligence artificielle sur les marchés financiers... HI! Paris regroupe des chercheurs d'origines variées et, notamment, des sciences sociales afin de pouvoir aborder l'intelligence artificielle sous deux approches: l'une centrée sur l'IA, la *data* et les affaires (Industrie 4.0, automatisation industrielle, finance, approche « consommateurs » du web), l'autre sur l'IA, la *data* et la société au sens large (santé, énergie, interactions inter-générationnelles, *smart cities*). Outre son interdisciplinarité, le Centre a une autre particularité: ses partenariats exemplaires avec des entreprises du territoire telles que Rexel, Capgemini, Kering, L'Oréal, TotalEnergies, Vinci ou Schneider Electric.



## Des compétences d'avenir en informatique quantique

Autre domaine d'excellence du pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay : l'informatique quantique. Technologie en plein essor, à même de surpasser les superordinateurs actuels pour certains types de calcul, l'informatique quantique exploite les lois de la mécanique quantique pour résoudre avec une vitesse incroyablement supérieure, des problèmes trop complexes pour les ordinateurs classiques et supercalculateurs.

Dans cette course à la performance quantique, qui promet de révolutionner le calcul et la technologie informatique, le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay occupe une place de choix. En premier lieu, parce que Paris-Saclay compte sur son territoire des grands groupes leaders du domaine : **IBM, Atos** ou **Thales** pour la conception des technologies quantiques ; **EDF, TotalEnergies** ou **Orano** pour leur utilisation. Leader reconnu de l'informatique quantique, Atos a en effet inauguré en 2021 aux Cluses-sous-Bois son tout nouveau laboratoire mondial de recherche et développement dont l'objectif est notamment d'accueillir les travaux menés dans le cadre de son programme de recherche en informatique quantique, Atos Quantum, premier grand programme industriel d'informatique quantique en Europe.

Dans la course à la performance quantique, le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay occupe une place de choix.

• **fig.6** Quandela développe des ordinateurs quantiques à base de qubits photoniques. Une attention toute particulière est apportée au design de ses ordinateurs.

### Quandela : la société qui apprivoise les qubits photoniques

Créée à partir de recherches réalisées au sein du CNRS, Quandela a été fondée en 2017. Installée à Palaiseau, Massy et Munich, la start-up française développe des ordinateurs quantiques à base de qubits photoniques, appelés MosaiQ. En mars 2023, elle a vendu son premier ordinateur quantique à OVHCloud, leader européen du stockage, garantissant ainsi une indépendance vis-à-vis des GAFAM quant à l'accès aux données et aux calculs. Quandela a également ouvert au plus grand nombre, dès 2022, l'accès en ligne à Ascella, son premier ordinateur quantique à 6 qubits. Les ordinateurs quantiques de Quandela ont été conçus pour être reconfigurés rapidement et atteindre 12 qubits fin 2023. La start-up a organisé, fin 2022, le LOQCathon (Linear Optical Quantum Computation), un hackathon version quantique.

Une occasion de découvrir le calcul quantique optique linéaire, encore peu connu des milieux étudiants. Ses fondateurs sont fortement liés au territoire de Paris-Saclay. Les deux premiers, Niccolò Somaschi et Valérian Giesz, se sont rencontrés en travaillant dans l'équipe de la troisième cocréatrice Pascale Senellart, au C2N (CNRS). Valérian Giesz, formé à l'Institut d'Optique Graduate School, est membre du *Board* de la French Tech Paris-Saclay. Quant à Pascale Senellart, elle est toujours directrice de recherche au CNRS et enseigne à l'Institut Polytechnique de Paris. Elle a également été chargée de mission auprès de la présidence de l'Université Paris-Saclay, au sein de l'Institut Quantum. L'installation de l'entreprise à Palaiseau était donc une évidence pour ces trois acteurs de la vie de la communauté scientifique et économique du territoire.

**12 QBITS : LE NIVEAU DE PUISSANCE QUI DEVRAIT ÊTRE ATTEINT FIN 2023**

L'écosystème des start-up évoluant dans le domaine de l'informatique quantique est également particulièrement important sur le territoire avec **Kets Quantum Security, Multiverse Computing, Alice & Bob**, et surtout deux pépites européennes du secteur : **Pasqal**, spécialisée en informatique quantique à base d'atomes neutres, cofondée par **Alain Aspect**, directeur de recherche émérite au CNRS et Prix Nobel de physique en 2022, et **Quandela**, qui développe de son côté des ordinateurs quantiques à base de qubits photoniques, cofondée par **Pascale Senellart**, autre figure emblématique du quantique.

Sur le plan académique, Paris-Saclay compte ainsi sur des chercheurs de renom dans le domaine du quantique mais également sur des organismes de pointe comme le **CEA** avec son **Très Grand Centre de Calcul** (TGCC) dédié au calcul intensif et à la simulation haute performance et situé à Bruyères-le-Châtel (Essonne), ou l'**Institut Quantum** récemment ouvert par l'Université Paris-Saclay. Ce centre interdisciplinaire des sciences et technologies quantiques regroupe l'ensemble des laboratoires du territoire, soit plus de 80 équipes de recherche qui contribuent à l'avancée des technologies quantiques. Il a notamment développé des partenariats de recherche avec des groupes industriels majeurs du territoire comme Thales, EDF, Air Liquide, TotalEnergies ou IBM et assure la formation, *via* des masters, diplômes d'ingénieurs et doctorats, aux sciences et technologies quantiques.

Ces entreprises et institutions collaborent à des initiatives majeures pour le développement du quantique, notamment en Île-de-France. Ainsi, dans le cadre de son **Pack Quantique**, la Région Île-de-France finance depuis 2020 trois initiatives impliquant des acteurs majeurs de l'industrie (Airbus, MBDA et Naval Group), des acteurs académiques de premier plan (ONERA et Inria) et des start-up novatrices du territoire (Pasqal, Quandela et Alice & Bob) dans le cadre d'un programme d'accompagnement de la filière unique en Europe. Quant à Thales, Pasqal, la Région Île-de-France et le GENCI (Grand Équipement National de Calcul Intensif), ils initiaient fin 2021 un nouveau partenariat visant l'optimisation des infrastructures critiques (logistique, aérien, industrie, spatial) grâce à la technologie quantique de Pasqal. Ces partenariats et collaborations confirment le rôle clé joué par les acteurs de Paris-Saclay dans le développement de cette technologie d'avenir.

80

ÉQUIPES DE RECHERCHE À L'INSTITUT QUANTUM

### Pasqal : notre prochaine licorne sera-t-elle quantique ?

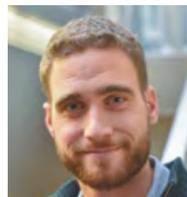
La start-up Pasqal, spécialisée dans l'informatique quantique à base d'atomes neutres, a été fondée en 2019 par Georges-Olivier Raymond, Christophe Jurczak, également par Antoine Browaeys et Thierry Lahaye, tous deux issus de l'Institut d'Optique Graduate School, ainsi que par Alain Aspect du CNRS, devenu depuis prix Nobel de physique 2022. Après un premier tour de table de 25M€ en 2021, la start-up a réalisé, en janvier 2023, la plus importante levée de fonds pour une start-up européenne : 100M€. Cherchant

à développer un système quantique de 1000 qubits, Pasqal a fusionné en 2022 avec l'entreprise néerlandaise Qu&Co. Cette pépite de la Tech, installée à Massy, et qui emploie aujourd'hui une centaine de personnes, a déjà fabriqué un système de calcul Qubit Pasqal et d'autres sont en construction. Elle a également permis à chacun d'accéder en ligne, en 2022, à son processeur quantique pour un test « en *live* ». Des grands groupes tels que EDF ou Crédit Agricole, BASF, BMW, Siemens, Airbus et Thales,

commencent à utiliser ces outils pour des calculs de pointe. À terme, l'entreprise souhaite proposer sa puissance de calcul *via* le cloud, sous une forme de « calcul à la demande ». Avec sa récente levée de fonds, Pasqal souhaite doubler ses effectifs et se donner les moyens d'être plus présente sur le marché européen tout en partant à la conquête des États-Unis et de l'Asie. Cette future licorne produit d'ores et déjà des émulateurs de 100 qubits et pense atteindre rapidement les 200 qubits.

ENTRETIEN AVEC VALÉRIAN GIESZ, COFONDATEUR DE QUANDELA.

## L'avenir de l'informatique quantique au cœur de Paris-Saclay



Optimiser des flux et des trafics avec des gains énergétiques à la clé est l'une des promesses des ordinateurs quantiques en passe de devenir réalité. Précisions de Valérian Giesz, cofondateur de Quandela, une *spin-off* made in Paris-Saclay ayant mis au point une solution à base de photons, inspirée des travaux du prix Nobel 2022 Alain Aspect qui accompagne le projet depuis ses débuts.

Si vous deviez, pour commencer, pitcher Quandela ?

**vg** Créée en 2017 par Nicolo Somaschi, Pascale Senellart et moi-même, Quandela est une *spin-off* issue du Centre de nanosciences et de nanotechnologies (C2N) – une unité mixte CNRS / Université Paris-Saclay. Elle s'appuie sur les principes de la mécanique quantique pour apporter aux industriels de nouvelles générations de calculs à la fois plus puissants, plus efficaces et moins énergivores. Par rapport aux autres acteurs de la filière de l'informatique quantique, notre approche est sans équivalent puisqu'elle consiste à utiliser des flux de lumière pour réaliser les calculs, à l'échelle de la particule de lumière, c'est-à-dire du photon unique. En soi, l'idée de faire des calculs à partir de faisceaux de lumière n'est pas nouvelle. Mais nous nous heurtions à la difficulté de générer des photons. C'est précisément le verrou technologique que nous sommes parvenus à lever, avec le concours du C2N, en recourant à des semi-conducteurs, une solution totalement nouvelle. Et c'est à Paris-Saclay qu'elle a vu le jour ! Aujourd'hui, nous sommes capables de manipuler des photons un par un, d'y inclure de l'information quantique en mettant à profit le fait qu'un même photon puisse être simultanément dans plusieurs états – il peut être « intriqué » avec d'autres photons, qui partagent ainsi des propriétés communes.

Qu'en est-il de l'ordinateur quantique ? Est-ce la prochaine étape qui vous permettra de rentrer dans une phase industrielle ?

**vg** Sans attendre la mise au point de ce type d'ordinateur, nous commercialisons déjà des équipements – des émetteurs de photons pour les besoins de laboratoires de recherche – que nous avons exportés en Australie et en Italie. En parallèle de cette activité commerciale, nous avons poursuivi une intense activité de R&D pour développer une première génération d'ordinateur quantique. Un démonstrateur existe que nous avons mis à disposition *via* notre cloud Quandela. Nous comptons déjà plusieurs utilisateurs à travers le monde – aux États-Unis, à Singapour, en Italie...

Il leur suffit de se connecter par internet pour réaliser leurs calculs, lesquels sont effectués ici, dans nos locaux de Massy, au sein de l'écosystème de Paris-Saclay. D'ores et déjà, des industriels nous ont dit être convaincus par leurs essais et nous ont passé commande d'ordinateurs. Il nous faut maintenant les fabriquer, les tester et les livrer. Nous sommes actuellement engagés dans la mise en place de cette activité industrielle.

Où envisagez-vous de le faire ?

**vg** À Massy, à deux pas de nos bureaux, dans le bâtiment qui se trouve au bout de la rue. Les composants, fabriqués en salle blanche à Palaiseau, y seront assemblés avec les lasers et les autres éléments optiques. Le produit fini sera ensuite livré à nos clients – des industriels ou le GENCI (l'organisme en charge, aux niveaux national et européen, de favoriser l'usage du calcul intensif associé à l'intelligence artificielle au bénéfice des communautés de recherche académique et industrielle). Quandela sera ainsi l'un des premiers acteurs de la filière européenne du quantique à être en mesure de livrer des ordinateurs quantiques. Naturellement, cela demande des investissements. C'était l'enjeu de la levée de fonds de 15 millions d'euros que nous avons bouclée en novembre 2021.

Est-ce à dire que ce serpent de mer qu'a semblé être l'ordinateur quantique va devenir réalité ?

**vg** Oui, l'ordinateur quantique est bien sorti de l'imagination de chercheurs et d'ingénieurs pour devenir réalité ! Pour l'heure, notre plateforme est elle-même accessible à tous les curieux, industriels mais aussi chercheurs. Tout le monde peut s'y inscrire pour tester le calcul quantique, en vérifier les avantages, moyennant une familiarisation préalable aux spécificités du langage de programmation – il est plus élaboré que le langage de programmation de l'informatique classique. Par ailleurs, nous travaillons avec de nombreux industriels comme MBDA et Thales, mais aussi des banques (BNP Paribas et Crédit Agricole) pour voir comment programmer leur propre technique de calcul de façon à les adapter à nos ordinateurs quantiques.

Au-delà des usages pour les industriels et entreprises, quelles sont les retombées à attendre pour le commun des mortels quand bien même ne sera-t-il pas l'utilisateur direct d'un ordinateur quantique ?

**vg** Il faut s'attendre à ce que l'informatique quantique impacte fortement nos existences puisqu'elle va permettre d'optimiser toutes sortes de flux et de trafics dans de très nombreux domaines à commencer par le secteur bancaire, la logistique et le transport – ferroviaire, aérien et maritime. Elle va permettre aussi d'accélérer la conception de nouvelles molécules pharmaceutiques – aujourd'hui encore, il faut compter plusieurs années de R&D avant d'en mettre de nouvelles sur le marché... Cette informatique quantique sera aussi synonyme d'une efficacité accrue en matière de maintenance prédictive. On estime à 500 milliards de dollars la valeur ajoutée induite chaque année par l'introduction des ordinateurs quantiques, sans compter les gains énergétiques réalisés par l'optimisation des flux et des trafics.

### Quandela sera l'un des premiers acteurs de la filière européenne en mesure de livrer des ordinateurs quantiques.

Est-ce qu'au moment de la création de Quandela, vous vous attendiez à autant d'applications et d'impacts ? Votre vision de l'informatique quantique a-t-elle évolué depuis la création de votre *spin-off* ?

**vg** Si on m'avait dit, en 2017, que cinq ans plus tard, nous disposerions d'aussi puissantes capacités de calcul dans le cloud, je ne l'aurais pas cru. Aujourd'hui, nous sommes sur le point de lancer la production d'ordinateurs quantiques. Je n'ose pas imaginer où nous en serons dans les cinq prochaines années. Bien sûr, nous essayons de le prédire. Mais, c'est comme avec la météo, on n'est pas à l'abri d'erreur d'appréciation ! Une chose est sûre : cela va plus vite que prévu et c'est notamment grâce au fait que nous pouvons compter sur des esprits brillants, qui ont de très bonnes idées, pour implémenter de nouvelles techniques, que ce soit en algorithmie, mais également pour la fabrication de nouveaux composants. Bref, nous sommes certainement à l'aube d'innovations encore prometteuses.

Si vous deviez décrire un ordinateur quantique ?

**vg** Cela n'a rien à voir avec l'ordinateur portable que nous utilisons au quotidien. Il se présente sous la forme d'armoires comme celles qu'on trouve dans un *data center*, à l'intérieur desquelles, au lieu de composants électroniques, on trouve des composants photoniques, reliés par de nombreux fils, des lasers, des miroirs. L'avantage de notre approche réside dans sa compacité et sa modularité, dans une connexion par fibre optique, qui est un gage de stabilité.

Avez-vous engagé une réflexion sur le design de cet ordinateur ?

**vg** Naturellement, nous sommes attachés à donner une identité visuelle à nos produits. Le choix du design et de la couleur bleue souligne le caractère à la fois robuste et mystérieux de la photonique quantique. Nous avons travaillé sur une façade structurée pour avoir un effet ondulatoire.

Où en êtes-vous sur le plan des effectifs ? Quelles compétences et expertises mobilisez-vous ?

**vg** Aujourd'hui, nos effectifs s'élèvent à environ 70 personnes. Les profils sont variés : des experts en semi-conducteur, en optique, en informatique, en mathématiques et en algorithmie, ainsi que des personnels administratifs, des ingénieurs commerciaux, bref, toutes les compétences nécessaires au bon fonctionnement d'une entreprise commerciale.

Encore un mot sur le projet d'usine. Traduit-il la volonté de participer à l'effort d'industrialisation du pays ?

**vg** À l'effort d'industrialisation et de reconquête de notre souveraineté dans le numérique. Un enjeu qui me tient à cœur au point de m'avoir convaincu d'accepter d'être un coresponsable d'un des groupes de travail sur le numérique de confiance, piloté par Michel Paulin, le DG d'OVHcloud. Cet effort passe par la préservation de notre souveraineté sur les infrastructures de stockage de données, les logiciels, mais aussi les technologies *hardware*. Il importe de ne pas dépendre d'un seul pays pour notre approvisionnement. Concernant l'informatique quantique, je considère que la France a une carte à jouer : il s'agit d'une toute nouvelle industrie de pointe dont nous disposons de tous les actifs et des compétences. Sachons en profiter.

Alain Aspect, prix Nobel de physique en 2022 [partagé avec l'Américain John F. Clauser et l'Autrichien Anton Zeilinger] figure parmi les membres de votre *Board* scientifique depuis sa création...

**vg** Alain Aspect s'est toujours montré très impliqué. Il participe à nos réunions scientifiques avec les autres membres. Nous lui sommes d'autant plus redevables que nous reproduisons sur des nanopuces le fruit de ses premières expériences, menées dans les années 1980, consistant déjà à intriquer des photons. Ce que nous parvenons à faire désormais à l'échelle d'armoires de plus petite taille, de manière quasi industrielle. Au-delà de Quandela, il joue un rôle majeur dans la promotion des technologies quantiques, que ce soit en France ou en Europe. C'est dire si la communauté des chercheurs et entrepreneurs de l'informatique comme de la physique quantique lui doit beaucoup.

Propos recueillis par Sylvain Allemand

## Au cœur des enjeux de cybersécurité

Depuis la révolution numérique qui a transformé la manière dont l'information est produite, distribuée et consommée, la maîtrise de l'information est devenue l'un des enjeux prioritaires de sécurité, non seulement des États en vue de leur défense et souveraineté mais également des activités économiques et industrielles de nos entreprises. L'accroissement des cyberattaques contre les administrations et les entreprises, ces dernières années, a démontré ainsi combien les enjeux de sécurité étaient aujourd'hui, avant tout, des enjeux de cybersécurité.

Au cœur de ces enjeux, le pôle d'excellence scientifique et technologique de Paris-Saclay, et plus précisément la Communauté d'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines, a développé une expertise spécifique, notamment avec la présence d'entreprises leaders fortement impliquées dans le domaine de la cybersécurité telles que **Airbus Defense and Space, Airbus CyberSecurity, Thales, Renault, Atos, C2S Bouygues, Orange Cyberdefense** ou l'entreprise **RTE**, gestionnaire du réseau public de transport d'électricité, qui a ouvert en 2021 à Montigny-le-Bretonneux un centre opérationnel national de surveillance de l'ensemble des infrastructures SI-Télécoms et cybersécurité de l'entreprise.

Le domaine compte également un nombre de start-up toujours croissant au cœur de l'écosystème. Certaines sont plutôt spécialisées dans la détection des vulnérabilités, l'évaluation des risques et des menaces telles que **Ozon, United Biometrics, Cryptosense** ou **Citalid**, une start-up fondée par des anciens de CentraleSupélec qui a développé une technologie particulièrement innovante de management des risques cyber et a remporté en 2018 les deux prix de l'innovation des Assises de la Sécurité, parmi les plus prestigieux en France dans ce domaine. D'autres se dédient, quant à elles, plus particulièrement au cloud sécurisé ou à la transformation des systèmes d'information et des infrastructures.

# 1 RE

## FORCE DE FRAPPE ACADÉMIQUE FRANÇAISE EN CYBERSÉCURITÉ

• **fig.7** CyberNDT, une solution développée par le CEA-List pour assurer la fiabilité, la traçabilité et la conformité des contrôles non destructifs (CND) manuels.

Parmi celles-ci, citons **Massa labs** ou **Uniris** qui évoluent dans les technologies *blockchain*, **Snowpack** qui a développé une solution novatrice d'anonymisation des données ou encore **Kleverware, Storit** ou **Alkalee**.

Mais c'est à nouveau dans le domaine académique, et plus encore en formation, que Paris-Saclay occupe une place de premier plan. À ce titre la Communauté d'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines structure progressivement un véritable pôle académique d'excellence en matière de cybersécurité. Les grands établissements d'enseignement supérieur du territoire y proposent des formations dédiées. Des écoles spécifiques se sont également créées telles que la première **École européenne de cybersécurité** (EECS), l'**École 2600** ou le dernier né des **campus IPSSI** dédié à l'informatique et à la cybersécurité. Ces formations visent à répondre aux besoins grandissants de compétences des entreprises du secteur. Entre 2017 et 2021, le nombre d'offres d'emploi en cybersécurité a doublé en France et les spécialistes prédisent l'apparition de dizaines de milliers d'emplois dans un futur très proche.

Côté recherche enfin, aux côtés de chaires dédiées à la cybersécurité en partenariat avec les instituts **Télécom Paris** et **Télécom SudParis**, le territoire compte également des organismes de pointe tels que le **CEA-List** qui réunit, au sein d'une plateforme unique en Europe, plus de 70 experts de la cybersécurité dont l'un des talents du territoire, **Florent Kirchner**, a dirigé pendant de nombreuses années le laboratoire pour la sûreté et la sécurité du logiciel et le programme cybersécurité. Des instituts interdisciplinaires, l'une des marques de fabrique du territoire, sont également présents, comme le Centre Interdisciplinaire d'Études pour la Défense et la Sécurité (CIEDS) de l'Institut Polytechnique de Paris ou l'Institut de recherche technologique (IRT) System X qui vise à accélérer la transformation numérique de l'industrie et des services du territoire.

La Communauté d'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines a développé une expertise spécifique en cybersécurité.

## CEA-List Accroître le champ des possibles de l'innovation numérique

Le List – l'un des trois instituts de recherche du CEA – est spécialisé dans la conception, l'analyse et la sécurisation des systèmes numériques intelligents. Il a pour mission de garantir la compétitivité des entreprises via le transfert de technologies et d'innovations vers le monde industriel. Le List a développé plusieurs plateformes technologiques en santé, robotique ou intelligence artificielle, dont l'une est dédiée à la cybersécurité. Avec plus de 70 experts, cette plateforme est unique en Europe. L'étendue de ses travaux lui permet de collaborer avec une trentaine d'acteurs industriels majeurs tels que EDF, Thales, Systeme1

qui développent des logiciels pour la sécurisation des données ou Trialog, leader des solutions de gestion des systèmes complexes. En outre, depuis ses origines, 50% de ses partenaires sont des PME et des start-up, ce qui permet des échanges de grande qualité. Les experts de la plateforme cybersécurité, en constant lien avec les institutions académiques du territoire, participent également aux grands projets français dans le domaine, tels que les projets Grand Défi Automatisation de la cybersécurité et Campus Cyber, ou européens, comme le projet Sparta. Plus largement, les solutions créées au sein du List

sont susceptibles de toucher tous les secteurs grâce à des travaux liés à la géolocalisation, à la préhension robotique, au contrôle de conformité ou à la reconstruction 3D. Avec plus de 1000 chercheurs et techniciens et de nombreux partenariats, le List dépose chaque année de nombreux brevets et crée des start-up. Depuis 2009, elles sont quatre à avoir vu le jour : Arcure (vision 3D et IA embarquée pour l'industrie), Diota (solutions digitales pour l'industrie 4.0), Tridimeo (solutions 3D pour le guidage robotique) et AlHerd (*monitoring* des troupeaux dans l'élevage).



## Saint-Quentin-en-Yvelines Former les experts en cybersécurité de demain

De nombreuses entreprises concernées par la problématique de la cybersécurité s'étant peu à peu installées sur son territoire, Saint-Quentin-en-Yvelines a choisi de mettre l'accent sur ce domaine d'expertise. La Communauté d'agglomération est désormais en tête sur le développement des zones françaises dites « territoire de confiance », des territoires plus connectés, plus intelligents et plus inclusifs. La Communauté d'agglomération accueillera en outre, en 2023, le premier centre régional de réponses aux incidents cyber (CSIRT) en partenariat avec l'ANSSI. En cohérence avec ce projet de développement économique, un grand nombre

d'organismes de formation et d'écoles dédiées se sont installées à Saint-Quentin-en-Yvelines et ses environs. L'Université de Paris-Saclay propose, à Versailles, un M2 Sécurité des Contenus, des Réseaux, des Télécommunications. L'Ensitech forme des Bac +2 (BTS systèmes numériques), Bac+3 (cybersécurité et *Cloud Computing*) ou Bac+5 (M2 expert cybersécurité & *cloud*). L'Esiee-IT prépare à un Bachelor Informatique option sécurité. De son côté, l'EECS (École européenne de cybersécurité), ouverte à Versailles en 2021, se concentre sur une formation Bac +2, en apprentissage ou en alternance. L'École 2600,

créée la même année à Montigny-le-Bretonneux, propose un diplôme d'Expert de la Sécurité des données, des systèmes et des réseaux (Titre RNCP niveau 7/ Bac+5). Sans oublier le dernier né des campus IPSSI qui forme du BTS au master (BTS SIO, Bachelor DevOps, SysOps, M2 Cybersécurité) en passant par la VAE (validation des acquis de l'expérience) et ses potentielles reconversions. Saint-Quentin-en-Yvelines souhaite, enfin, ouvrir prochainement un véritable campus dédié à la formation à la cybersécurité, adossé à son incubateur SQYcub.

## Un positionnement sur les solutions phares pour l'industrie du futur

Les solutions pour l'industrie du futur reposent sur un ensemble de technologies telles que la **robotique**, la **fabrication additive**, la **5G**, l'**intelligence artificielle**, le **cloud** ou encore l'**interface homme-machine**, qui génèrent une offre de produits, de services et de solutions industrielles intelligentes tournées vers la transformation des systèmes de production de l'ensemble des industries, du secteur agroalimentaire à la santé, en passant par l'automobile ou l'aéronautique.

Ces technologies numériques qui permettent aujourd'hui à l'industrie d'innover pour gagner en flexibilité et en compétitivité mais aussi pour répondre aux nouvelles exigences environnementales et sociales, sont fortement soutenues, notamment en Europe qui représente à elle seule 30% du marché mondial de l'automatisation industrielle. L'**European Institute of Innovation and Technology (EIT)**, créé en 2008 en vue de renforcer les capacités d'innovation européenne sur des filières stratégiques, a ainsi ouvert un EIT dédié au Manufacturing implanté au cœur de Paris-Saclay au sein du centre Nano-Innov Paris Région.

De son côté, la France s'est dotée, à partir de 2015, d'un programme dédié à l'industrie du futur visant la modernisation de son outil de production et la transformation numérique de ses entreprises industrielles. En 2021, elle créait une filière autour des solutions pour l'industrie du futur évaluée par l'Alliance Industrie du Futur à 32 000 entreprises et 500 000 emplois directs et indirects. Cette filière est à nouveau soutenue aujourd'hui dans le cadre du plan d'investissement France 2030.

Notamment portée par des groupes de renommée mondiale et des start-up à la pointe de l'innovation, cette évolution vers une industrie du futur est bien au cœur des innovations développées par le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay. Côté industriels, Paris-Saclay compte sur son territoire des entreprises leaders telles que **Nokia**, **Ericsson**, **Air Liquide** ou **Dassault Systèmes**, une entreprise véritablement motrice en matière de technologies numériques et solutions industrielles d'avenir. Côté start-up, le territoire se montre particulièrement dynamique avec des start-up évoluant à la fois dans le domaine de la conception (conception des produits, des procédés de fabrication ou des lieux de production) comme **EikoSim**, du contrôle (traçabilité, gestion des flux, logistique) comme **Dataswati**, **WIN MS** ou **Inbolt** ou de la fabrication (machines, outils, outillage) telles que **Fabriq**, **Haption** ou **Isybot**.

L'EUROPE REPRÉSENTE  
**30%**  
DU MARCHÉ MONDIAL DE L'AUTOMATISATION INDUSTRIELLE

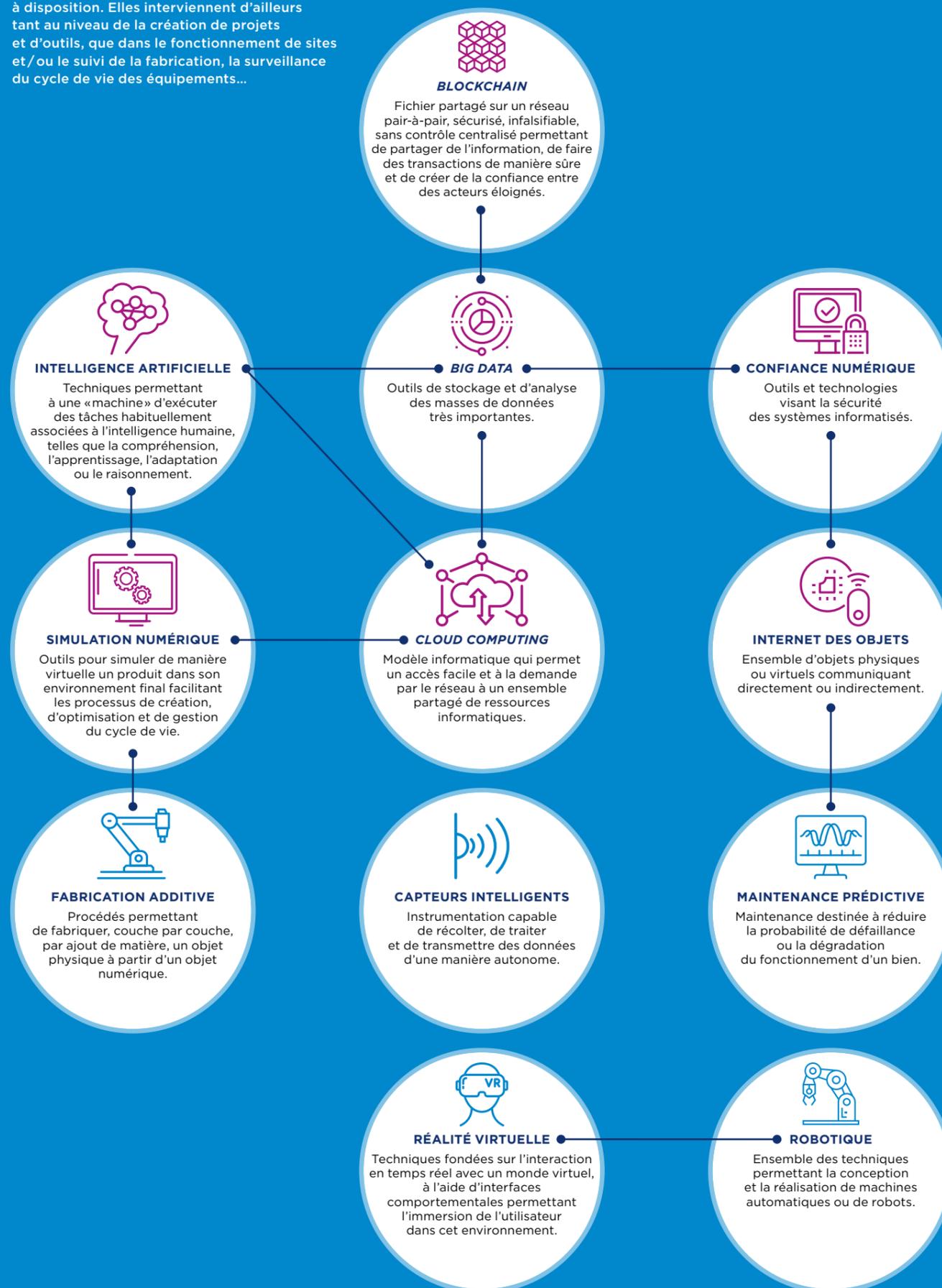
**500k**  
EMPLOIS DIRECTS OU INDIRECTS SERAIENT GÉNÉRÉS PAR LA FILIÈRE SOLUTIONS POUR L'INDUSTRIE DU FUTUR, EN FRANCE

• fig.8 Robot automatisé avec convoyeur dans une usine de fabrication pour l'industrie alimentaire.



### Les solutions pour l'industrie du futur

L'industrie 4.0 utilise pleinement le potentiel de toutes les technologies numériques à disposition. Elles interviennent d'ailleurs tant au niveau de la création de projets et d'outils, que dans le fonctionnement de sites et/ou le suivi de la fabrication, la surveillance du cycle de vie des équipements...



Sur le plan de la recherche académique, Paris-Saclay occupe également une place de choix, avec aux côtés du **CEA-List** leader dans le domaine, de nombreux laboratoires d'excellence tels que le **LISN** (Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique), le LISV (Laboratoire d'ingénierie des systèmes de Versailles), l'**IBISC** (Informatique, BioInformatique, Systèmes Complexes) ou encore le **GEEPS** (Génie électrique et électronique de Paris), un laboratoire commun au CNRS, à CentraleSupélec, l'Université Paris-Saclay et Sorbonne Université. Aux côtés de ces instituts de recherche experts dans leur domaine, Paris-Saclay est également renommé pour ses initiatives collectives et interdisciplinaires. En matière de solutions pour l'industrie du futur, il faut citer **Hi! Paris** et **DATAIA**, mais également **H-CODE** (*Human in the loop* pour le contrôle et la décision), un centre interdisciplinaire de l'Université Paris-Saclay visant à fédérer les communautés de chercheurs et d'ingénieurs manipulant les concepts de théorie du contrôle et de la décision à différentes échelles. Sans oublier des équipements de pointe, tels que **CONTINUUM** (Continuité collaborative du numérique vers l'humain), un projet EquipEx+ porté par le CNRS et piloté par **Michel Beaudoin-Lafon**, l'un des talents du territoire, qui vise à créer une infrastructure de recherche collaborative réunissant 30 plateformes situées dans la France entière.

### Paris-Saclay est renommé pour ses initiatives collectives et interdisciplinaires.

• **fig.9** Journée d'embarquement au sein de la plateforme CampusFab consacrée à la formation à l'industrie 4.0.



Au travers de ses nombreuses formations dans le domaine, Paris-Saclay prépare également les générations futures et forme les talents de demain. À ce titre, l'**Université d'Évry**, plus particulièrement, a fait de l'industrie 4.0 un axe fort de développement. L'Université propose un master en robotique industrielle. Elle a également déployé des initiatives majeures d'éducation, tels que le **Centre innovation d'Évry**, une plateforme de démonstration, de formation et de recherche inaugurée en juin 2022 et nouveau lieu totem du Campus des Métiers et des Qualifications Aéronautique et Spatial d'Île-de-France ou le **CampusFab**, une plateforme de formation innovante et exemplaire proposant une offre complète pour former les acteurs de l'industrie de demain. L'**Université Paris-Saclay** propose de son côté une **Graduate School** dédiée aux **Sciences de l'ingénierie et des systèmes** pour des sciences de l'ingénieur et du numérique au service des grands enjeux de société ainsi qu'un Master Industrie du futur et systèmes intelligents.

Ces technologies numériques sont aujourd'hui au cœur d'une révolution. Flexible et personnalisable, intelligente et connectée, virtuelle et basée sur une forte collaboration homme-machine, l'usine de demain sera en grande partie digitale et intégrera des technologies d'avenir telles que l'intelligence artificielle générative, la matière programmable, le jumeau autonome ou le métaverse. Elle s'invente aujourd'hui à Paris-Saclay!

### L'Université d'Évry a fait de l'industrie 4.0 un axe fort de développement.

• **fig.10** Mesure du niveau du signal optique par un réflectomètre dans la salle du serveur d'un centre de données.



### Les start-up smart manufacturing, au cœur de l'industrie 4.0

Les entreprises ou start-up installées à Paris-Saclay spécialisées dans le *smart manufacturing* peuvent intervenir dans tous les domaines de l'industrie 4.0, de la conception des produits aux chaînes de fabrication en passant par le contrôle qualité. Des exemples? Dataswati et WiN MS, créées toutes les deux au milieu des années 2010 et passées de jeunes pousses à entreprises en pleine croissance.

Dataswati, installée à Massy, assiste ainsi les industriels de l'agroalimentaire dans leur recherche d'optimisation de leurs performances (matières premières, énergie, eau...) et de décarbonation. L'entreprise propose un jumeau numérique, PowerOP, faisant travailler des intelligences artificielles à l'analyse de données. Cette mise « en conditions réelles » via le jumeau peut permettre de réduire les pertes de matières premières, d'améliorer les performances énergétiques... mais aussi de considérablement faire évoluer la R&D des entreprises du secteur

en anticipant les effets, physiques et économiques, de toute variation de recette ou de composants.

WiN MS (Wire Network Monitoring Solutions) permet, quant à elle, aux industriels de détecter et de localiser les pannes ou anomalies des réseaux de câbles en utilisant la réflectométrie. Ses domaines d'application sont d'ores et déjà très nombreux: l'aviation et l'espace, le secteur de l'automobile, les *smart cities* et leurs réseaux énergétiques, les réseaux ferrés. WiN MS propose des outils de diagnostic instantané pour l'aviation ainsi que des solutions de surveillance des réseaux câblés les plus complexes. L'installation de l'entreprise à Gif-sur-Yvette a semblé naturelle aux deux fondateurs, Marc Olivas, du CEA-List, et Arnault Peltier, de l'Institut d'Optique Graduate School, qui se présentent tous les deux comme de « purs produits Paris-Saclay ». Créée en 2011, WiN MS a déjà des filiales aux USA et à Singapour.

# Une capacité de recherche, d'éducation et d'innovation d'exception

Avec des établissements d'enseignement supérieur et des laboratoires de recherche de rang mondial, des talents de renommée internationale et un vivier de start-up de haute technologie, signe d'une forte dynamique d'innovation, Paris-Saclay bénéficie d'un écosystème particulièrement riche dont la force repose sur la concentration de ses acteurs, la densité de ses compétences, et les synergies déployées entre disciplines, technologies et acteurs.

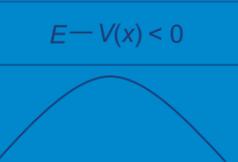
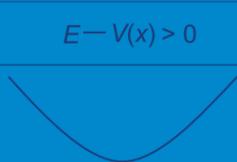
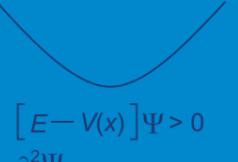
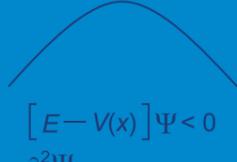
Concrétisant ces synergies, des institutions interdisciplinaires exemplaires et des programmes collaboratifs novateurs voient le jour, toujours plus nombreux, à l'interface des domaines académiques et industriels.

Aujourd'hui, la filière des technologies numériques compte, sur le territoire, 400 établissements majeurs, plus de 250 laboratoires et plateformes techniques, 106 start-up de pointe et représente environ 32 000 emplois.

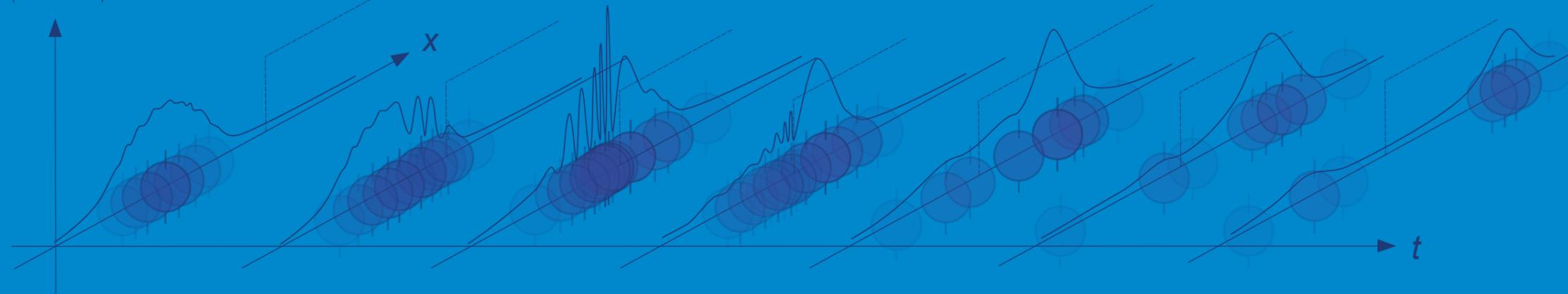
$$-\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + U(x) \cdot \psi(x) = E \cdot \psi(x)$$

$$H(t)|\psi(t)\rangle = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi(t)\rangle$$

$$-\frac{\hbar^2 \partial^2 \Psi}{2m \partial x^2} + V\Psi = E\Psi$$

	$E - V(x) < 0$	$E - V(x) > 0$
$\Psi > 0$	 $[E - V(x)]\Psi < 0$ $\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} > 0 \quad T < 0$	 $[E - V(x)]\Psi > 0$ $\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} < 0 \quad T > 0$
$\Psi < 0$	 $[E - V(x)]\Psi > 0$ $\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} < 0 \quad T > 0$	 $[E - V(x)]\Psi < 0$ $\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} > 0 \quad T < 0$

$$|\Psi(x,t)|^2$$



## Une recherche académique d'excellence à la croisée des disciplines scientifiques

Au cœur de l'excellence académique de Paris-Saclay : des organismes nationaux de recherche prestigieux tels que l'**Inria** (Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique), chef de file de la recherche française en intelligence artificielle, le **CEA-List**, dédié aux systèmes numériques intelligents et leader en matière de recherche en cybersécurité ou le **CNRS** (Centre national de la recherche scientifique). Paris-Saclay compte également un très grand nombre de laboratoires experts tels que le **LISN** (Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique), l'un des meilleurs laboratoires en traitement automatique du langage en France, le **LTCI** (Laboratoire traitement et communication de l'information) de Télécom Paris, l'**IMSIA** (Institut des sciences de la mécanique et applications industrielles) porté par l'ENSTA Paris ou le **L2S** (Laboratoire des signaux et des systèmes), commun au CNRS, à CentraleSupélec et à l'Université Paris-Saclay.

Paris-Saclay est également partenaire de programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) tel que le **programme DIADEM**, copiloté par le CEA et le CNRS et visant à accélérer le déploiement de matériaux innovants via l'intelligence artificielle. Il s'appuie notamment sur des équipements majeurs du territoire comme le **Synchrotron SOLEIL**.

Au cœur de l'excellence académique de Paris-Saclay, des organismes nationaux de recherche prestigieux tels que l'**Inria**, le **CEA-List** ou le **CNRS**.

• **fig.11** Vue intérieure du grand hall du bâtiment Alan Turing au sein du centre de recherche de l'**Inria** Saclay.

Autres équipements notoires de Paris-Saclay dans le domaine des technologies numériques : le **Très Grand Centre de Calcul** (TGCC) du CEA dédié au calcul intensif et à la simulation haute performance ou le **supercalculateur Jean Zay**, le plus puissant de France.

En parallèle de ces activités de recherche fondamentale et appliquée, Paris-Saclay forme également les talents de demain. Parmi les formations d'excellence du territoire : le **Master Mathématiques, Vision, Apprentissage** (MVA) de l'**ENS Paris-Saclay** forme chaque année l'élite mondiale de l'intelligence artificielle. L'Université Paris-Saclay propose quant à elle **UDOPIA**, un programme doctoral transversal dédié à l'intelligence artificielle et a ouvert récemment avec l'Institut Polytechnique de Paris, **Quantum-Saclay**, un centre interdisciplinaire dédié aux sciences et technologies quantiques. Dans le domaine de la cybersécurité, c'est l'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines qui s'est spécialisée avec, aux côtés de formations proposées par les grands établissements d'enseignement supérieur du territoire tels que l'**Université Paris-Saclay**, l'**Institut Polytechnique de Paris**, l'**ENSTA**, **CentraleSupélec**, **Télécom Paris**, **Télécom SudParis**, des écoles dédiées comme l'**École 2600**, l'**École européenne de cybersécurité** (EECS) ou le **campus IPSSI**. L'**Université d'Évry** a, quant à elle, fait de l'industrie 4.0 un axe privilégié d'apprentissage avec des formations dédiées à la robotique industrielle ou des plateformes de formations innovantes telles que le **CampusFab** ou le **Centre innovation d'Évry**. Un formidable vivier de futurs collaborateurs pour les entreprises du territoire.

# 200

**DATA SCIENTISTS DE NIVEAU MONDIAL FORMÉS CHAQUE ANNÉE PAR LE MASTER MATHÉMATIQUES, VISION, APPRENTISSAGE (MVA) DE L'ENS PARIS-SACLAY.**

## Inria : la tête de pont française du numérique

L'Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique, né en 1984, compte 215 équipes projet, 3900 scientifiques affiliés et est à l'origine de plus de 200 start-up. Au cœur de ses missions, l'institut doit maintenir l'excellence scientifique du domaine, accélérer l'innovation, agir auprès des politiques publiques nationales et européennes et être moteur de la croissance de l'apprentissage du numérique. Outre ses nombreux programmes - Intelligence artificielle, Éducation et numérique, Santé numérique, Cybersécurité, Quantique, Numérique et environnement - l'**Inria** s'est vu confier, dans le cadre de la stratégie nationale pour l'intelligence artificielle (SNIA),

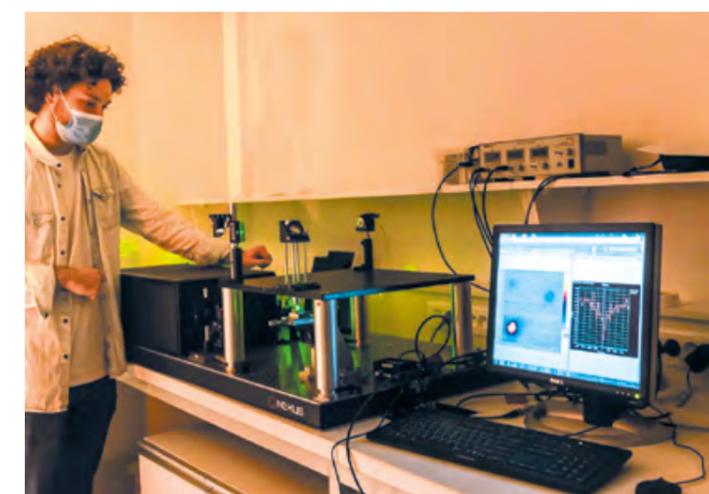
la coordination de l'ensemble des activités liées à la formation à l'intelligence artificielle, soit 190 chaires et 22 programmes doctoraux. Dans ce cadre, l'**Inria** anime également les quatre Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle (3AI) issus du programme national de recherche en intelligence artificielle. L'institut a également signé un accord de partenariat avec l'Université Paris-Saclay afin de construire des équipes-projets communes (EPC) et des dispositifs de coopération. Leurs thématiques de recherche prioritaires sont la santé numérique, l'intelligence artificielle et les sciences de la donnée, la cybersécurité, le quantique et les interactions homme-machine.

## Centre Quantum-Saclay : le quantique à la loupe

Conscients de l'importance technologique de la seconde révolution quantique, l'Université Paris-Saclay et l'Institut Polytechnique de Paris ont créé Quantum-Saclay, le centre interdisciplinaire des sciences et technologies quantiques de Paris-Saclay. En lien avec le CNRS, le CEA, l'**Inria** et l'**ONERA**, Quantum-Saclay regroupe plus de 80 équipes du territoire, avec des partenariats associant les groupes industriels majeurs comme **Thales**, **EDF**, **TotalEnergies**, **Air Liquide** et **IBM**, ainsi que les start-up emblématiques du domaine comme **Pasqal** et **Quandela**. Les recherches menées par ces équipes couvrent l'ensemble des domaines, depuis les études les plus fondamentales jusqu'au développement à des niveaux élevés de maturité technologique en communications et photonique quantique, ordinateur quantique, capteurs quantiques, simulation quantique, matière quantique et topologique, informatique quantique, ainsi que le développement de technologies habilitantes. Le centre fédère également les actions de formation

pour répondre à l'objectif fixé par le plan quantique national de doubler à très brève échéance le nombre de docteurs en sciences et technologies quantiques. Paris-Saclay, qui associe les formations universitaires et les parcours au sein d'écoles d'ingénieurs parmi les plus prestigieuses, est le lieu unique pour réussir ce défi en très forte interaction avec le milieu industriel.

• **fig.12** Un doctorant expliquant la manipulation de dégroupement de photons par émetteur unique au sein du Centre Quantum-Saclay.



**ENTRETIEN AVEC NICOLAS SABOURET** DIRECTEUR DE LA *GRADUATE SCHOOL*  
« INFORMATIQUE ET SCIENCES DU NUMÉRIQUE » DE L'UNIVERSITÉ PARIS-SACLAY

## Former les talents aux défis du numérique



Former des ingénieurs et des chercheurs de demain, capables de faire face aux grands défis du numérique – *big data*, intelligence artificielle, internet des objets, cybersécurité, informatique quantique, etc. –, telle est l'ambition de la *Graduate School* Informatique et Sciences du Numérique de l'Université Paris-Saclay qui a vu le jour en juillet 2020. Spécialiste dans le domaine de l'intelligence artificielle

et de l'interaction humain-machine, professeur en informatique à l'Université Paris-Saclay, enseignant à CentraleSupélec et chercheur au Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique (LISN – Université Paris-Saclay, CNRS, CentraleSupélec, Inria), son directeur, Nicolas Sabouret, nous en dit plus, y compris sur les effets bénéfiques de l'inscription des quelque vingt-deux laboratoires participant à cette *Graduate School*.

Les défis dont traite votre *Graduate School* vont du *big data* à l'IA en passant par l'internet des objets, la cybersécurité, l'informatique quantique, etc. Comment justifier un aussi large spectre qui n'est pas sans faire songer à un inventaire à la Prévert ?

**NS** Tous ces défis sont bien au cœur de l'informatique et des sciences du numérique actuelles. Pour mémoire, l'informatique est la science du traitement automatique de l'information tandis que les sciences du numérique concernent la mise en œuvre de ces traitements pour les besoins du développement d'outils, de fonctions. Il est donc normal de les associer, étant entendu que les sciences du numérique recouvrent elles-mêmes des défis aussi variés que l'IA, l'informatique quantique, le traitement automatique du signal et des images. Alors oui, cela peut faire penser à un inventaire à la Prévert, mais si vous rendiez visite à mes collègues de la *Graduate School* Physique ou de la *Graduate School* Mathématiques, ils vous dresseraient des listes au moins aussi impressionnantes de défis que leurs disciplines s'emploient à relever. Pour en revenir aux nôtres, j'ajoute que nous les explorons de longue date. Nos laboratoires y travaillent depuis des années, non sans avoir acquis une réputation internationale pour leurs travaux notamment sur les interactions humain-machine, le traitement du signal et des images, les réseaux de télécommunication, le traitement automatique de la langue ou encore l'algorithmique et les méthodes formelles.

À quels métiers se destinent vos étudiants ?

**NS** Ils ont vocation à travailler comme ingénieurs informaticiens ou à poursuivre dans la recherche. Dans les faits, 80 % ne poursuivent pas en thèse. Non que la recherche manquerait d'attrait à leurs

yeux, mais nos étudiants aspirent à mettre très vite leurs connaissances en application en décrochant un poste au sein de l'industrie. Le contexte est particulièrement favorable : le marché du travail en informatique et dans le numérique est dynamique, avec des perspectives d'emplois bien rémunérés. Nos étudiants en trouvent sans difficulté à l'issue de leurs études.

Dans quelle mesure les préparez-vous à s'adapter à des univers professionnels en constante évolution ?

**NS** C'est un point important. L'informatique et les sciences du numérique connaissent des évolutions rapides. Qui aurait pensé il y a une dizaine d'années que l'IA susciterait un tel regain d'intérêt des industriels ? Aussi, les formations de l'Université Paris-Saclay – j'en parle en connaissance de cause pour intervenir dans différents cursus – n'ont pas seulement pour vocation de former des étudiants pour qu'ils répondent à des besoins immédiats, mais bien pour qu'ils soient en capacité de s'adapter aux nouveaux défis qui se poseront dans les prochaines années. Ce qui d'ailleurs correspond à l'une des missions premières de l'Université et lui permet d'affronter des défis que j'ai évoqués : pour ne prendre que l'exemple de l'IA, l'Université n'a cessé de s'y intéresser, de dispenser des cours dans ce domaine, même durant les années où elle paraissait délaissée par les industriels. Ce dont nous ne pouvons que nous réjouir car cela nous met en capacité de répondre aujourd'hui à la forte demande de formation. C'est dans le même esprit que nous continuons à enseigner certains sujets quand bien même paraissent-ils moins « à la mode », car rien ne dit qu'ils ne le redeviendront pas de nouveau. Donc, non, nous ne formons pas les

étudiants seulement pour les fondre dans un moule, mais bien pour qu'ils acquièrent des compétences qu'ils pourront continuer d'enrichir. C'est d'autant plus nécessaire que le numérique est, comme vous le savez, en évolution permanente. Pas une année sans qu'émergent de nouvelles perspectives applicatives ou théoriques.

Dans quelle mesure vos formations leur inculquent aussi un sens critique, les prépare aux enjeux éthiques liés au numérique ?

**NS** Ce sont des enjeux majeurs que nous nous employons à développer. Mais ne nous voilons pas la face, ce n'est pas simple. Non que nos enseignants-chercheurs n'y soient pas sensibilisés. C'est tout le contraire. Mais il faut les intégrer dans nos cursus. Autant le reconnaître, nous comptons encore peu de modules dédiés à l'éthique et à la transition écologique. Nous avons un cours en ligne qui se met en place sur le numérique responsable, et quelques modules de nos formations sensibilisent les étudiants à la nécessité de concevoir des algorithmes aussi économes que possible en temps de calcul (et donc en énergie). Mais nous rencontrons le même problème que d'autres *Graduate Schools* : ces modules s'ajoutent à tout ce que nous voulons déjà leur transmettre. Nous faisons en sorte que les étudiants suivent au moins ceux que nous leur proposons, ce qu'ils font volontiers, mais je pense que c'est un volet sur lequel nous pourrions progresser. J'ai bon espoir d'y parvenir au vu du fonctionnement de nos *Graduate Schools* : nous avons la chance d'avoir des enseignants-chercheurs volontaires et compétents pour s'adapter eux-mêmes au fil de l'eau.

Précisons que nous réalisons l'entretien dans les bureaux de la *Graduate School*, situés dans le bâtiment 640, qui se trouve devant le bâtiment flambant neuf du Pôle Biologie – Pharmacie – Chimie Henri Moissan, le tout situé dans le quartier de Moulon qui compte de nombreux autres établissements d'enseignement supérieur et de recherche, de centres de R&D... Dans quelle mesure l'inscription de votre *Graduate School* dans un tel écosystème sert ses ambitions ?

**NS** Le fait de nous trouver physiquement au cœur de l'écosystème Paris-Saclay, dans cette proximité avec nos collègues en biologie, en pharmacie, en chimie, mais aussi en physique est bien évidemment un atout. C'est une chose de pouvoir interagir en distanciel, c'en est une autre de le faire en face à face, surtout quand ce n'est qu'à quelques minutes à pied de son bureau ou laboratoire. Cela change la nature des relations, même si, suite aux périodes de confinement et de restrictions des réunions, nous avons pris l'habitude de faire de la visio plus qu'avant. Mais, est-il besoin de le dire, on ne fait pas la même chose en visio qu'en présentiel.

On peut certes échanger à distance, mais pour coconstruire un projet dans la durée, il faut pouvoir être en coprésence, prendre le temps de se voir. Ce que l'on constate pour les enseignants et les chercheurs vaut pour les étudiants : il importe qu'ils ne restent pas dans un entre-soi d'étudiants en licence ou master en informatique dans le bâtiment du PUIO [Pôle universitaire d'ingénierie d'Orsay] dans lequel nous nous trouvons, mais qu'ils puissent rencontrer des étudiants d'en face, ou de CentraleSupélec, de l'ENS Paris-Saclay, situées à quelques minutes à pied d'ici. C'est comme cela qu'ils peuvent découvrir d'autres manières de penser, de faire de la science.

Vos propres travaux portent sur les interactions humain-machine. Un enjeu majeur s'il en est avec les développements récents de l'IA...

**NS** De fait, ces interactions sont au centre des préoccupations de la société. Les gens s'inquiètent de voir les technologies prendre une place de plus en plus importante dans la société, au point parfois d'avoir l'impression que l'homme est au service de la machine. Avec mes collègues, nous cherchons à faire en sorte que les machines s'adaptent à l'humain et non l'inverse.

Je ne résiste pas à l'envie d'évoquer le philosophe des techniques Gilbert Simondon, qui nous invitait à « libérer la machine », en entendant par là le fait de ne pas la restreindre à des fonctions définies une fois pour toutes, mais à en libérer le potentiel au travers de nouveaux développements...

**NS** Attention à ne pas se méprendre. Trop souvent, les gens s'imaginent que les machines seraient capables de tout faire, que tout problème trouverait sa solution dans la conception d'une nouvelle machine capable d'automatiser telle ou telle tâche physique ou cognitive. Or, je pense que si les machines peuvent faire beaucoup de choses, elles ne sont en réalité en mesure de ne faire beaucoup de fois qu'une même chose. Une machine qui saurait tout faire ou beaucoup de choses différentes n'est pas pour demain. Pour l'heure, l'humain est mieux à même de s'adapter à différentes situations, à réaliser des tâches diverses et variées. Si chacune de ces tâches peut être reproduite par une machine, il faudrait en mobiliser beaucoup et de types différents pour couvrir la plupart des tâches réalisées par un seul être humain, du fait de sa capacité d'adaptation – on y revient. Plutôt que de se demander comment « libérer la machine » pour qu'elle puisse faire des choses au-delà de ce que fait l'humain, il faudrait se poser la question de savoir comment l'humain peut être encore plus libéré à l'aide de machines, comment celles-ci peuvent concourir à son émancipation.

Propos recueillis par Sylvain Allemand

## Des organismes interdisciplinaires exemplaires

Au-delà de son excellence scientifique et technologique, la valeur du pôle Paris-Saclay réside dans sa capacité à faciliter les passerelles entre disciplines scientifiques et technologiques et plus globalement dans sa dynamique collective qui favorise l'interdisciplinarité et transversalité, l'une de ses plus grandes richesses.

Plusieurs initiatives interdisciplinaires et collectives, développées ces dernières années pour favoriser l'essor des technologies numériques, sont ainsi particulièrement exemplaires. C'est le cas de l'**Institut DATAIA**, créé par l'Université Paris-Saclay et du **Centre Hi! Paris**, issu de l'Institut Polytechnique de Paris, dans le domaine de l'intelligence artificielle. C'est le cas également de **H-CODE**, un centre interdisciplinaire de l'Université Paris-Saclay fédérant les communautés de chercheurs et d'ingénieurs travaillant autour des concepts de théorie du contrôle et de la décision dans le domaine de la robotique, ou encore **CONTINUUM**, un projet EquipEx + piloté par le CNRS visant à créer une infrastructure de recherche collaborative réunissant 30 plateformes évoluant dans le domaine du numérique vers l'humain en France. Le **CIEDS - Centre Interdisciplinaire d'Études pour la Défense et la Sécurité** - initié par l'Institut Polytechnique de Paris en vue de détecter et développer des technologies de rupture pour les besoins de la défense dans les domaines de la sécurité numérique, de la robotique et l'intelligence artificielle, de la technologie quantique, de l'imagerie et de la modélisation pour l'ingénierie des systèmes ou du management de l'innovation de défense et l'**Institut de recherche technologique (IRT) SystemX** multipliant les connexions entre acteurs du territoire pour accélérer la transformation numérique de l'industrie, des services et des territoires, sont tout aussi exemplaires.

Reposant sur les synergies entre disciplines et compétences et la collaboration entre acteurs académiques et industriels, ces initiatives collaboratives et pluridisciplinaires innovantes sont une véritable signature du pôle Paris-Saclay.

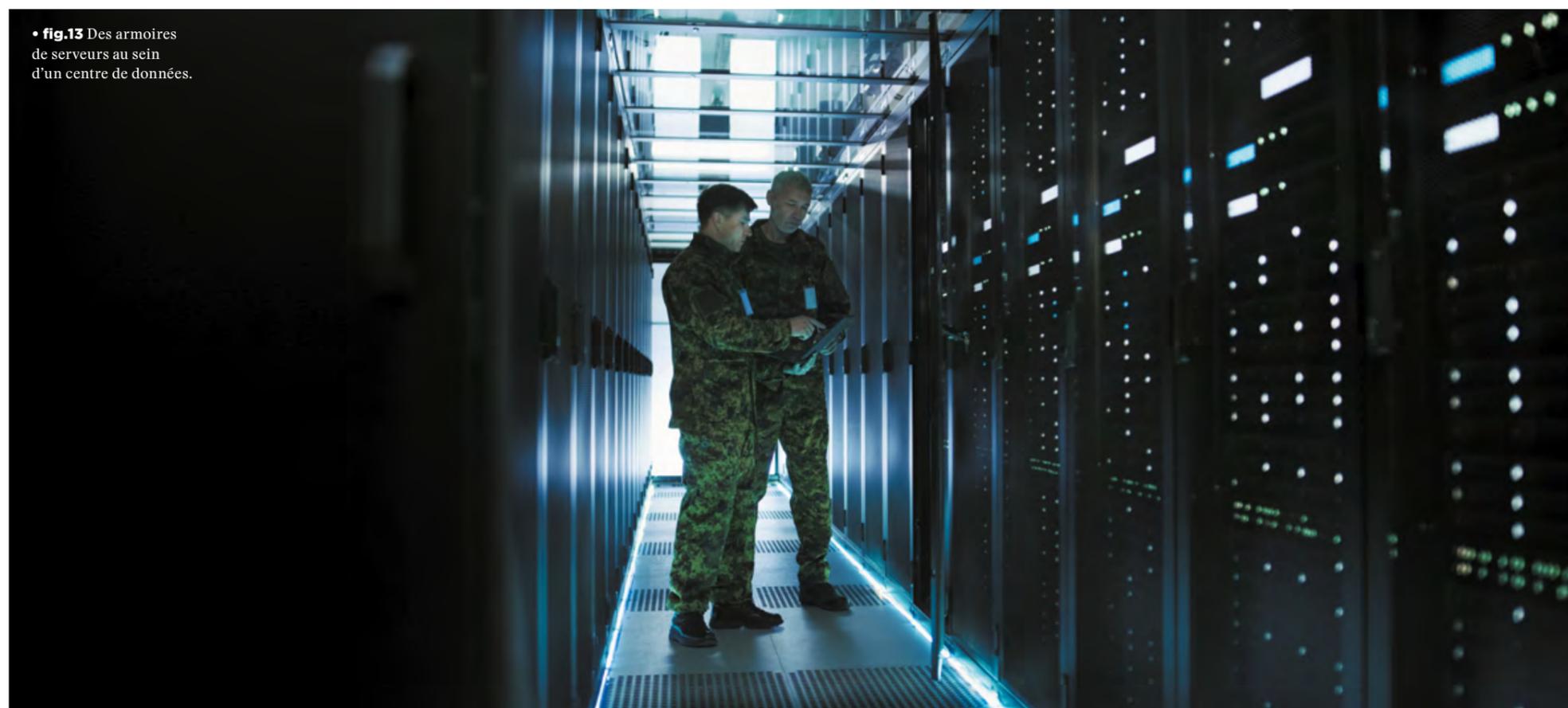
Ces initiatives collaboratives et pluridisciplinaires innovantes sont une véritable signature du pôle Paris-Saclay.

## SystemX: pour une transformation numérique accélérée

Un accélérateur de transformation numérique de l'industrie, des services et des territoires: c'est ainsi que se définit l'Institut de recherche technologique (IRT) SystemX, créé en 2012. SystemX est l'un des huit IRT issus du programme national d'Investissements d'avenir et fondés sur un partenariat public/privé. Il a pour mission de multiplier les connexions entre les entreprises et les structures de recherche et d'enseignement du territoire. Il met également à disposition ses plateformes technologiques — méthodologie, logiciels, systèmes cyberphysiques — et propose ses expertises à l'ensemble de ses partenaires publics et privés. Atos, Airbus, Air Liquide, EDF, Engie, Renault Group font ainsi confiance à SystemX pour l'avancée

de certains de leurs programmes de recherche. Côté académique, l'IRT profite pleinement de sa proximité géographique avec les meilleures écoles et universités de France œuvrant dans la recherche numérique. Des accords existent ainsi avec l'Université Paris-Saclay, l'Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ), l'École polytechnique de Paris, l'ENSTA ParisTech ou Mines Paris Tech. L'Institut a également monté en son sein la SystemX Academy qui offre des formations liées à l'Industrie 4.0 (Certificat industrie du futur). En outre, dans le domaine de l'ingénierie augmentée, l'IRT SystemX pilote trois programmes — Confiance.ai, IA2 — Intelligence Artificielle et Ingénierie Augmentée — et Jumeau numérique des systèmes industriels complexes — afin

de déployer plus largement les technologies du numérique et de l'intelligence artificielle. Enfin, il a accentué son activité dans la cybersécurité et développe des solutions complètes pour une économie numérique de confiance.



• fig.13 Des armoires de serveurs au sein d'un centre de données.

## CIEDS: la tech au service de la défense

Le CIEDS (Centre Interdisciplinaire d'Études pour la Défense et la Sécurité), l'un des quatre centres interdisciplinaires de l'Institut Polytechnique de Paris, a vu le jour en 2021. Il intervient de façon transversale au sein des cinq écoles membres de l'Institut, avec deux missions principales: développer des technologies de rupture pour les besoins de la défense et instaurer au sein de l'Institut Polytechnique de Paris une très large prise en compte des enjeux de défense. Le CIEDS est fortement soutenu par le ministère des Armées et par l'Agence d'innovation de défense, notamment *via* le financement de projets de recherche. Le CIEDS mène ainsi des recherches sur une dizaine de thématiques - robotique et modélisation pour l'ingénierie des systèmes laser intenses et applications, matériaux innovants et fonctionnalisation, optimisation énergétique et propulsion,

technologie quantique, détection de menaces biologiques, chimiques et soins aux combattants, management de l'innovation de défense - afin de détecter de potentielles ruptures technologiques et les intégrer dans la Base industrielle et technologique de défense (BITD). Le Centre compte aujourd'hui plus de 120 chercheurs et enseignants-chercheurs impliqués dans 25 laboratoires de l'Institut Polytechnique de Paris sur une cinquantaine d'études en lien avec la défense. Il lance une douzaine de nouveaux projets par an, d'une durée de 3 à 4 ans. Sa seconde mission est de créer un maillage de partenariats à très long terme entre chercheurs, élèves de l'Institut, entreprises, structures de financement et ministère des Armées. Le CIEDS a ainsi monté un Club des partenariats industriels qui ouvre un accès privilégié à ses résultats et technologies protégées.

## Des talents de stature internationale

Attirés par des établissements et des laboratoires de recherche de rang mondial, ainsi que par la perspective de collaborer tant avec des chercheurs de renom que des industriels de premier plan, des scientifiques mondialement reconnus rejoignent, toujours plus nombreux, le pôle académique de Paris-Saclay.

Le plus emblématique de ces talents est certainement **Alain Aspect**, chercheur au sein de l'ENS Paris-Saclay et du CNRS, enseignant à l'Institut Polytechnique de Paris et à l'Institut d'Optique Graduate School, cofondateur de la start-up Pasqal et, en 2022, **prix Nobel de physique** pour ses travaux sur les inégalités de Bell et l'intrication quantique. Dans le même domaine, **Pascale Senellart**, directrice de recherche au CNRS, professeur de mécanique quantique à l'École polytechnique et cofondatrice de la start-up Quandela est une autre figure emblématique de Paris-Saclay. En 2021, elle était notamment lauréate du **Grand Prix Mergier-Bourdeix de l'Académie des Sciences**.

Comptant 41% des 200 talents français du secteur, Paris-Saclay est également le berceau de nombreux leaders de l'intelligence artificielle. Parmi ceux-ci, **Luc Julia**, de retour à Paris-Saclay après de nombreuses années passées aux États-Unis, notamment au sein du groupe Apple où il a cofondé l'assistant vocal Siri, est aujourd'hui directeur scientifique pour le Groupe Renault. **Jérôme Pesenti**, vice-président de l'intelligence artificielle chez Facebook et ancien responsable du programme Watson chez IBM est un autre de ces talents, tout comme **Laurence Devillers**, notamment chercheuse en intelligence artificielle au sein du Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique (LISN), membre de l'Institut DATAIA et du Comité national pilote d'éthique du numérique et de l'intelligence artificielle. Dans ce domaine, nous pourrions encore citer **Marc Schoenauer**, directeur de recherche à l'Inria, missionné en 2017 par le Premier ministre avec Cédric Villani pour la définition d'une stratégie intelligence artificielle pour la France ou **Julie Grollier**, médaille d'argent du CNRS en 2018, **prix Irène Joliot-Curie 2021 de la Femme scientifique de l'année** et responsable de l'équipe nanocomposants pour le traitement cognitif de l'information de l'Unité mixte de physique CNRS/Thales.

41%  
DES  
200 LEADERS  
FRANÇAIS DE  
L'INTELLIGENCE  
ARTIFICIELLE  
SONT LIÉS À  
PARIS-SACLAY

## Alain Aspect, un Nobel quantique

Né en 1947 à Agen, Alain Aspect est un prix Nobel de physique « made in Paris-Saclay ». Actuellement directeur de recherche émérite au CNRS, dont il a reçu la médaille d'or en 2005, il a fait son doctorat au sein de l'Institut d'optique d'Orsay avant de réaliser la plus grande partie de sa carrière au sein des laboratoires de l'ENS Paris-Saclay et de SupOptique. Il continue aujourd'hui à transmettre son savoir en enseignant à l'Institut Polytechnique de Paris et à l'Institut d'Optique Graduate School où il est titulaire de la chaire Augustin Fresnel. Toujours en quête d'une recherche de pointe en physique quantique, il a cocréé en 2019, à Massy, Pasqal, une start-up

spécialisée dans les ordinateurs et systèmes quantiques. Un sujet qu'il connaît parfaitement puisque c'est pour ses expériences révolutionnaires et pionnières sur les inégalités de Bell et l'intrication quantique, ouvrant la voie à l'informatique et à la cryptographie quantique qu'il a reçu le prix Nobel, avec Jean Clauser et Anton Zeilinger, en 2022. Membre d'un grand nombre d'académies des sciences dans le monde, il a également obtenu le prix Wolf de physique en 2010, le prix Balzan sur l'informatique quantique en 2013, la médaille d'or Nels Bohr ainsi que la médaille Albert Einstein et la médaille Ives de la société d'optique d'Amérique, la même année.



## Luc Julia : retour aux sources pour le fondateur de Siri

Ingénieur et informaticien, Luc Julia est principalement connu du grand public pour avoir coinventé l'assistant vocal Siri. Il est titulaire d'un doctorat d'informatique obtenu à Télécom Paris. Installé aux États-Unis depuis le début des années 90, et pionnier parmi les pionniers, il est l'un des créateurs de Nuance Communications, en 1994, aujourd'hui leader mondial de la reconnaissance vocale.



Après le lancement du projet qui deviendra Siri, il fonde le *Computer Human Interaction Center* (CHIC) en 1998, laboratoire spécialisé en intelligence artificielle qui réalisera les premiers objets connectés ou premières voitures intelligentes pour BMW. En 2000, il crée une start-up, Orb, spécialisée dans la transformation des ordinateurs en serveurs multimédia, avant de passer près de dix années au sein du groupe Samsung. Il a rejoint le groupe Renault en mai 2021 en tant que directeur scientifique. Un retour aux origines pour celui qui a été formé à Paris-Saclay. Il y a créé, avec ses équipes, Reno, l'avatar qui sera intégré dans la nouvelle R5. Luc Julia est membre de l'Académie française des technologies. Auteur de plusieurs ouvrages, il est souvent présenté par les médias comme le « pape » de l'intelligence artificielle prédictive.

Le CEA-List, laboratoire de recherche leader sur le territoire, fournit également à Paris-Saclay de nombreux talents, tels que **Florent Kirchner** qui y a dirigé pendant de nombreuses années le laboratoire pour la sûreté et la sécurité du logiciel ainsi que le programme cybersécurité et qui est aujourd'hui coordinateur de la stratégie nationale pour la cybersécurité au sein du Secrétariat général pour l'investissement (SGPI) et représentant français au Conseil d'administration de l'European Cybersecurity Competence Centre (ECCC). **Gregorio Ameyugo**, également, actuellement chef du Département Intelligence Ambiante et Systèmes Interactifs (DIASI), une unité de 200 personnes parmi les meilleures équipes mondiales dans les technologies de la vision, de l'intelligence artificielle sémantique, de la robotique collaborative, des interfaces homme-machine, de la simulation interactive et des technologies réseaux et anciennement directeur innovation au sein de l'EIT Manufacturing. Ou enfin **Sara Tucci-Piergiorganni**, experte internationale dans le domaine de la *blockchain*.

D'autres personnalités académiques majeures contribuent au prestige de Paris-Saclay, parmi lesquelles **Christophe Tournier**, de l'ENS Paris-Saclay, qui a notamment porté le lancement d'une plateforme de fabrication additive d'envergure internationale sur le territoire, ou **Michel Beaudoin-Lafon**, médaille d'argent du CNRS en 2022 qui coordonne depuis 2021 le réseau des 30 plateformes numériques du programme national CONTINUUM. Sans oublier **Hugo Duminiel-Copin**, professeur à l'Institut des hautes études scientifiques (IHES) et **médaille Fields en 2022**.



## Laurence Devillers Faire rimer IA avec éthique

Laurence Devillers est chercheuse au sein du Laboratoire interdisciplinaire des sciences du numérique (LISN) du CNRS où elle anime l'équipe de recherche Dimensions affectives et sociales dans les interactions parlées. Membre de l'Institut DATAIA, elle est également professeure d'informatique spécialisée dans l'intelligence artificielle à Sorbonne Université. Ses domaines de recherche portent principalement sur l'interaction homme-machine, la détection des émotions, le dialogue oral et la robotique affective et interactive. Elle a participé à plusieurs projets nationaux dont ANR Tecsan Armen, FUI Romeo et BPI Romeo2, et européens comme Rex Humaine, le premier « homme bionique ». Elle anime également le pôle sur la coévolution humain-machine dans le cadre de l'Institut de la société numérique (Université Paris-Saclay). L'éthique dans la création robotique et l'intelligence artificielle étant son domaine de prédilection, Laurence Devillers a également participé à la rédaction du rapport sur l'éthique du chercheur en robotique pour la Commission de réflexion sur l'éthique de la recherche en sciences et technologies du numérique (Cerna) de l'Alliance Allistene. Enfin, elle a intégré, en 2017, le Comité national pilote d'éthique du numérique et de l'intelligence artificielle.

ALAIN ASPECT, PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 2022

## Un prix Nobel en physique quantique au cœur de Paris-Saclay



Lauréat 2022 du prix Nobel de Physique (aux côtés de l'Américain John Clauser et l'Autrichien Anton Zeilinger), pour ses expériences menées en physique quantique sur le phénomène d'intrication, Alain Aspect a poursuivi ses études et sa carrière d'enseignant-chercheur au sein d'établissements d'enseignement supérieur et de recherche de l'écosystème Paris-Saclay. Il en souligne ici les vertus y compris au plan de l'innovation. Il a d'ailleurs contribué au développement de start-up tournées vers la physique ou l'informatique quantique, dont certaines créées par d'anciens de ses doctorants.

Vos travaux sur le phénomène d'intrication, d'une part, l'optique atomique, d'autre part, ont eu des applications concrètes, y compris dans le cadre de projets entrepreneuriaux que vous avez personnellement soutenus : Muquans, Pasqal, Quandela... Comment expliquez-vous cet engagement dans l'entrepreneuriat innovant, à une époque où cela n'était pas si fréquent, du fait d'un fort cloisonnement entre recherche fondamentale et recherche appliquée pour ne pas dire la R&D ? Qu'est-ce que cela dit du rôle que vous estimez être celui du chercheur y compris en recherche fondamentale ?

**AA** Je pense que cet engagement du chercheur est quelque chose d'important, qu'il faut absolument valoriser. Quand j'étais encore étudiant, puis au début de ma carrière, on avait tendance à considérer que le chercheur fondamental ne devait pas s'intéresser aux applications, que c'était « se salir les mains », si je puis oser cette formule. Jusqu'à ce que se produise un basculement en 1982-1983, quand Laurent Fabius, alors ministre de la Recherche et de l'Industrie, a encouragé les chercheurs, dès lors qu'ils avaient une idée d'application, à ne pas s'interdire de la mettre en œuvre considérant que cela pourrait contribuer au développement du pays et à aider à trouver des moyens de financement supplémentaires pour la recherche. J'avais gardé cela dans le fond de ma mémoire. De là à me lancer moi-même dans un projet entrepreneurial... Je crains d'avoir été convaincu trop tardivement pour découvrir moi-même des idées d'application. En revanche, je n'ai eu de cesse de recommander à mes doctorants de ne pas hésiter s'ils avaient le sentiment d'avoir une bonne idée, de se lancer dans un projet entrepreneurial. Quand des décennies après mes expériences sur l'intrication – je dis bien des décennies plus tard car c'est bien dans cette temporalité que nous sommes quand il s'agit de passer des premières recherches de base aux applications –, des étudiants ont voulu appliquer des résultats de mes recherches, ils m'ont sollicité pour recueillir mon avis et, selon le bon vieux principe qu'il n'y a pas d'amour sans preuve d'amour, savoir si je pourrais contribuer à l'amorçage de leur projet. Naturellement, je ne pouvais me défaire. C'est comme cela que je me suis retrouvé à investir dans un premier projet. Il s'agissait alors de Muquans, créée en 2010 par Bruno Desruelle et Arnaud Landragin, deux de mes anciens thésards,

et Philippe Bouyer, un collaborateur direct dans mon groupe d'optique atomique. Le gravimètre quantique absolu qu'ils ont mis au point a connu un vrai succès, au point que leur start-up a été rachetée depuis par iXblue, spécialisée dans la conception de systèmes de navigation.

Ensuite, la société Quandela m'a invité, non pas à figurer parmi les premiers investisseurs, mais à rejoindre son comité scientifique, ce que j'ai accepté avec enthousiasme. J'assiste depuis à ses deux réunions annuelles avec un immense plaisir et étonnement devant les progrès réalisés. Quandela a su valoriser les idées que nous avions, Philippe Grangier, mon premier thésard, et moi, lancées en 1985-86, en concevant la première source au monde de photons uniques. Domaine dont Quandela est devenu l'un des leaders mondiaux. Vous comprendrez donc que je ne pouvais pas ne pas être sensible à la sollicitation de ses fondateurs. Enfin, Pasqal, créée en 2019, par un autre de mes thésards, Antoine Browaays, avec un thésard de Philippe Grangier – Georges-Olivier Reymond –, que je peux donc considérer comme mon petit-fils scientifique, les deux ayant lancé leur projet sous l'impulsion d'un autre de mes anciens thésards, Christophe Jurczak qui a séjourné aux États-Unis et en est revenu avec un fonds d'investissement dans le quantique. Pasqal propose l'un des tout meilleurs simulateurs quantiques au monde ; il repose sur la possibilité d'intriquer des atomes en les manipulant avec de petites « pinces » optiques développées dans le groupe de Philippe Grangier par Georges Reymond et un autre thésard. On peut y voir encore une illustration de la parfaite relation entre les recherches fondamentales et leurs applications, sachant que plusieurs décennies, j'insiste sur ce point, peuvent s'écouler dans l'intervalle de temps.

En vous écoutant, on ne peut s'empêcher d'observer que l'intrication ne concerne pas que les particules élémentaires. Il en faut aussi entre des chercheurs - doctorants, directeurs de thèses – et des investisseurs, pour donner corps à une application à travers un projet entrepreneurial...

**AA** (Sourire). Effectivement !

Pour en revenir à votre cursus, force est de constater qu'il est aussi très « intriqué » dans

l'écosystème de Paris-Saclay : ancien élève de l'ENS Cachan, devenue ENS Paris-Saclay, vous avez rejoint la faculté d'Orsay puis à l'Université Paris-Sud, l'Institut d'Optique, etc. Pourriez-vous dire un mot du rôle de cet écosystème de Paris-Saclay ?

**AA** J'en dirai plus qu'un mot, d'abord pour dire combien ont été précieux les conseils, et même les prêts de matériel, d'un certain nombre de laboratoires, sur le campus de l'université et aussi au CEA. Mais je veux également souligner le rôle essentiel qu'a joué dans mes travaux l'Institut d'Optique, qui est, depuis les années 1960, étroitement associé à l'université. En 1974, maître assistant à l'ENS Cachan, j'ai pu faire le choix d'entreprendre une expérience sur les inégalités de Bell grâce à un jeune professeur de l'Institut d'Optique, Christian Imbert. Je me souviens de cet instant où il m'a tendu un ensemble de textes sur ce phénomène d'intrication encore peu connu à l'époque. Un geste précieux : à l'époque, il n'était pas simple d'accéder à la documentation dont nous avions besoin – Internet n'existait pas encore ! « *Regarde cela, m'avait-il dit, il y a peut-être un sujet intéressant pour toi* ». Parmi ces articles figurait le fameux texte de John Bell, dans lequel il explique que la controverse Einstein-Bohr pourrait être tranchée par des expériences. C'est en le lisant que j'ai eu aussitôt envie de tenter de les mener. Quand j'ai commencé à évoquer à des collègues mon intention de mener une expérience sur ce sujet, j'ai aussitôt perçu une résistance pour ne pas dire une hostilité chez beaucoup d'entre eux. Christian Imbert a eu, lui, la bonne attitude : il m'a invité à commencer par rencontrer John Bell. « *S'il te dit que l'expérience peut être intéressante, alors tu pourras la mener au sein de mon groupe de recherche* ». Ce que je fis : je rencontrai John Bell, au CERN, à Genève. Ce dernier m'ayant encouragé, j'ai constitué une équipe avec deux ingénieurs, Gérard Roger et André Villing, pour monter l'expérience à partir de zéro. Vous connaissez la suite. Huit ans plus tard, avec deux étudiants de troisième cycle particulièrement brillants, Philippe Grangier et Jean Dalibard, nous avons obtenu des résultats particulièrement significatifs en faveur de la position de Bohr.

Je dois donc une infinie reconnaissance à Christian Imbert et à l'Institut d'Optique, pour m'avoir permis de faire cette expérience. Je ne suis pas sûr que beaucoup de laboratoires m'auraient permis de la faire. Je leur suis d'autant plus reconnaissant que c'est au sein du même Institut d'Optique qu'avec Philippe Grangier, qui débutait sa thèse sous ma direction, nous sommes parvenus à réaliser une autre première mondiale, la production de photons uniques. Ce qui permettra de confirmer de manière convaincante cette autre particularité de la physique quantique qu'est la dualité « onde particule ». Nous nous sommes appuyés pour cela sur le savoir-faire accumulé au fil du temps par l'Institut d'Optique en matière d'interféromètres.

Plus tard, j'ai été un fervent partisan de la création de l'Université Paris-Saclay, d'autant que cette université avait l'ambition de fédérer l'université et les grandes écoles, opération dont j'étais aussi un chaud partisan depuis longtemps. Le fait que l'ENS Cachan, le lieu de ma formation initiale, se soit également prononcée en faveur du projet d'Université Paris-Saclay au point de rejoindre le plateau de Saclay a achevé de me convaincre de l'intérêt de ce projet. Aujourd'hui, je suis heureux de pouvoir faire profiter tous ces établissements qui ont compté dans mon cursus et mes travaux du rayonnement du prix Nobel.

Étant entendu que vous faites preuve d'œcuménisme en enseignant par ailleurs à l'École polytechnique...

**AA** Absolument. Je ne commenterai pas le fait que cette école ait fait le choix de se retirer du projet d'Université Paris-Saclay. En revanche, je tiens à dire que j'ai tenu à garder un pied de chaque côté. Je participe à un enseignement, ARTeQ, un programme de formation sur les technologies quantiques qui associe les deux. Donc, oui, en ce sens, je suis œcuménique dans mon approche de l'écosystème Paris-Saclay. D'autant qu'au final, je ne pense pas que ce soit un problème grave d'avoir deux entités distinctes ; l'Université Paris-Saclay et l'Institut Polytechnique de Paris (IPP). Après tout, à Boston, Harvard et le MIT cohabitent et, loin d'être préjudiciable, cette cohabitation profite aux deux universités : mes collègues du MIT collaborent avec ceux de Harvard et réciproquement. Il n'y a pas de raison que cela ne se passe pas de même ici.

Nous réalisons cet entretien dans votre bureau de l'IOGS : on peut y voir le site de Thales et deviner à quelques centaines de mètres de là l'une des entrées du campus de Polytechnique. Deux entités où se trouvent deux autres prix Nobel de Physique : Albert Fert et Gérard Mourou. Soit trois prix Nobel dans un périmètre particulièrement restreint...

**AA** Oui, c'est vrai, cela fait une densité assez élevée. Je me permets de préciser que dans le cas d'Albert Fert et moi, les travaux qui nous ont valu un prix Nobel ont été effectués ici même, sur le territoire – Gérard Mourou a réalisé les siens aux États-Unis, ce qui, bien sûr, n'enlève rien à leur intérêt.

Je ne résiste pas à l'envie de clore cet entretien par l'évocation du village de votre enfance, en Gascogne. Tout attaché que vous soyez à vanter les mérites du pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay, vous tenez aussi dans des entretiens que vous avez accordés à rendre hommage aux instituteurs qui vous ont donné le goût des sciences, à dire aussi votre attachement à une école de la République présente sur tout le territoire, si je puis le résumer avec ces mots...

**AA** Je ne le dirai pas autrement. J'ai la chance d'avoir connu ces instituteurs qu'on appelait les « hussards noirs de la République ». Mes propres parents en faisaient partie. Ils avaient été formés avant la Seconde Guerre mondiale dans ces écoles normales d'instituteurs, qui faisaient en somme office de « séminaires laïques ». La grande force de ces instituteurs était leur polyvalence : ils avaient une culture de base aussi bonne en mathématique, en physique, en sciences naturelles qu'en français, géographie ou histoire. Je garde le souvenir émerveillé de ces instituteurs et de leurs fameuses « leçons de choses ». J'ai eu maintes occasions de dire combien celles-ci m'avaient marqué au point de m'avoir donné envie, quand je suis entré au lycée, à faire de la physique. À travers ces leçons de choses, les instituteurs donnaient le goût d'observer les phénomènes et de chercher à en trouver une explication.

Version complète de l'entretien à lire sur le site web de l'EPA Paris-Saclay. À lire aussi, d'Alain Aspect : *Einstein et les révolutions quantiques*, CNRS Éditions, 2019. Propos recueillis par Sylvain Allemand

## Des start-up à la pointe de l'innovation

Depuis dix ans, le rythme et le nombre de créations de start-up à Paris-Saclay ne cessent de s'accroître et illustrent la forte dynamique d'innovation de l'écosystème dans le domaine des technologies numériques.

Ces start-up interviennent dans des domaines diversifiés comme les sciences de la donnée, le traitement du langage, la vision par ordinateur, la modélisation, l'informatique quantique, le calcul haute performance, l'*edge computing* ou encore les technologies *blockchain* pour des domaines d'applications variés allant du médical au spatial, en passant par l'énergie, la mobilité ou la sécurité.

Parmi les plus emblématiques du territoire, citons, aux côtés des nouvelles pépites européennes de l'informatique quantique — **Pasqal, Quandela** et **Alice & Bob** — des start-up à la pointe comme **Therapanacea**, véritable *success story* de la medtech française qui apporte à la radiothérapie les dernières avancées en intelligence artificielle, **TrustInSoft**, spécialisée en cybersécurité et reconnue par le NIST (National Institute of Standards and Technology) du Département du commerce américain, pour sa capacité à fournir le plus haut niveau de garanties mathématiques sur les logiciels existants ou encore deux start-up emblématiques pour leur parcours au sein de l'écosystème Paris-Saclay : **Visionairy**, issue de l'ENS Paris-Saclay et évoluant dans le domaine de la vision par ordinateur ou **Diota**, issue du CEA-List, et aujourd'hui premier éditeur français de solutions logicielles de réalité augmentée pour l'industrie.

PLUS DE  
**40**

LIEUX  
D'INNOVATION  
SUR LE TERRITOIRE  
DE PARIS-SACLAY :  
INCUBATEURS,  
ACCÉLÉRATEURS,  
ILABS, FABLABS,  
ESPACES DE  
COWORKING,  
PÉPINIÈRES  
D'ENTREPRISES

Ces start-up ont pu bénéficier des nombreux lieux dédiés à l'innovation et à la création d'entreprises innovantes à Paris-Saclay. Des incubateurs sont ainsi animés sur le territoire par les écoles tels que les incubateurs **X-UP** et **Pépinière X-Tech** au sein de l'École polytechnique, le **Centre d'entrepreneuriat et d'innovation 503** au sein de l'Institut d'optique ou l'**incubateur de CentraleSupélec**. Des accélérateurs et incubateurs émanent également de structures publiques ou privées comme **IncubAlliance**, **WILCO**, **Hardware Accelerator**, la **SATT Paris-Saclay** ou le **Playground Paris-Saclay**, nouveau lieu totem de l'innovation sur le territoire. Des ilabs, fablabs ou lieux d'expérimentation comme le **Software République** sont également consacrés au développement de technologies innovantes. Des événements, enfin, tels que le **Paris-Saclay SPRING**, organisé chaque année depuis 2019 et aujourd'hui véritable vitrine de l'innovation scientifique et technologique en Île-de-France.

Au total, près de **110 start-up de haute technologie numérique** ont été initiées, incubées ou se sont installées sur le territoire. Ce dynamisme de création résulte en grande partie de la structuration de la filière depuis dix ans. Établissements d'enseignement supérieur, laboratoires de recherche de pointe, entreprises leaders, programmes collaboratifs innovants, l'exceptionnelle concentration de ressources et de partenaires présents confère à Paris-Saclay les atouts d'un pôle d'innovation parmi les plus attractifs pour les investisseurs, innovateurs et entrepreneurs du monde entier.

PRÈS DE  
**110**  
START-UP  
DE POINTE  
RÉPERTORIÉES  
DANS LE  
DOMAINE DES  
TECHNOLOGIES  
NUMÉRIQUES

## Snowpack rend invulnérables les échanges sur le Net

Snowpack est une *spin-off* du CEA créée en 2021 par deux anciens ingénieurs-chercheurs du CEA — Frédéric Laurent et Baptiste Polvé — ainsi que par Sébastien Groyer. Hébergée au centre d'intégration Nano Innov CEA Paris-Saclay, Snowpack développe et opère SNO (Snowpack Network Overlay), le premier réseau overlay d'invisibilité. SNO rend en effet impossible l'exploitation des vulnérabilités sur le réseau en prévenant l'identification des utilisateurs, des *devices* comme du contenu des communications.

Il s'appuie sur le renforcement mutuel de l'anonymat et de la sécurité et la distribution des nœuds de sortie. Ses offres sont proposées *via* différents abonnements, en fonction des besoins des clients et de la complexité de la demande d'anonymisation. L'entreprise propose également aux éditeurs et développeurs d'intégrer une couche d'invisibilité dans leurs propres applications, et travaille déjà à des offres Cloud et IoT. Afin de poursuivre son développement, Snowpack

a levé plus de 2M€ fin 2022. Ces fonds seront notamment utilisés pour déployer SNO dans le monde et accroître sa communauté d'utilisateurs. L'entreprise, lauréate I-Lab, travaille actuellement sur Brightnet, une solution intégrée de cybersécurité, en amont de l'antivirus. Enfin, elle participe au fonctionnement de SCRED, un projet collaboratif inédit au service de la cybersécurité, en partenariat avec Thales, Atos ou encore l'Institut Mines-Télécom.

• **fig.14** Baptiste Polvé, Frédéric Laurent et Sébastien Groyer, les trois cofondateurs de la start-up Snowpack au Forum International de la Cybersécurité (FIC) qui s'est tenu à Lille les 5, 6 et 7 avril 2023.



• **fig.15** Le Playground Paris-Saclay, inauguré en 2021, est un nouvel Incubateur-Pépinière-Hôtel d'Entreprises (IPHE) de 6 000 m<sup>2</sup> ouvert sur le territoire de Paris-Saclay.

Les start-up bénéficient de nombreux lieux dédiés à l'innovation et à la création d'entreprises innovantes au sein de Paris-Saclay.

## EikoSim, une trajectoire au cœur de Paris-Saclay

Les essais physiques et/ou mécaniques en vue de la validation des simulations numériques sont à l'origine de pertes de temps et de coûts importants pour les industriels. EikoSim aide leurs ingénieurs à valoriser les essais mécaniques en proposant des logiciels innovants qui intègrent les données d'essais dans la chaîne numérique de conception, principalement au niveau des tests. EikoSim intervient partout où des mécanismes industriels complexes doivent être testés : aérospatial et défense, automobile et ferroviaire, énergie et génie civil. L'entreprise, créée en 2016 par deux anciens de l'ENS Paris-Saclay, propose aujourd'hui des solutions concrètes et pratiques :

spécification d'essais, traitement des capteurs, analyse de données, recalage des modèles. Cette R&D est parfois réalisée en coopération avec de grands groupes industriels comme Ariane Group pour le projet R&D RAPID (Régime d'appui à l'innovation duale) ou la plateforme industrielle de dialogue essai-simulation Mutation ou comme Dassault Systèmes avec EikoTwin. EikoSim collabore également avec le Laboratoire de Mécanique et Technologie (LMT), en particulier l'équipe Eikologie, pour la création des méthodes de mesure et d'identification du futur. L'entreprise est soutenue par la SATT Paris-Saclay et l'Institut Polytechnique de Paris.

ENTRETIEN AVEC ZUZANNA STAMIROWSKA, CEO DE PATHWAY

## Les sciences de la donnée au service de la logistique



À l'origine de cette start-up actuellement hébergée au sein de La Fibre entrepreneur - Drahi - X Novation Center, il y a l'ambition de fournir un cadre de programmation permettant de gérer automatiquement les mises à jour de données dans les architectures de streaming. Les premiers usages sont dans le monde de la logistique où l'analytique est désormais possible en temps réel. Mais bien d'autres domaines d'application sont envisageables avec cet outil conçu pour l'ensemble des développeurs. Précisions de sa cofondatrice et CEO, Zuzanna Stamirowska, auteure d'une thèse CNRS en science de la complexité.

Si vous deviez, pour commencer, pitcher Pathway ?

**zs** Nous avons fait le constat que le monde du *Machine Learning* propose des modèles prometteurs pour des données ponctuelles et statiques. Chez Pathway, nous avons entrepris de développer des modèles à même de fonctionner sur des données en constante évolution, reflétant de nouveaux événements et des mises à jour des processus, en temps réel et à la milliseconde près pour le secteur financier. Conçu pour les développeurs, notre outil s'adresse à tous les acteurs qui génèrent des données et ont besoin de les traiter en temps réel. Pathway leur permet de développer et déployer des applications liées à des données d'*event stream*, c'est-à-dire des flux de données d'événements, générées par différents systèmes. Concrètement, notre produit est installé dans le cloud privé du client et permet un traitement des données pour fournir une analyse en temps réel et des informations à haute valeur ajoutée grâce au *Machine Learning*.

Sur quels cas d'usage avez-vous travaillé ?

**zs** Nous avons commencé par nous intéresser à la logistique. Nos partenaires industriels ont pour noms le Groupe La Poste ou DB Schenker, le 3<sup>e</sup> transitaire au monde. Pourquoi ce domaine ? Parce que, de manière générale, les chaînes d'approvisionnement nécessitent une logique complexe de traitement des données pour déterminer ce qui est « normal », « anormal » et « la nouvelle normalité ». Une réalité que la Covid-19 et d'autres événements comme le blocage du canal de Suez ont mis récemment en lumière. Mais aussi curieux que cela puisse paraître, beaucoup de mystère entoure le fonctionnement des chaînes logistiques. Il manque encore aujourd'hui une compréhension des processus réels au regard des données.

Comment l'expliquez-vous ?

**zs** Les grands acteurs de la logistique se sont développés à partir d'acquisitions d'entités, ayant leurs propres bases de données plus ou moins inter-opérables. C'est un univers très chaotique, du fait de la diversité des flux de données relatives aux événements. On retrouve des événements relatifs à des activités physiques pour lesquelles on dispose de données spatio-temporelles ; d'autre part, on observe des événements relatifs aux transactions commerciales. La logistique combine ainsi un double processus physique et business et, donc, des données de différentes natures, qui rendent sa compréhension d'autant plus complexe. Les volumes de données sont si massifs qu'il devient très difficile de suivre les processus au niveau global, de savoir où orienter son attention.

Comment en êtes-vous venue à vous intéresser à ce domaine ?

**zs** Je m'y suis intéressée à l'occasion de la thèse que j'ai menée au CNRS en science de la complexité. Elle portait précisément sur la prévision du commerce maritime, ce qui m'a permis de me familiariser avec le secteur dont une première caractéristique est son haut degré de concentration. Avant même la soutenance de ma thèse, j'ai pu élaborer le modèle qui sert aujourd'hui de référence pour la prévision du commerce maritime - il a été publié par l'Académie nationale des sciences américaine (PNAS). Pour rappel, 80 % du commerce international est assuré par des navires, au point de parler du commerce maritime comme du poumon de l'économie mondiale. Force est cependant de constater que la numérisation du secteur de la logistique a été ralentie par l'absence d'une infrastructure logicielle capable d'effectuer un raisonnement automatisé sur des flux de données, en temps réel. Pourtant, une meilleure compréhension

des processus qui en sous-tendent le fonctionnement est critique pour identifier les points d'amélioration - avant même d'imaginer des outils d'optimisation. Le fait, par exemple, de changer des processus, de faire travailler un acteur de la chaîne autrement, d'améliorer la gestion d'actifs, permet de réduire le nombre de jours de transport, ou d'éviter l'acquisition de conteneurs supplémentaires en optimisant la flotte existante. Les problèmes rencontrés par des armateurs viennent parfois non pas d'un manque de capacité, mais d'une flotte mal gérée, avec des conteneurs sous-utilisés ou stockés quelque part sans qu'on sache où exactement !

Au regard du rôle de la logistique dans le processus de mondialisation et de son poids économique, on imagine que d'autres start-up se sont positionnées sur ce marché de l'analyse des données en temps réel. En quoi vous différenciez-vous ? Quelle est votre valeur ajoutée ?

**zs** Notre vocation n'est pas de nous positionner sur ce seul marché de la logistique. Notre outil se veut horizontal et de nombreuses applications sont envisageables. Car d'un secteur à l'autre, la même difficulté est rencontrée : la capacité à raisonner à partir de flux d'événements et, donc, de comprendre à quoi ressemble le processus. Tout cela avant même de parler d'optimisation ou de prévision. Il s'agit de partir des processus à l'œuvre, de cas d'usage concrets pour mieux en comprendre d'abord la logique. Nos « concurrents » sont davantage des moteurs de traitement de données comme Spark ou Apache Flink. Notre ambition est de faire de notre technologie la référence en *Business Intelligence* pour les données en temps réel et que Pathway permette la création de *Data Products innovants*, bien au-delà de ce que nous avions imaginé. Nous avons ouvert pour cela notre code source à nos utilisateurs et utilisatrices, qui peuvent ainsi se concentrer sur le développement de la logique du code, sans avoir à se soucier de la façon dont les données évoluent dans le temps.

Au final, comment envisagez-vous l'IA ? Que dites-vous à ceux qui y voient un risque de substitution aux tâches aussi bien physiques que cognitives effectuées par des humains ? Jusqu'à quel point articulez-vous l'IA à de l'expertise humaine ne serait-ce que pour interpréter de manière pertinente des données massives ?

**zs** Il faut distinguer le *Machine Learning* en temps réel et les applications dites réactives, au sens où elles permettent des boucles de rétroaction avec leurs utilisateurs. On l'a vu avec la logistique. Ce type d'applications s'impose dans des environnements dont la complexité ne permet pas d'intégrer toutes les informations. L'IA telle que nous la concevons n'est donc pas là pour se substituer à de l'intelligence

humaine, mais pour la valoriser. La vocation de Pathway est d'aider les professionnels à rester « *on the top of the flow* », à faire en sorte qu'ils maîtrisent le mieux une situation dans un contexte mouvant. Pour cela, Pathway n'impose aucune décision, mais permet de l'informer.

De quelles expertises vous êtes-vous entourée ?

**zs** Pathway a été cofondée avec Jan Chorowski notre CTO qui est une référence dans l'IA. Il a pour particularité d'avoir aussi des compétences dans le *hardware* (il a fait une licence en génie électrique), et a ainsi une connaissance fine du fonctionnement des capteurs qui collectent les données ! Je l'ai rencontré alors que je terminais ma thèse ; il revenait en Europe, après avoir travaillé pour Google Brain [l'équipe de recherche d'apprentissage profond de Google]. L'opportunité d'un engagement dans un projet entrepreneurial tombait pour lui à pic. Quant à notre chef de produit, Adrian Kosowski, je l'ai rencontré lors d'un stage que j'avais fait dans la start-up qu'il avait créée en 2004 - Spoj.com, la première plateforme pour les programmeurs compétitifs (des programmeurs qui se livrent à de la programmation compétitive pour améliorer leur performance dans l'apprentissage de la programmation informatique). Cette expérience entrepreneuriale lui a permis de connaître les meilleurs programmeurs à travers le monde. Il est d'ailleurs reconnu comme une des personnes ayant contribué au développement de la discipline et par là même de la communauté. Ce qui a été fort utile pour le lancement de Pathway. Professeur à l'X, il coache aussi l'équipe de programmeurs compétitifs de l'école. Enfin, ma cofondatrice et COO, Claire Nouet, est diplômée d'HEC Paris et de Sciences Po où j'étais sa professeure il y a quelques années. Originaires du Havre, elle a acquis dès son plus jeune âge une compréhension des enjeux de la première verticale à laquelle nous nous adressons - la logistique.

Où en est Pathway en termes de croissance ? Une invite à dire un mot de votre récente levée de fonds...

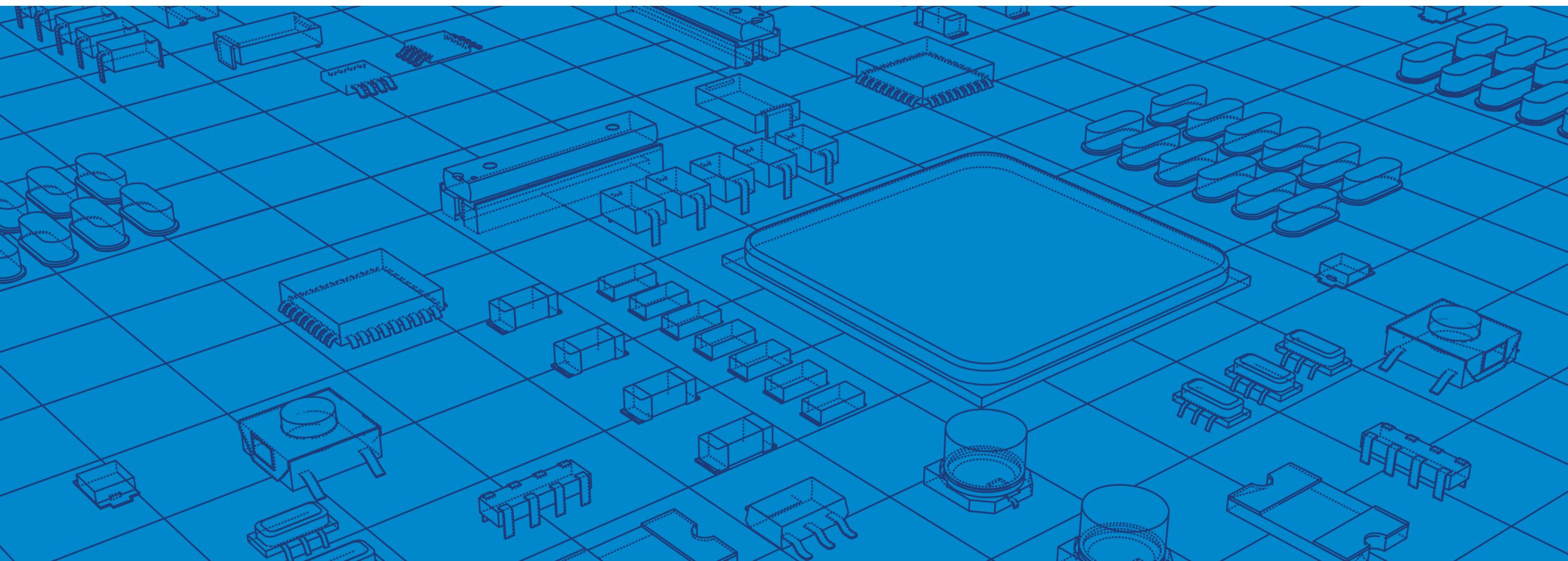
**zs** Nous avons en effet procédé à une première levée de fonds en pré-amorçage d'un montant de 4,5 millions de dollars. Au-delà du montant, elle témoigne de la confiance des investisseurs dans le potentiel de Pathway. Notre produit est d'ores et déjà disponible en version bêta. Depuis le mois de janvier 2023, on peut y accéder depuis notre site [pathway.com](https://pathway.com) et utiliser le code pour développer ses propres applications. Il nous faut désormais faire connaître plus largement ce produit auprès des développeurs, architectes de solutions et ingénieurs *data* ; leur permettre de tester Pathway avec l'ambition qu'ils l'intègrent dans leurs projets. Une étape que la levée de fonds va permettre de franchir.

Propos recueillis par Sylvain Allemand

# Une terre d'industries, laboratoire d'expérimentation en technologies numériques

Cette belle trajectoire de croissance des technologies numériques résulte également de la présence, au cœur des filières stratégiques du territoire, d'une forte concentration d'industriels, parmi lesquels des leaders mondiaux dans leurs secteurs. En interaction avec les acteurs de la recherche et de la formation, ainsi que les start-up innovantes du territoire, ils contribuent à l'innovation et au développement de ces technologies numériques, notamment *via* des centres de recherche et développement prestigieux implantés au cœur de Paris-Saclay. Ils les appliquent et les expérimentent également au sein de leurs processus de production et de fabrication.

Symbolisant cette dynamique, des projets collaboratifs, mixant recherche, formation et industrie voient, toujours plus nombreux, le jour sur le territoire. Ils sont à l'origine d'innovations majeures et font de Paris-Saclay une terre unique d'expérimentation pour les technologies d'avenir, un laboratoire à ciel ouvert pour l'industrie du futur.



## Une concentration de groupes industriels majeurs

Attirées par la présence d'organismes de recherche de renommée internationale et de grandes écoles d'ingénieurs, stimulées par des équipements majeurs ouverts à la R&D industrielle et des programmes collaboratifs novateurs, de nombreuses entreprises, dont des leaders mondiaux dans leurs domaines, se sont, au fil des années, implantées au cœur du pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay.

Maillon essentiel de la chaîne d'innovation, ces entreprises contribuent très largement au développement de ces technologies numériques de pointe, notamment *via* des centres de recherche et développement prestigieux implantés sur le territoire. Parmi les leaders internationaux du numérique installés au cœur de Paris-Saclay, citons **IBM** qui a ouvert en 2021 un centre d'innovation dédié à l'intelligence artificielle, **Atos** qui a inauguré, la même année, son nouveau laboratoire mondial de R&D en informatique quantique, cybersécurité et intelligence artificielle aux Clayes-sous-Bois, **Fujitsu** dont le centre d'excellence en intelligence artificielle est basé sur le campus de l'École polytechnique ou encore **Nokia** et **Ericsson** qui ont implanté des centres de recherche sur le territoire et également **Thales** qui travaille sur ces sujets notamment dans le cadre du programme Software République. D'autres groupes qui ont développé une expertise spécifique en cybersécurité ont choisi de s'implanter sur la Communauté d'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines qui a développé un pôle leader du domaine réunissant recherche, formation et industrie.

## IBM, le choix de la co-innovation

IBM a ouvert, en 2021, au cœur de Paris-Saclay, un centre de co-innovation dédié à l'intelligence artificielle, le plus important centre de R&D d'IBM en France. Ses équipes de développement logiciel ainsi qu'une équipe de recherche et une autre de consulting y sont regroupées. Une approche innovante qui permet à l'entreprise de rassembler, sur un même lieu, l'intégralité de la chaîne de valeur — recherche fondamentale, développement logiciel et services

applicatifs — en vue de produire des innovations et des solutions uniques. Le centre compte aujourd'hui 200 chercheurs, développeurs, chefs de produits, designers, *data scientists* et consultants pour des applications en gestion de flux bancaires, transports, optimisation de tournées, sécurisation, finance ou aide au diagnostic médical. Ses équipes y travaillent dans trois domaines principaux : la prise de décision « assistée » par l'intelligence

artificielle, l'automatisation des processus métiers et les outils de développement sur les *mainframes*. Concrètement, les innovations développées ont trait au développement d'outils d'analyse automatique d'images médicales, pour l'analyse de certains cancers notamment, de moyens de détection de la fraude aux cartes bancaires ou encore de solutions embarquées à bord du *Mayflower*, un navire autonome parcourant l'Océan Atlantique sans pilote pour collecter des données sur l'impact du changement climatique. Souhaitant accélérer la collaboration entre partenaires publics et privés au sein d'un écosystème riche de nombreux organismes de recherche et d'établissements d'enseignement de premier plan, IBM multiplie les projets tripartites. Le partenariat développé avec l'Université Paris-Saclay, Softeam, Decisionbrain et STET en est un bon exemple. Ensemble ils ont cocréé la plateforme AIDA visant à accroître la compétitivité des entreprises françaises participantes et à positionner la France en leader de l'intelligence artificielle opérationnelle en entreprise.



De nombreuses entreprises, dont des leaders mondiaux, se sont, au fil des années, implantées au cœur du pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay.

Tel est le cas des entreprises **Airbus Defense and Space**, **Airbus CyberSecurity**, **C2S Bouygues**, **Orange Cyberdefense** ou du gestionnaire du réseau public de transport d'électricité, RTE, avec son centre opérationnel national de surveillance des infrastructures SI-Télécoms et cybersécurité basé à Montigny-le-Bretonneux.

Les compétences majeures de Paris-Saclay en intelligence artificielle, informatique quantique, cybersécurité ou *smart manufacturing* sont également plébiscitées par nombre de grands groupes industriels leaders des filières d'excellence du territoire comme la santé, l'énergie, la mobilité ou encore l'aérospatiale-sécurité-défense.

Certains y ont implanté leurs centres de recherche et développement pour bénéficier au quotidien des laboratoires de recherche, établissements d'enseignement supérieur, écoles d'ingénieurs ou talents du territoire. À ce titre, le groupe **Servier** a choisi Paris-Saclay pour implanter, en 2022, son tout nouvel institut de recherche, tout comme, dans le même secteur de la santé, **GE Healthcare**, dont le site d'excellence international rassemble 600 chercheurs et ingénieurs en R&D à Buc, ou encore **Oncodesign** arrivé sur le plateau de Saclay en 2016 après le rachat du centre R&D GSK puis des services pharmaceutiques et biotechnologiques de Bertin Pharma et aujourd'hui fortement impliqué dans le domaine de la médecine de précision notamment basée sur des modèles prédictifs et l'analyse des données des patients.

Maillon essentiel de la chaîne d'innovation, les entreprises contribuent très largement au développement des technologies numériques de pointe.

• **fig.16** Le nouveau centre de co-innovation et de recherche d'IBM dédié à l'intelligence artificielle inauguré en 2021 au cœur de Paris-Saclay.



Dans le domaine de l'énergie, ce sont les trois géants industriels français du secteur qui ont également choisi Paris-Saclay pour établir leur centre de recherche industrielle. **EDF** y a ainsi établi, depuis 2015, **EDF Lab**, le plus grand centre de R&D au monde. **Air Liquide** y a ouvert le **Campus Innovation Paris** qui accueille le premier centre de R&D du groupe. **TotalEnergies** y a enfin ouvert en 2022 son nouveau pôle de recherche et développement.

D'autres y possèdent des sites de fabrication et de production qui permettent d'expérimenter ces nouvelles technologies. C'est le cas de **LFB**, dans le domaine de la santé, d'**Elogen**, dans le secteur de l'énergie, de **Valeo** dans les mobilités ou de **Safran** et **Dassault Systèmes** pour la filière aérospatial-sécurité-défense.

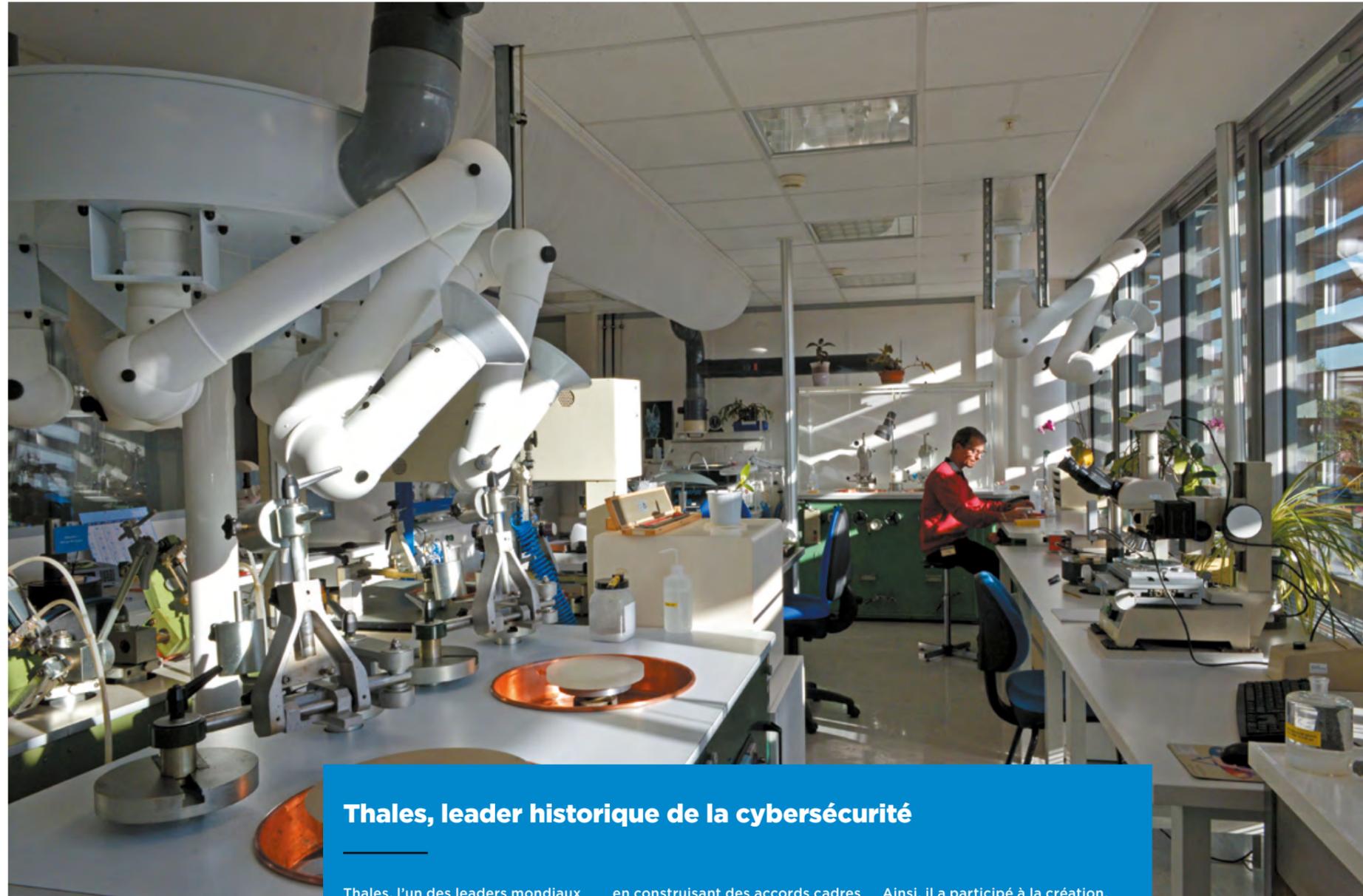
La présence de ces leaders industriels est une force particulièrement structurante pour Paris-Saclay qui facilite, sur la chaîne d'innovation, le processus de transformation des savoirs en applications. Paris-Saclay offre ainsi aux entreprises de l'ensemble des filières industrielles du territoire les plus hautes compétences en technologies numériques leur permettant de réaliser avec succès leur transition vers l'industrie de demain.

Paris-Saclay offre aux entreprises de l'ensemble des filières industrielles les plus hautes compétences en technologies numériques leur permettant de réaliser leur transition vers l'industrie de demain.

## Airbus, la recherche appliquée à l'espace et à la cybersécurité

Airbus est l'un des groupes industriels historiques de la recherche numérique dans les domaines de la cybersécurité, de l'aviation et de l'aérospatial. Installé à Élanecourt depuis 2007, le groupe y localise, en 2014, les activités d'Airbus Defence and Space (ADS) — l'une des trois divisions du groupe, spécialisée dans les avions militaires, les drones, les missiles, les lanceurs spatiaux et les satellites artificiels — ainsi que celles d'Airbus CyberSecurity. Outre ses travaux sur la radiocommunication, les différentes implications du numérique, la sécurisation des réseaux, Airbus participe à plusieurs projets avec différentes structures du territoire. Ainsi, Télécom SudParis et Airbus ont lancé en 2021 un laboratoire commun : Intelligence dans les réseaux. Ce dernier permet aux équipes de professionnels et aux doctorants, postdoctorants et chercheurs d'aborder des

problématiques concrètes auxquels sont confrontés les industriels. Les travaux communs sont centrés sur l'introduction de l'intelligence artificielle au sein des réseaux et sur la flexibilité apportée par l'apprentissage machine. Airbus participe également au développement des activités sur le territoire. Ainsi UMS (United Monolithic Semiconductors), entreprise franco-allemande et leader européen des produits RF MMIC (circuits intégrés monolithique hyperfréquence) pour des marchés spécifiques tels que la défense, l'espace, les télécommunications, les senseurs industriels... basée à Villebon-sur-Yvette, est née du regroupement des activités de Thales et d'Airbus Defence and Space dans ce secteur. De même, le centre de cyber-entraînement d'Airbus CyberSecurity est installé dans les locaux de l'École 2600, à Saint-Quentin-en-Yvelines.



• **fig.17**  
Laboratoire  
de Thales  
à Palaiseau.

## Thales, leader historique de la cybersécurité

Thales, l'un des leaders mondiaux de la cybersécurité, a installé à Palaiseau en 2005 l'un de ses sites les plus importants de recherche, membre du réseau Thales Research & Technology. Construit sur le site de l'École polytechnique, il accueille plus de 300 chercheurs et environ 250 doctorants afin de défricher la sécurisation des communications militaires, des systèmes spatiaux, de la gestion du trafic aérien ou encore de l'électronique embarquée des grands réseaux informatiques des administrations. Derniers succès en date : Vertigo, un système de transmission de données à haute puissance optique de Thales Alenia Space. En outre, Thales a fait le choix de créer des laboratoires communs avec des instituts de recherche d'excellence tout

en construisant des accords cadres avec des chercheurs de premier plan. Le groupe est ainsi à l'origine de la prestigieuse Unité mixte de physique CNRS/Thales - Université Paris-Saclay dédiée entre autres à la nanoélectronique, la microfabrication, les supra-conducteurs à haute température critique et les circuits électroniques bio-inspirés, comme il est l'un des partenaires industriels de Framac (CEA/Inria), une plateforme *open source* dédiée à l'analyse du code source des logiciels C. Enfin, Thales finance la nouvelle chaire *Connected cars and Cybersecurity* de Télécom Paris. Le groupe souhaite également pleinement profiter des bénéfices apportés par l'écosystème d'innovation que constitue Paris-Saclay.

Ainsi, il a participé à la création, en 2020, en partenariat avec EDF et TotalEnergies, du premier laboratoire commun en intelligence artificielle, SINCLAIR, dans le cadre de la stratégie nationale *#AIforhumanity*. Installé au sein des locaux d'EDF Lab à Palaiseau, ce laboratoire étudie la maintenance des moyens de production industriels et la prévision en conception et production, le perfectionnement de systèmes de contrôle, de pilotage et d'alarme ou le développement des jumeaux numériques. Dans un registre plus industriel, Thales est également à l'origine, en partenariat avec Alcatel, de la création du III-V Lab, l'un des avant-postes de la filière européenne des semi-conducteurs III-V.

**ENTRETIEN AVEC BERTRAND BRAUNSCHWEIG,**  
COORDONNATEUR SCIENTIFIQUE DU PROGRAMME CONFIANCE.AI

## Mutualiser les compétences pour une intelligence artificielle de confiance



C'est un mot que l'on n'associait pas spontanément à l'intelligence artificielle (IA) tant celle-ci apparaissait d'abord comme un ensemble de défis technologiques à relever – ceux du traitement massif de données, de l'apprentissage profond. Pourtant, c'est bien de la capacité de ces technologies à inspirer confiance que dépend la suite d'une histoire commencée dans les années 1940-50 et qui a déjà connu par le passé des « hivers » semblant la condamner. Comme son nom l'indique, le programme Confiance.ai, lancé en 2021, a donc l'ambition de développer et tester des technologies fondées sur une IA de confiance pour les ingénieries de systèmes critiques. Son coordonnateur scientifique, Bertrand Braunschweig, nous en dit plus.

Même si son intitulé est explicite pouvez-vous commencer par rappeler l'ambition du programme Confiance.ai...

**BB** Tout le monde s'accorde sur la nécessité d'accélérer le déploiement à très grande échelle de systèmes industriels intégrant de l'IA. C'est un enjeu crucial de compétitivité industrielle, économique et de souveraineté nationale. Encore faut-il disposer de systèmes sûrs, robustes, sécurisés, contrôlables, en d'autres termes, que l'IA inspire confiance, qu'elle soit explicable, voire certifiable. C'est précisément l'ambition de ce programme, piloté par l'IRT SystemX, qui constitue en cela le pilier technologique du Grand Défi « Sécuriser, certifier et fiabiliser les systèmes fondés sur l'intelligence artificielle », lancé par l'État.

Quels acteurs mobilise-t-il ?

**BB** Le programme rassemble un collectif d'acteurs académiques et industriels dans les domaines de la défense, de l'aéronautique, des transports, de l'industrie manufacturière et de l'énergie, qui ont consenti à mutualiser leurs savoir-faire. Son originalité réside dans cette stratégie intégrative : il traite les défis scientifiques relatifs à l'IA de confiance et apporte des solutions tangibles, applicables dans le monde réel et industrialisables. Les partenaires s'attachent à lever de nombreux verrous scientifiques et technologiques, comme la construction de composants IA à confiance maîtrisée, la construction de données / connaissances pour augmenter la confiance dans l'apprentissage ou encore l'interaction générant de la confiance entre l'utilisateur et le système fondé sur l'IA. Un état de l'art a porté sur cinq domaines d'ingénierie sur lesquels nous avons besoin de mutualiser nos compétences : l'ingénierie algorithmique, l'ingénierie des données, l'ingénierie de la sécurité, l'ingénierie système, l'ingénierie des facteurs humains et cognitifs.

Qu'en est-il des sciences humaines et sociales (SHS) ? Jusqu'à quel point les mobilisez-vous ?

**BB** Reconnaissons qu'au lancement de ce programme, les SHS y étaient encore peu présentes. Confiance.ai est d'abord tourné vers le monde de l'ingénierie. Mais nous avons reconnu que les SHS pouvaient être utiles, ne serait-ce que pour permettre à nos ingénieurs de prendre du recul. Avec le CNRS – son Institut des sciences humaines et sociales (INSHS) et son Centre Internet et Société –, nous avons lancé un appel à manifestation d'intérêt [AMI], à destination de la communauté des SHS, à l'issue duquel pas moins de quatre laboratoires ont été retenus. Ils sont mobilisés pour observer la manière dont nous autres ingénieurs nous y prenons, et éventuellement nous alerter sur des facteurs que nous risquions d'escamoter, à commencer par le facteur humain. Je ne cacherais pas combien nous sommes impatients de connaître leurs conclusions, qui devraient nous être communiquées d'ici quelques mois.

En quoi l'inscription dans un écosystème territorial comme Paris-Saclay se révèle-t-elle bénéfique ? Ne permet-elle pas après tout aux parties prenantes de se croiser, de se connaître, de savoir qui fait quoi au sein de la filière IA ?

**BB** Votre question est l'occasion de préciser que Confiance.ai s'inscrit en réalité dans deux écosystèmes : celui de Paris-Saclay et celui de Toulouse avec lequel nous sommes en interaction permanente. Deux écosystèmes identifiés à l'occasion du Grand Défi que j'évoquais, comme les mieux placés pour travailler sur le programme national consacré à l'IA de confiance. Maintenant, si votre question porte sur l'intérêt pour les partenaires, académiques et industriels, de se voir en vrai, quand bien même les technologies qu'ils développent participent à un monde virtuel, alors oui, je dirais que cela participe aussi à la création d'une telle IA.

Où en êtes-vous dans le déroulement du programme ?

**BB** Le programme a démarré formellement en janvier 2021 pour une durée de quatre ans. Nous sommes donc à mi-chemin. Chaque année, nous organisons des journées, les Confiance.ai Days, pour faire le point. Les dernières en date se sont tenues en octobre 2022 à CentraleSupélec. En deux ans, nous avons déjà développé et testé de très nombreux composants, de l'ordre de 120, à partir de cas d'usage assez divers – la reconnaissance et le traitement d'images et de signal, le traitement de données tabulées, etc. Tous ces composants ne sont certes pas au même niveau de maturité, ni ne présentent le même intérêt, mais leur diversité nous permet d'avoir une vue d'ensemble de ce qui peut contribuer à une IA de confiance. Nous abordons désormais une seconde phase, la maturation de ces composants pour qu'au sortir du programme, nous puissions disposer de solutions robustes, implémentables dans différentes ingénieries industrielles.

### Nos deux écosystèmes, Paris-Saclay et Toulouse, ont été parmi les premiers au monde à lancer un programme de grande envergure sur l'IA de confiance.

En cherchant à concevoir des technologies pour fiabiliser l'IA, ne faites-vous pas que repousser le problème en faisant reposer la confiance sur d'autres solutions technologiques ? N'y a-t-il pas lieu de trouver un juste équilibre entre une confiance placée dans de nouvelles technologies et celle qu'on peut placer dans les parties prenantes engagées dans leur développement ?

**BB** Votre question est l'occasion de préciser les facteurs de confiance, objet d'un article que j'ai publié l'an dernier dans le blog Binaire du *Monde* et dans le numéro de mars 2023 de la revue *Futuribles*. J'en distingue quatre catégories : des facteurs technologiques – la robustesse, l'absence de biais, etc. ; des facteurs d'interaction avec les utilisateurs, humains, donc – l'explicabilité, la possibilité de supervision, la transparence, etc, soit des caractéristiques qui concernent plutôt nos relations avec le système ; des facteurs éthiques, on y revient – l'inclusion, la diversité, la bienveillance ; enfin, 4<sup>e</sup> catégorie : l'existence d'un tiers de confiance – une instance de certification, par exemple.

Confiance.ai s'adresse d'abord aux problématiques des industriels. Qu'en est-il cependant de l'IA des applications plus grand public ?

**BB** De fait, la question se pose aussi au sujet de cette IA. On connaît les problèmes posés par les biais inhérents aux algorithmes ou, plus récemment, les erreurs commises par les nouveaux agents conversationnels de type Chat GPT – ce dernier

est déjà connu pour produire ce qu'on appelle des « hallucinations », autrement dit des choses inventées de toutes pièces (par exemple des références bibliographiques imaginaires, ou un diplôme que la personne n'a jamais obtenu), de sorte qu'on ne peut pas encore lui faire totalement confiance. D'ailleurs, même Chat GPT prend soin d'inviter, à la fin de chaque session, l'utilisateur à vérifier ce qu'il dit car il reconnaît ne pas être fiable à 100%. Cela étant dit, la question de la confiance se pose avec moins d'acuité dans le cas des applications grand public – après tout, si l'une se trompe en orientant mal un consommateur dans un choix d'achat, l'erreur n'est pas préjudiciable ; il suffit à l'utilisateur de ne pas valider ce choix. En revanche, si l'IA est utilisée pour assister le pilotage automatique d'un véhicule ou d'une centrale nucléaire, ou encore réaliser un diagnostic médical, il est clair qu'on est en droit d'attendre d'elle un niveau maximal de fiabilité. Or, actuellement, les technologies de l'IA ne répondent pas encore à cette exigence.

Qu'est-ce qui vous a prédisposé personnellement à rejoindre le programme au titre de coordonnateur scientifique ?

**BB** C'est naturellement la perspective de participer à l'aventure de l'IA, qui a franchi une nouvelle étape, en 2012 avec les débuts de l'apprentissage profond qui permet d'accroître la capacité des algorithmes de traitement d'images. Depuis le milieu des années 2010, elle est désormais au cœur de l'actualité – Microsoft avait même déjà proclamé 2016 l'année de l'IA. Personnellement, je m'étais intéressé déjà de longue date à cette dernière ; je lui avais consacré de très nombreuses conférences. À chaque fois, je martelais que le point clé, c'était la confiance ! Si celle-ci n'était pas au rendez-vous, l'IA risquerait bien de connaître un 3<sup>e</sup> « hiver », une baisse des financements publics et privés dédiés à la recherche dans ce domaine, depuis son apparition dans l'agenda de la recherche, au sortir de la Seconde Guerre mondiale (les deux premiers hivers étant intervenus durant les années 1974-1980 et 1987-1993). Tant et si bien que, lorsque j'ai quitté l'Inria à la fin de ma mission au titre de coordonnateur du programme national de recherche en IA, les collègues de l'IRT SystemX m'ont proposé de leur donner un coup de main sur leur programme Confiance.ai. Proposition que, naturellement, j'ai acceptée avec enthousiasme. D'autant plus volontiers que nos deux écosystèmes, Paris-Saclay et Toulouse, ont été parmi les premiers au monde à lancer un programme de grande envergure sur le sujet.

Propos recueillis par Sylvain Allemand

## Des initiatives collectives sur des filières applicatives

Interdisciplinarité, collaboration et synergie font partie des marqueurs forts de Paris-Saclay. Parmi les projets novateurs qui feront l'industrie de demain, les laboratoires communs SINCLAIR et Labcom intelligence dans les réseaux sont exemplaires, notamment pour leur dynamique collective mixant recherche, enseignement et industrie.

Le premier, **SINCLAIR** pour *Saclay INdustrial Collaborative Laboratory for Artificial Intelligence Research*, créé en 2020, est le premier laboratoire industriel commun en intelligence artificielle implanté à Paris-Saclay. Commun à trois entreprises majeures du territoire – **Thales**, **TotalEnergies** et **EDF** – il développe, en partenariat avec plusieurs établissements de l'Université Paris-Saclay et de l'Institut Polytechnique de Paris, des programmes de recherche dédiés au contrôle des unités de production, systèmes d'alarme et jumeaux numériques dans un objectif partagé d'optimisation de l'ingénierie. Le **Labcom intelligence dans les réseaux** a, de son côté, été créé en 2021 par **Airbus Defence and Space** et **Télécom SudParis** autour des thématiques d'optimisation combinatoire, d'apprentissage machine et de modélisation des réseaux avec pour ambition de concevoir, grâce à l'intelligence artificielle, des réseaux plus agiles, programmables et contrôlables.

En matière d'intelligence artificielle, le **LNE** (Laboratoire national de métrologie et d'essais), implanté sur la Communauté d'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines, accompagne l'ensemble des industriels du territoire dans leur stratégie de compétitivité et d'innovation *via* des services de mesures et de métrologie, d'essais et de certification.

Interdisciplinarité,  
collaboration  
et synergie  
font partie des  
marqueurs forts  
de Paris-Saclay.

• **fig.18** Team Building Jet Fighter au sein de CampusFab, plateforme de formation pour l'industrie du futur.

## CampusFab: penser la formation à l'industrie 4.0 autrement

CampusFab est le fruit du travail collaboratif d'un consortium de plus de dix entités, composé d'entreprises industrielles ou technologiques, d'acteurs institutionnels et de la formation. Il présente, sur 2000 m<sup>2</sup>, l'état de l'art de la digitalisation de la production. Un parcours expérientiel destiné à la fois aux professionnels, aux étudiants ainsi qu'aux scolaires. Face aux problématiques de souveraineté industrielle, CampusFab tente d'apporter une réponse en formant les étudiants comme les salariés en poste, à la continuité numérique ainsi qu'à la numérisation de l'industrialisation. Les jeunes nouvellement formés pourront répondre aux besoins au sein du tissu industriel francilien. De leur

côté les salariés, en possession de ces nouveaux savoirs, accompagneront le changement au sein de leur entreprise afin de les faire gagner en compétitivité. CampusFab vise toutes tailles d'entreprises. Les machines et process présentés dans ses locaux couvrent la continuité numérique, l'usinage, la fabrication additive, l'assemblage, le montage robotique et la maintenance. Une façon de faire découvrir toutes les solutions et technologies existantes. Outre cette présentation, CampusFab propose des modules de formation sur mesure et des services, à la demande. Cette démarche est soutenue par le plan France Relance, le Programme d'investissements d'Avenir (PIA), la Région Île-de-France et Grand Paris Sud.



Dans ce cadre, il a développé un service d'évaluation des systèmes d'intelligence artificielle et a lancé en 2022 **LEIA** (Laboratoire d'évaluation de l'intelligence artificielle), la première plateforme mondiale d'évaluation de l'intelligence artificielle.

Les collaborations entre l'industrie et la recherche à Paris-Saclay ont également fait naître des programmes collaboratifs autour de l'industrie du futur. C'est le cas de **FactoryLab**, un consortium industriel et académique notamment composé du **CEA**, des industriels **Safran**, **Dassault Systèmes**, **Naval Group** ou les start-up **Diota** et **Isybot**, qui vise à accélérer la transformation numérique des entreprises industrielles *via* le développement d'une douzaine de projets par an; ou encore **Additive Factory Hub**, une plateforme de fabrication additive fédérant des acteurs de pointe tels que le **CEA**, le **CNRS**, le **LNE**, l'**ONERA**, pour la recherche et **EDF**, **Air Liquide** ou **Safran** pour l'industrie.

## Software République: le partage de connaissances pour une mobilité durable et sûre

Lancé en 2021, Software République est un écosystème collaboratif d'*Open Innovation* dédié à la mobilité intelligente et durable. Cocréé par Renault, Atos, Dassault Systèmes, Thales, Orange et STMicroelectronics, il a pour objectif de rapprocher les expertises de ces grands groupes, dans leurs domaines respectifs et complémentaires (intelligence artificielle, cybersécurité, jumeaux numériques, connectivité, électronique embarquée), afin de développer de nouveaux systèmes et des logiciels au bénéfice des utilisateurs. Ses membres se retrouvent au sein du Technocentre Renault de Guyancourt. Software République souhaite ainsi fournir des offres complètes allant des interfaces utilisateurs à la gestion de l'énergie, qui intègrent les systèmes de véhicules, les plateformes de service et les outils d'exploitation des réseaux. Deux terrains d'étude ont été lancés dès son ouverture: la gestion des flux de mobilités par les collectivités *via* un outil

de simulation des trajets proposé aux utilisateurs, et *Plug and Charge*, un outil numérique indispensable au chargement facile des batteries des véhicules électriques. Afin de multiplier les expérimentations, Software République a ouvert en 2022 un incubateur pour accueillir des projets autour de trois thèmes: l'énergie, les nouvelles mobilités et les véhicules connectés. Cinq structures ont été sélectionnées lors du premier appel à projets et sont aujourd'hui accompagnées

par les membres fondateurs: Angoka (solutions *hardware* pour sauvegarder l'intégrité des communications de machine à machine - M2M), Geoflex (service de positionnement par satellite de haute précision), Parcoor (détection des menaces), Vianova (solution d'agrégation des données de mobilité et de modélisation des politiques publiques) et WattPark (solution de partage et de location pour les propriétaires de bornes de recharge). Un nouvel appel à projets a été lancé en janvier 2023.

• **fig.19** De gauche à droite: Jean-Philippe Poirault, CEO Atos Big Data et Cyber-Security, Bernard Charlès, Vice Chairman et DG Dassault Systèmes, Alette Mousnier-Lompre, DG Orange Business Services, Luca De Meo, DG Groupe Renault, Frédérique Le Grevès, PDG STMicroelectronics France et Patrice Caine, PDG Thales, à VivaTech 2022.



**ENTRETIEN AVEC PIERRE-FRANÇOIS LAVALLÉE,**  
INGÉNIEUR DE RECHERCHE CNRS ET DIRECTEUR DE L'IDRIS

## Un équipement majeur au cœur de l'écosystème Paris-Saclay



Lutte contre la Covid-19, recherches sur le climat ou en astrophysique, apprentissage de grands modèles en IA... le supercalculateur Jean Zay, opéré par l'Institut du développement et des ressources en informatique scientifique (IDRIS) du CNRS, ouvre de nouvelles perspectives en offrant de puissantes capacités de calcul à la communauté scientifique comme aux industriels, PME et start-up. Précisions du directeur de l'IDRIS, Pierre-François Lavallée, qui l'héberge dans ses locaux du bâtiment 506, sur le campus d'Orsay.

L'entretien est réalisé dans le bâtiment 506 du campus d'Orsay qui abrite l'IDRIS et le supercalculateur Jean Zay que vous opérez. Son apparence physique peut faire penser aux tout premiers ordinateurs...

**P-F L** De fait, le supercalculateur Jean Zay occupe une surface de 320 m<sup>2</sup> pour une masse de 70 tonnes... Mais pour des capacités de calcul sans commune mesure ! Depuis sa mise en service, en 2019, il a vu sa puissance en PFlop/s passer d'environ 14 à près de 37 en janvier 2022 (1 PFlop/s = 1 million de milliards d'opérations par seconde). Il était jusqu'il y a peu le premier en France en termes de puissance, avant d'être dépassé par le supercalculateur de nos collègues de Montpellier au CINES. Il pourrait figurer cependant encore dans le TOP20 du classement de novembre 2022 des 500 superordinateurs les plus puissants du monde.

Ce n'est pas le premier supercalculateur que vous opérez...

**P-F L** Non, depuis 2008, c'est la troisième génération de machine. Les deux premières étaient des architectures massivement parallèles de type IBM Blue Gene (Babel BG/P en 2008 puis Turing BG/Q en 2012) alors que Jean Zay est une architecture parallèle hybride accélérée avec des GPU [unités graphiques des ordinateurs]. En douze ans, la puissance de calcul a été multipliée par 33, passant de 1,2 à 36,8 PFlop/s. Ce n'est pas tout : il faut encore que les capacités de stockage soient en corrélation avec les usages de la machine. Nous sommes ainsi passés de 2 Po à 37 Po pour le stockage sur disque. La mémoire – autrement dit la capacité à stocker temporairement les données sur lesquelles on va travailler à un instant donné – passe, elle, de 106 à 457 To.

Il y a donc un avant et un après le supercalculateur Jean Zay...

**P-F L** Oui, le nombre d'utilisateurs est passé de 1 200 à 2 700, le nombre de projets de 410 à 1 450, principalement grâce à l'arrivée de la communauté de recherche en intelligence artificielle sur

l'infrastructure nationale dédiée Jean Zay. En effet, ce supercalculateur est convergé au sens où en plus d'être en mesure de répondre aux besoins de la simulation numérique, il permet aussi de lourds apprentissages en IA, un changement majeur par rapport aux supercalculateurs précédents.

Des avancées obtenues comme on l'imagine au prix d'un coût énergétique d'autant plus élevé...

**P-F L** Non, c'est même tout le contraire ! Sa consommation électrique n'a été multipliée que par 8 pour atteindre environ les 2 400 kWh. Écoresponsable, l'architecture du supercalculateur est l'une des plus efficaces en production. La chaleur produite par le supercalculateur sert déjà pour partie à chauffer des bâtiments – celui de l'IDRIS et un autre voisin. Au printemps de cette année, le supercalculateur sera interconnecté au réseau de chaleur et de froid de l'EPA Paris-Saclay, ce qui permettra d'en réduire encore l'impact énergétique en fournissant l'équivalent de la consommation de chauffage d'un millier de logements. Ainsi, une simulation HPC ou un apprentissage en IA réalisé sur le supercalculateur Jean Zay sera plus que jamais le gage d'une empreinte carbone limitée.

Qu'en est-il des utilisateurs ? Quels en sont les profils ?

**P-F L** Il s'agit d'ingénieurs ou de chercheurs travaillant soit pour la recherche académique, dans le cadre des grandes agences publiques de recherche (CNRS, CEA, Inria, etc.) ou des universités ; soit pour des industriels, des PME ou start-up sous condition de publication des résultats scientifiques. Parmi tous les projets que nous sélectionnons, 8 % sont portés par des entreprises privées.

Concrètement, quelle démarche faut-il entreprendre pour accéder au supercalculateur Jean Zay ?

**P-F L** Rien de plus simple ! Il suffit de se rendre sur le portail eDari. Un seul et unique formulaire est

à remplir pour postuler à l'un ou l'autre type d'accès – régulier ou dynamique. Soit la même procédure que pour les autres centres nationaux. L'utilisateur y définit son projet en déposant de premières informations techniques. Si c'est une petite demande et qu'elle n'exige pas de trop importantes capacités de calcul ou d'entraînement, alors elle est évaluée rapidement, dans les quinze jours qui suivent. Dans le cas contraire, il faut attendre l'une des deux sessions d'évaluation annuelles des projets.

### En douze ans, la puissance de calcul a été multipliée par 33, passant de 1,2 à 36,8 PFlop/s.

Quelles sont les disciplines concernées par les usages du supercalculateur ?

**P-F L** Elles sont variées. Du côté des usages pour de la modélisation ou de la simulation, elles vont de l'environnement – la modélisation du changement climatique – à la chimie – la simulation de dynamique moléculaire en vue de trouver de nouveaux médicaments, découvrir et classifier de nouveaux virus –, en passant par l'astrophysique – en vue d'étudier les éruptions solaires ou la matière noire –, la géophysique – les tremblements de terre ou les tsunamis –, la science des matériaux – en vue d'augmenter la capacité de stockage des batteries et de diminuer leur poids –, la physique théorique – pour de la modélisation de plasma, par exemple –, etc. Quant aux capacités d'apprentissage en IA, elles sont mobilisées pour des thématiques qui vont des très grands modèles de langues comme le projet BigScience – la traduction automatique, l'interaction homme-machine, les bots, le résumé de texte, l'extraction d'information –, à la cybersécurité en passant par la médecine – l'aide au diagnostic, à l'opération clinique –, l'analyse d'images et de vidéos, la reconnaissance de forme, de mouvement ; la conduite autonome, etc. Force est de constater l'absence de la communauté SHS. On commence juste à la voir poindre par l'intermédiaire de projets relatifs à l'IA. Je saisis donc l'occasion de cet entretien pour inviter les chercheurs de ces disciplines à s'informer des potentialités du supercalculateur. Cela étant dit, le fait notable, c'est l'importante communauté d'utilisateurs de l'IA. Jusqu'alors et comme je l'indiquais, nous ne travaillions qu'avec la communauté HPC. Aujourd'hui, la grande majorité des petits projets touchent désormais à l'IA (91 %).

Un élargissement que vous aviez anticipé ?

**P-F L** Oui, mais pas à une telle ampleur. Lorsque nous avons lancé l'appel d'offres annonçant la possibilité de faire de l'entraînement pour de l'apprentissage en IA, le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche nous a alloué, dans le cadre du plan *AI for Humanity*, un budget spécifique pour qu'une partie de la puissance de calcul soit réservée à la communauté de recherche sur l'IA.

Au début, nous avons rencontré quelques difficultés à la faire venir sur notre supercalculateur. Manifestement, ses chercheurs n'avaient pas l'habitude d'utiliser ce type d'outil. Nous avons donc pris le temps d'aller à leur rencontre, de nous rendre dans les laboratoires pour présenter la machine. À la suite de quoi, les utilisateurs se sont manifestés, de plus en plus nombreux. En moins de trois ans, nous avons atteint les 1 500 utilisateurs.

Moyennant, comme on l'imagine, un important accompagnement de la part de vos équipes...

**P-F L** En effet, nos équipes support HPC et IA mobilisent chacune 12-13 personnes, soit un doublement des effectifs en trois ans. Elles assurent une permanence d'assistance par téléphone ou par messagerie, du lundi au vendredi, en plus d'une gestion des tickets d'incidents. Nous assurons par ailleurs une importante activité de formation en accueillant 200 à 350 stagiaires par an.

On parle beaucoup de ChatGPT. Qu'en est-il des applications IA dont votre supercalculateur aura permis d'assurer l'apprentissage ?

**P-F L** Nous participons au projet BigScience, un programme porté par une société privée, Hugging Face, dans le cadre d'une collaboration internationale publique et privée mobilisant 800 chercheurs d'une soixantaine de pays, en vue d'entraîner un très gros modèle de langue, de la même taille que GPT3 sur lequel repose ChatGPT. Ces chercheurs ont eu une allocation de quelque 5 millions d'heures GPU de calcul et un accès dédié pendant 117 jours à la dernière extension que nous avons acquise pour l'entraînement final du modèle Bloom. Des articles ont déjà été publiés et l'IDRIS, GENCI et Hugging Face se sont vu décerner un prix à SuperComputing, la conférence mondiale du domaine.

Quelles sont les retombées pour l'écosystème Paris-Saclay en termes de visibilité ?

**P-F L** Nos projets proviennent de toute la France et de l'international. Cela étant dit, j'ai anticipé votre question. Vérification faite, les projets portés par des laboratoires ou des entreprises de Paris-Saclay représentent de l'ordre de 35 % du total, une proportion significative s'il en est. Par ailleurs, l'IDRIS peut être amené à jouer un rôle moteur dans le cadre des formations qui sont dispensées ici même, sur notre site du campus d'Orsay. La majorité de nos stagiaires vient de ce campus sinon de la Région Île-de-France. Nous avons aussi une forte accroche locale en hébergeant à l'IDRIS une partie du mésocentre MesoUPSaclay de l'Université Paris-Saclay. Enfin nous entretenons des relations étroites avec Inria Saclay et l'Institut DATAIA, dans le cadre du Plan *AI for Humanity* : l'Institut nous confie de nombreux calculs pour les besoins de ses projets.

Propos recueillis par Sylvain Allemand

## Crédits photos

Couverture: © Shutterstock  
P3: © Shutterstock  
P4-5: © EPA Paris-Saclay  
P6-7: © EPA Paris-Saclay /  
© CEA-List/ Cyrille Dupont (fig.1)  
P8-9: © SATT Paris-Saclay  
P10-11: © SATT Paris-Saclay  
P12-13: © Shutterstock  
P14-15: © CEA-List/ Cyrille  
Dupont (fig.2)  
P16-17: © Inria/ B.Fourrier (fig.3)/  
© DATAIA/ Guillaume Malle (fig.4)  
P18-19: © Telecom Paris,  
Institut Polytechnique de Paris/  
Nicolas Gonthier (fig.5)  
P20: © Quandela/ Matt La Prod  
(fig.6)

P22-23: DR  
P24-25: © CEA-List/  
Cyrille Dupont (fig.7)  
P26: © Shutterstock (fig.8)  
P28-29: © CampusFab (fig.9)/  
© Shutterstock (fig.10)  
P30-31: © Shutterstock  
P32-33: © Inria/ S.Erôme -  
Signatures (fig.11) /  
© Quantum-Saclay (fig.12)  
P34-35: DR  
P36-37: © Shutterstock (fig.13)/  
© IRT SystemX  
P38-39: © Jean-François Dars/  
© Yves Forestier - Alkama photo/  
© Olivier Ezratty  
P40-41: DR

P42-43: © Snowpack (fig.14)/  
© Playground Paris-Saclay/  
Carlos Ayesta (fig.15)  
P44-45: DR  
P46-47: © Shutterstock  
P48-49: © IBM/ © IBM (fig.16)  
P50-51: © EPA Paris-Saclay/  
Adeline Bommart (fig.17)  
P52-53: DR  
P54-55: © CampusFab (fig.18)/  
© Renault Group (fig.19)  
P56-57: DR  
P59: © Shutterstock  
P60: © Shutterstock

## Déjà parus

Praxis N°1 - Charte Satory Ouest Versailles/Mars 2013  
Praxis N°2 - Gestion des eaux/Juillet 2013  
Praxis N°3 - Mobilité/Octobre 2014  
Praxis N°4 - Abécédaire de la biodiversité/Janvier 2016  
Praxis N°5 - L'innovation de tous les temps/Janvier 2019  
Praxis N°6 - Paris-Saclay, l'excellence santé/Décembre 2022  
Praxis N°7 - Paris-Saclay, acteur de la transition énergétique/Mars 2023

## PARIS-SACLAY

### Établissement public d'aménagement Paris-Saclay

6 boulevard Dubreuil  
91400 Orsay  
+33(0)164 54 36 50  
contact@oin-paris-saclay.fr

[www.epa-paris-saclay.fr](http://www.epa-paris-saclay.fr)  
[www.paris-saclay.business](http://www.paris-saclay.business)  
une émission: Paris-Saclay TV  
sur TV78

 [facebook.com/ParisSaclay](https://facebook.com/ParisSaclay)  
 [@parisSaclay](https://twitter.com/parisSaclay)  
 [paris\\_saclay](https://instagram.com/paris_saclay)  
 Établissement public  
d'aménagement Paris-Saclay  
 [youtube.com/ParisSaclay](https://youtube.com/ParisSaclay)  
 Paris-Saclay Innovation  
Playground  
 [inno\\_playground](https://inno_playground.com)

Rédaction des études  
à l'origine de ce document  
**SATT Paris-Saclay**

Rédaction du document  
**La mécanique du sens**

Réalisation et rédaction  
des interviews  
**Sylvain Allemand**

Conception graphique  
**La mécanique du sens**

Impression  
**CIA Graphic**

Tiré à 1500 exemplaires  
2023



